



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський державний університет харчування та торгівлі

**ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ ТА УСТАНОВКИ.  
ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ**

Навчальний посібник

Харків  
ХДУХТ  
2019

УДК 621.576(075.8)  
ББК 31.392  
X 73

*Рецензенти:*

*д-р тех. наук, професор, проф. кафедри технічної кріофізики  
Національного технічного університету «ХПІ» Г. Г. Жунь,  
д-р тех. наук, професор, проф. кафедри інтегрованих технологій,  
процесів та апаратів Національного технічного університету «ХПІ»  
Е. В. Білецький*

Рекомендовано до видання вченою радою ХДУХТ  
протокол № 16 від 15.07.2019р.

**Петренко О. В.**

**Холодильні машини та установки. Дипломне проектування**  
[Електроний ресурс] : навч. посібник / О. В. Петренко,  
X 73 В. О. Потапов, Д. П. Семенюк, Є. М. Якушенко. – Електрон. дані. –  
Х. : ХДУХТ, 2019. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. –  
Назва з тит. екрана.

Навчальний посібник призначено для виконання та захисту дипломного проекту бакалавра. Наведено основні вимоги до дипломного проекту, правила оформлення текстової та графічної частин дипломного проекту. Посібник містить матеріали, в яких наведено правила оформлення презентації та порядок проведення захисту дипломного проекту. Крім того, наведено приклади типових методик розрахунку холодильного обладнання.

Посібник призначено студентам, які навчаються за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» і отримують освітній ступінь бакалавр.

Посібник також буде корисним студентам інших технічних спеціальностей, науковим співробітникам і практичним працівникам холодильної та кліматичної галузей.

УДК 621.576(075.8)  
ББК 31.392

© О. В. Петренко, В. О. Потапов,  
Д. П. Семенюк, Є. М. Якушенко, 2019  
© Харківський державний університет  
харчування та торгівлі, 2019

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	9
1.1. Дидактичні цілі дипломного проекту бакалавра.....	9
1.2. Характеристика дипломного проекту бакалавра.....	9
1.3. Завдання на дипломний проект бакалавра.....	11
1.4. Порядок і організація виконання дипломного проекту: хід і послідовність виконання основних етапів проекту.....	12
1.5. Оцінювання виконання дипломного проекту бакалавра.....	15
2. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ..	17
3. ОФОРМЛЕННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА.....	21
3.1. Вимоги до оформлення дипломного проекту бакалавра.....	21
3.2. Вимоги до оформлення списку використаних джерел.....	31
3.3. Рекомендації до підготовки та написання основних розділів дипломного проекту бакалавра.....	31
3.3.1. Пошук джерел інформації.....	31
3.3.2. Складання змісту (плану) дипломного проекту.....	31
3.3.3. Опрацювання джерел інформації.....	31
3.3.4. Написання розділів пояснювальної записки ДПБ.....	32
4. ОФОРМЛЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА.....	33
4.1. Загальні вимоги до графічної частини дипломного проекту.....	33
4.2. Види креслень.....	33
4.2.1. Креслення загального вигляду.....	33
4.2.2. Креслення складальні.....	34
4.2.3. Креслення монтажні.....	34
4.3. Вимоги до оформлення графічної частини.....	34
4.4. Оформлення специфікацій.....	35
4.5. Вимоги до оформлення будівельних креслень.....	36
4.5.1. Креслення технологічного планування.....	37
4.5.2. Архітектурно-будівельне креслення.....	37
4.5.3. Санітарно-технічні креслення.....	38
5. ОФОРМЛЕННЯ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДОПОВІДІ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА.....	39
5.1. Основні компоненти презентації.....	39
5.2. Перегляд презентації.....	43
5.3. Керування презентацією.....	46
5.4. Основні вимоги до створення презентації до дипломного проекту бакалавра.....	48
6. ПРОЦЕДУРА ЗАХИСТУ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА..	51
6.1. План технічної доповіді.....	52
6.2. Текст технічної доповіді.....	52
6.3. Поради доповідачеві.....	54

7. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК СТАЦІОНАРНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СПОРУД.....	57
7.1. Загальні положення.....	57
7.2. Вибір будівельної конструкції холодильника.....	58
7.3. Визначення основних розмірів охолоджуваних приміщень холодильників.....	61
7.4. Визначення товщини теплоізоляційного матеріалу.....	64
7.5. Визначення товщини пароізоляційного матеріалу.....	68
7.6. Розрахунок теплонадходження. Основні види теплонадходження. .	70
7.7. Розрахунок теплонадходження через огороження.....	72
7.7.1. Теплонадходження від різниці температур зовні та всередині.....	72
7.7.2. Теплонадходження від сонячного випромінювання.....	74
7.7.3. Теплонадходження через підлогу, що розташована на ґрунті.....	76
7.8. Розрахунок теплонадходження від вантажів під час їх холодильної обробки.....	78
7.9. Розрахунок теплонадходження із зовнішнім повітрям під час вентиляції охолоджуваних приміщень.....	80
7.10. Розрахунок експлуатаційного теплонадходження від різних джерел.....	81
7.10.1. Теплонадходження від електричного освітлення.....	82
7.10.2. Теплонадходження від електричних двигунів.....	82
7.10.3. Теплонадходження від працівників.....	83
7.10.4. Теплонадходження при відкриванні дверей.....	84
7.11. Розрахунок теплонадходження від дихання плодів і овочів.....	85
7.12. Визначення теплового навантаження і підбір холодильного обладнання.....	87
7.13. Розрахункове теплове навантаження компресорів.....	88
7.14. Розрахунок теплових навантажень за укрупненими показниками. .	90
7.15. Добір холодильного обладнання.....	91
7.16. Особливості розрахунку теплового навантаження і добору обладнання холодильних установок.....	93
8. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	97
9. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ПОБУТОВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	107
9.1. Теплове навантаження на холодильну установку.....	107
9.1.1. Теплонадходження з навколишнього середовища.....	107
9.1.2. Теплонадходження від повітрообміну.....	112
9.1.3. Теплонадходження від продуктів.....	113
9.1.4. Додаткові теплонадходження.....	114
9.1.5. Спрощений розрахунок експлуатаційного теплового навантаження.....	116

9.1.6. Вибір холодопродуктивності холодильного агрегату та компресора. ....	116
9.2. Розрахунок циклу холодильного агрегату. ....	117
9.3. Розрахунок процесу кипіння холодоагенту у випарнику. ....	123
9.4. Розрахунок процесу конденсації холодоагенту в конденсаторі. ....	129
9.4.1. Теплова стабілізація. ....	129
9.4.2. Конденсація холодоагенту. ....	133
9.4.3. Переохолодження рідкого холодоагенту. ....	136
9.5. Розрахунок процесу регенеративного теплообміну. ....	137
9.6. Розрахунок процесу дроселювання в капілярній трубці. ....	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ. ....	145
Додатки. ....	146

## ВСТУП

Згідно з вимогами стандарту вищої освіти за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, атестація здобувачів вищої освіти може здійснюватися у формі публічного захисту (демонстрації) кваліфікаційної роботи; або атестаційного екзамену і публічного захисту (демонстрації) кваліфікаційної роботи.

Освітньо-професійною програмою (ОПП) підготовки здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» Харківського державного університету харчування та торгівлі передбачено виконання випускної кваліфікаційної роботи та її публічний захист.

Виконання випускної кваліфікаційної роботи є обов'язковим заключним етапом навчання студента на відповідному рівні вищої освіти.

Випускна робота є кваліфікаційною і повинна показати програмні компетентності та програмні результати навчання студента, отримані ним в процесі вивчення дисциплін згідно навчального плану, а також знання та навички набуті під час вирішення практичних інженерних і дослідницьких завдань.

Кваліфікаційна робота має передбачати розв'язання складного спеціалізованого завдання або практичної задачі галузі енергетичного машинобудування, що характеризується комплексністю та невизначеністю умов, із застосуванням теорій та методів електричної інженерії.

У кваліфікаційній роботі не може бути академічного плагіату, фальсифікації та списування.

Кваліфікаційна робота має бути оприлюднена на офіційному сайті закладу вищої освіти або його структурного підрозділу, або у репозитарії закладу вищої освіти.

Згідно ОПП та навчального плану спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» передбачено виконання в якості кваліфікаційної роботи – дипломного проекту бакалавра (ДПБ). Дипломний проект бакалавра є кваліфікаційним документом, на підставі якого екзаменаційна комісія визначає рівень теоретичної підготовки випускника, його готовність до самостійної роботи за фахом і приймає рішення про присвоєння кваліфікації.

Студенти, які закінчили навчання за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» відповідно до фундаментальної та фахової підготовки повинні вміти виконувати наступні види професійної діяльності:

- проектно-конструкторську;
- виробничо-управлінську;
- експериментально-дослідницьку.

Здатність студента виконувати перераховані види діяльності виявляється екзаменаційною комісією (ЕК) при розгляді результатів, отриманих в процесі виконання ДПБ, на основі його змісту та захисту.

До захисту ДПБ наказом ректора допускаються випускники, що успішно завершили в повному обсязі освоєння ОПП за спеціальністю вищої освіти, які виконали у встановлені терміни ДПБ і успішно пройшли всі інші види підсумкових атестаційних випробувань.

Екзаменаційна комісія вирішує питання про присвоєння студенту ступеня вищої освіти та кваліфікації – бакалавр з енергетичного машинобудування.

Здобувач вищої освіти є виконавцем і автором своєї роботи, тому він відповідає за повне і своєчасне виконання завдання на ДПБ, за доцільність і обґрунтованість представлених рішень, правильність і коректність даних і обчислень, за якість оформлення технічної документації та графічної частини роботи, а також за виступ і відповіді на питання на її захист.



## 1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дипломний проект бакалавра – кваліфікаційна робота, що присвячена вирішенню виробничих задач, переважна більшість яких віднесена в ОПП до програмних компетентностей пов'язаних з проектною та проектно-конструкторською професійною функцією майбутнього фахівця. При виконанні ДПБ передбачається виконання технічного завдання, ескізного та технічного проєктів, робочої, експлуатаційної, ремонтної документації тощо. Виконання складових проєктів регламентується відповідними стандартами.

ДПБ може бути комплексним (кафедральним, міжкафедральним, міжвузівським) і виконуватися декількома студентами. ДПБ може ґрунтуватися на узагальненні виконаних випускником курсових проєктів.

### 1.1. Дидактичні цілі дипломного проєкту бакалавра

Метою виконання ДПБ є поглиблення студентом теоретичних і практичних знань, вироблення умінь застосовувати при вирішенні конкретних практичних завдань, сприяння розвитку пошуку сучасних наукових досягнень у певній сфері та вміння їх самостійно застосовувати при вирішенні прикладних проблем, визначення ступеню підготовки випускника до самостійної практичної діяльності. Працюючи над ДПБ, студент має засвоїти навички правильної постановки проблеми та обґрунтування її актуальності, формулювання мети і завдань дослідження, побудови логічного плану і оптимальної структури, роботи з літературними джерелами та статистичної інформації, аналізу та оцінки різних аспектів діяльності підприємств, обґрунтування власних узагальнень, висновків і пропозицій.

### 1.2. Характеристика дипломного проєкту бакалавра

ДПБ виконуються за темами, які розробляються й щорічно оновлюються випускаючою кафедрою за спеціальністю.

Номенклатура тематики повинна забезпечувати індивідуалізацію завдання на ДПБ та можливість вільного вибору теми студентами.

Студенту надається право запропонувати на розгляд кафедри власну тему ДПБ з обґрунтуванням доцільності її розробки, яка повинна обов'язково бути узгодженою з керівником ДПБ.

Тематика ДПБ повинна бути конкретною і містити процедуру діяльності та продукт, що має бути отриманим у результаті виконання роботи.

Формулювання теми ДПБ повинно відображати її зміст. Запропоноване формулювання назви теми не повинно починатися зі слів «створення» або «розробка».

Тема ДПБ повинна формулюватися таким чином, щоб в подальшому при публічному захисті кваліфікаційної роботи на засіданні ЕК члени комісії змогли винести однозначне судження не тільки про можливість присудження

здобувачу ступеня та кваліфікації вищої освіти, а й прийняти рекомендації про можливість і доцільність продовження навчання на наступному ступені освіти.

Оскільки дипломні бакалаврські проекти повинні носити кваліфікаційний і, одночасно, атестаційний характер, теми робіт повинні:

- відповідати вимогам актуальності;
- забезпечувати самостійність виконання роботи;
- передбачати необхідність аналітичного опрацювання досить великого обсягу технічної літератури;
- надавати здобувачам першого рівня вищої освіти можливість і забезпечувати обов'язковість використання при підготовці роботи знань, набутих при вивченні фундаментальних дисциплін;
- забезпечувати можливість аналізу техніко-економічної або наукової значущості виконаної роботи.

Закріплені персонально за кожним студентом теми ДПБ розглядаються на засіданні кафедри та затверджуються наказом ректора. Для комплексних ДПБ призначається головний керівник і керівники частин.

Зважаючи на розмаїття галузей енергетичного машинобудування, враховуючи основні напрямки наукової діяльності кафедри та університету, специфіку виробничої діяльності підприємств-партнерів кафедри та потенційних роботодавців регіону, тематика ДПБ кафедри пов'язана з холодильними машинами та установками систем охолодження та кондиціонування та умовно підрозділяється на три основні групи:

- промислові холодильні машини та установки;
- торговельне холодильне обладнання;
- системи кондиціонування повітря.

До першої групи відноситься обладнання, яке має, як правило, у своєму складі холодильні системи й (або) установки холодопродуктивністю понад 15 кВт та використовується для холодозабезпечення різноманітних технологічних процесів переробних та харчових виробництв. В цьому разі теми ДПБ можуть бути наступні:

- проект холодильної установки для забезпечення холодом підприємства з виробництва молока та молочних продуктів;
- проект холодильника для зберігання фруктів;
- проект установки шокowego заморожування полуниці;
- модернізація компресорного цеху фабрики морозива, тощо.

До другої групи відносять торговельне холодильне обладнання (ТХО), яке призначено для збереження харчових продуктів на підприємствах рітейлу та готельно-ресторанного бізнесу. ТХО призначено для короткочасного зберігання охолоджених або заморожених продуктів, напівфабрикатів і готових блюд та демонстрації їх під час продажу. До торговельного холодильного обладнання відносять: збірні холодильні камери, холодильні шафи, охолоджувані вітрини, прилавки й прилавки-вітрини, тощо. Темати ДПБ другої групи можуть бути, наприклад:

- проектування холодильної централі супермаркету;

- проект холодильного складу підприємства ритейлу;
- удосконалення апарату для приготування м'якого морозива тощо.

Третя група включає до себе системи кондиціонування повітря, які на сьогоднішній день поділяють на дві групи:

- системи комфортного кондиціонування повітря;
- системи технологічного кондиціонування повітря.

У цьому випадку теми дипломного проекту можуть бути наступні, наприклад:

- модернізація системи кондиціонування повітря підприємства ритейлу;
- проект системи комфортного кондиціонування повітря;
- проект системи кондиціонування повітря для забезпечення технологічного процесу виробництва сирокочених ковбас, тощо.

Науковими керівниками можуть бути науково-педагогічні працівники університету, які працюють на випускаючій кафедрі.

Науковий керівник дипломного проекту бакалавра:

- видає завдання на ДПБ;
- розробляє спільно зі студентом план (календарний графік) роботи на весь період виконання ДПБ, в т.ч. визначає термін подання ДПБ для поточної атестації (передзахисту) на кафедру;
- рекомендує студенту необхідну основну літературу та інші матеріали за обраною темою;
- проводить регулярні індивідуальні консультації;
- перевіряє виконання ДПБ (по частинах і в цілому);
- визначає необхідність залучення консультанта;
- представляє в екзаменаційну комісію письмовий відгук на ДПБ.

### 1.3. Завдання на дипломний проект бакалавра

Завдання на ДПБ – узагальнені проблемні ситуації, які подані в ОПІ у вигляді компетентностей діяльності фахівця.

За складністю завдання на ДПБ мають бути адекватними ступеню вищої освіти та кваліфікації, яка здобувається. Для завдань на ДПБ доцільно використовувати творчі виробничі задачі, вирішення яких можливе за термін дипломування, орієнтовані на знаково-розумові, предметно-розумові та знаково-практичні уміння, що мають виконуватись з опорою на носії інформації.

Завдання на ДПБ повинне орієнтувати на вирішення діагностичних за класом задач, які потребують не тільки вибору, але й перетворення відомих методів рішень для нових (нестандартних) умов.

Виконання ДПБ здійснюється студентом на основі завдання. Завдання на ДПБ передбачає формулювання теми ДПБ, регламентацію терміну здачі, переліку основних питань, які підлягають розробці в ДПБ і вимог до оформлення технічної документації та графічного матеріалу. Завдання

підписується керівником ДПБ і студентом з відміткою дати прийняття до виконання. Завдання на ДПБ затверджується завідувачем кафедри.

Процес виконання ДПБ починається з оформлення завдання на нього, яке полягає в заповненні спеціального бланка, узгодженим з керівником текстом і підписанням його. Бланк завдання підписується студентом і керівником ДПБ. Після затвердження завдання завідувачем кафедри, воно стає основним документом, який регламентує тему, зміст і оформлення ДПБ.

При складанні завдань на ДПБ необхідно враховувати, що під час виконання дипломного проекту здобувачі вищої освіти набувають навички самостійної інженерно-технічної та науково-дослідної роботи. При цьому особлива увага повинна приділятися збору і аналізу матеріалів, отриманих з науково-технічної літератури (монографії, збірники статей, періодика, матеріали конференцій і т.д.). Обов'язковою є робота в бібліотеках та в середовищі Internet.

1.4. Порядок і організація виконання дипломного проекту: хід і послідовність виконання основних етапів проекту

Підготовка ДПБ складається з наступних етапів:

- вибір теми, узгодження з науковим керівником, затвердження теми ДПБ на кафедрі;
- збір матеріалів і складання бібліографії;
- визначення структури та змісту проекту;
- аналіз теоретичних і практичних матеріалів;
- проведення розрахунків, формулювання висновків, консультації з науковим керівником;
- підготовка чорнового варіанта ДПБ та подання науковому керівникові;
- внесення доповнень, змін і підготовка остаточного варіанта;
- оформлення й здача остаточного варіанта ДПБ керівникові;
- перевірка ДПБ науковим керівником;
- оформлення відгука науковим керівником та передача ДПБ завідувачу випускаючої кафедри;
- затвердження ДПБ та рекомендація завідувача випускаючої кафедри до передзахисту на кафедрі;
- направлення ДПБ на рецензування;
- затвердження ДПБ та рекомендація до захисту в екзаменаційній комісії директором інституту;
- захист дипломного проекту бакалавра.

Будь-яке дослідження пов'язане з вибором відповідного методу. Від методу, тобто від способу наукового дослідження або способу пізнання якої-небудь реальності, залежать теоретична й практична значимість роботи. Умовно методи можна підрозділити на дві групи: теоретичні й емпіричні.

Теоретичні методи включають:

- історичний аналіз проблеми;
- метод порівняння, заснований на зіставленні компонентів досліджуваної структури проблеми;
- метод узагальнення, що включає сходження від конкретного до абстрактного;
- метод аналогій, заснований на спільності фундаментальних законів, характерних для всіх сфер людської життєдіяльності;
- метод систематизації та ін.

Емпіричні методи (засновані на досвіді) включають:

- вивчення матеріалів по темі дослідження, а також нормативних, інструктивно-методичних документів;
- аналіз фактичної (звітної, поточної) документації;
- спостереження;
- експеримент;
- проведення досліджень та ін.

У ході емпіричних досліджень також застосовуються методи математичного моделювання, статистичний аналіз та ін.

Вибір студентами теми здійснюється самостійно. При виборі теми ДПБ студент повинен, насамперед, керуватися власним інтересом з обліком майбутньої професійної діяльності. Тема ДПБ повинна бути досить широкою, що дозволить студенту показати рівень теоретичної підготовки, вміння виконувати інженерно-конструкторські роботи на всіх етапах і стадіях проектування. Вона повинна вимагати від студента виконання досить серйозних розрахункових, конструкторських робіт, рішення порівняно складних інженерно-технічних питань. Бажано вибрати тему проблемного, а не описового характеру. Тема узгоджується з керівником від кафедри. У процесі написання ДПБ формулювання теми проекту не може змінюватися й уточнюватися.

***При виконанні дипломного проекту студент повинен:***

- обрати та узгодити з керівником тему;
- отримати завдання;
- самостійно виконувати дипломний проект, використовуючи методичне та інформаційне забезпечення та запропоновані джерела інформації;
- відвідувати консультації;
- сприймати зауваження та виконувати методичні вказівки керівника;
- подати дипломний проект на перевірку керівнику не пізніше ніж за три дні до передзахисту на кафедрі;
- підготувати доповідь про основні положення дипломного проекту;
- захистити дипломний проект перед екзаменаційною комісією.

***Керівник дипломного проекту повинен:***

- видати завдання на дипломний проект з визначеними термінами виконання та захисту;
- керувати виконанням дипломного проекту;

- скласти графік консультацій;
- дотримуватись графіка консультацій;
- контролювати хід та якість виконання дипломного проекту;
- перевірити та оцінити якість виконання дипломного проекту;
- провести підготовку студента до захисту дипломного проекту.

***Завідувач кафедри здійснює:***

- організацію матеріально-технічного, методичного та інформаційного забезпечення виконання дипломних проектів;
- контроль графіка проведення консультацій керівниками ДПБ;
- вирішення спірних питань, що можуть виникнути між керівником ДПБ та студентом.

На завершальному етапі виконання ДПБ (за 2 тижні до терміну захисту) на випускаючій кафедрі проводиться поточна атестація – попередній захист (передзахист). Передзахист організовується у формі обговорення ДПБ. Студент, який не атестований за результатами передзахисту ДПБ, може бути відрахований з університету за невиконання навчального плану. У разі наявності поважних причин, підтверджених документально, студенту встановлюються індивідуальний порядок і терміни виконання та захисту ДПБ.

Завершений дипломний проект, підписаний здобувачем, надається керівнику, який після перегляду роботи підписує її і разом з письмовим відгуком про роботу, передає її завідувачу випускаючої кафедри.

Рішення про рекомендації ДПБ до захисту в екзаменаційній комісії приймає завідувач випускаючої кафедри, про що робить відмітку на титульному аркуші роботи. У тих випадках, коли завідувач кафедри не вважає за можливе рекомендувати роботу до захисту, питання розглядається на засіданні кафедри за участю студента і наукового керівника.

Остаточне рішення про можливість захисту ДПБ в екзаменаційній комісії, приймає директор інституту, про що робить відмітку на титульному аркуші роботи.

Дипломні проекти, виконані після закінчення ОПП підготовки бакалавра, підлягають рецензуванню.

Склад рецензентів затверджується директором інституту за поданням завідуючого випускаючої кафедри. В якості рецензентів можуть залучатися кваліфіковані фахівці галузі та викладачі закладів вищої освіти. Фахівці кафедри, на якій виконувався дипломний проект, можуть бути рецензентами лише у виняткових випадках.

Оформлений в установленому порядку дипломний проект, за 10 днів до захисту, направляється завідувачем випускаючої кафедри до рецензента для рецензування.

Дипломний проект з відгуком наукового керівника і рецензією представляється в екзаменаційну комісію не пізніше ніж за три дні до призначеного терміну захисту.

Критерії оцінки ДПБ затверджуються Вченою радою інституту з урахуванням рекомендацій УМО ВНЗ.

Захист дипломного проекту (за винятком робіт по закритій тематиці) проводиться на відкритому засіданні екзаменаційної комісії за участю не менше двох третин її складу.

Всі засідання екзаменаційної комісії з захисту дипломних проектів протоколюються. Протоколи засідання комісії ведуться за встановленою формою. Протоколи підписуються головою комісії та її членами, які беруть участь в засіданні.

### 1.5. Оцінювання виконання дипломного проекту бакалавра

#### **Оцінка ДПБ здійснюється на основі наступних критеріїв:**

- відповідність оформлення роботи існуючим вимогам;
- грамотність, стилістична правильність викладу;
- зміст роботи розкриває заявлену тему, у висновку є рішення поставлених у вступі завдань;
- вивчення широкого спектра різноманітних джерел з наступним самостійним аналізом теоретичного й фактичного матеріалів;
- якість оформлення графіків, діаграм, таблиць;
- наявність елементів наукової творчості;
- глибокі висновки з серйозною аргументацією;
- ступінь самостійності студента на всіх етапах підготовки дипломного проекту (вибір теми, складання плану проекту, збір і аналіз джерел, формулювання висновків і пропозицій);
- своєчасність і чіткість виконання вимог наукового керівника;
- аргументованість відповідей на питання в процесі захисту проекту.

#### **Вимоги, виконання яких, забезпечує максимальну оцінку:**

- об'єктивне висвітлення стану питання з творчим використанням сучасних джерел інформації;
- оригінальність технічних, технологічних, організаційних та управлінських рішень;
- практичне значення результатів;
- підтвердження рішень і пропозицій відповідними розрахунками;
- повнота структури розрахунків (постановка задачі, розрахункова схема, рішення, оцінка рішення);
- всебічність оцінки впливу результатів (надійність системи, безпека, екологія, ресурсозбереження тощо);
- органічний зв'язок пояснювальної записки з графічною частиною;
- наявність посилань на джерела інформації;
- відсутність дублювання, описового матеріалу, стереотипних рішень, що не впливають на суть і висвітлення отриманих результатів;
- використання прикладних пакетів комп'ютерних програм;
- оформлення креслень і пояснювальної записки відповідно до чинних стандартів;

- загальна та професійна грамотність, лаконізм і логічна послідовність викладу матеріалу;
- якість оформлення;
- самостійність виконання.

Максимальна оцінка, за національною шкалою «5», університетською 90–100 балів, ECTS – «відмінно» (A), може бути отримана студентом за відповідності його дипломного проекту усім зазначеним критеріям. Відсутність тієї або іншої складової знижує оцінку на відповідну кількість балів.

Нижче наведено критерії оцінювання ДПБ за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування».

*Оцінка за національною шкалою «5», університетською 90–100 балів, ECTS – «відмінно» (A).*

Обґрунтовано актуальність теми. У теоретичній частині представлено аналіз досліджень з проблеми. На підставі теоретичного аналізу сформульовані гіпотеза й конкретні завдання роботи. Показано поінформованість студента про сучасні дослідницькі напрямки та методики розрахунків. У проекті використовуються різні методи аналізу отриманих результатів. Виклад проекту ілюструється графіками, таблицями, схемами. Висновок містить розгорнуті, конкретні, самостійні результати, надано практичні рекомендації, а також визначені напрямки подальшого вирішення проблеми. На захисті здобувач демонструє вільне володіння матеріалом, знання теоретичних підходів до проблеми, упевнено відповідає на основну частину питань.

*Оцінка за національною шкалою «4», університетською 75–89 балів, ECTS – «добре» та «дуже добре» (C та B).*

У вступі розкрита актуальність проблеми дослідження. У теоретичній частині представлений вивчений перелік основної літератури за темою, визначені й виявлені теоретичні основи проблеми, виділені основні теоретичні поняття. Сформульовано гіпотезу й завдання проекту, методи розрахунків відповідно поставленим завданням. Студент орієнтується в сучасних дослідницьких методиках та методиках проведення розрахунків. Відзначається недостатність самостійного аналізу. У висновку сформульовані загальні положення роботи. ДПБ правильно оформлений. Всі етапи ДПБ виконані в визначені терміни. Невпевнений захист дипломного проекту, відсутність відповідей на частину питань.

*Оцінка за національною шкалою «3», університетською 60–74 балів, ECTS – «достатньо» та «задовільно» (E та D).*

Правильно розкрита актуальність теми. Описово даний теоретичний аналіз проблеми. Бібліографія обмежена. Судження відрізняються поверховістю, слабкою аргументацією. Методи дослідження відповідають поставленим завданням. Розрахунки виконані правильно. Аналіз отриманих даних носить описовий характер. У висновку сформульовані загальні положення роботи. Дипломний проект оформлений відповідно до вимог. Студент на захисті не може аргументувати основну частину висновків, погано відповідає на питання, слабо володіє матеріалом теми.



## 2. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

**Структура пояснювальної записки** умовно поділяється на вступну, основну частину та додатки.

*Вступна частина:*

- титульний аркуш;
- лист завдання на ДПБ;
- реферат;
- зміст;
- вступ.

*Основна частина:*

- розділи дипломного проекту;
- висновки;
- список використаних джерел.

*Додатки.*

**Титульний аркуш** виконується відповідно до зразка, який наведено в додатку 1.

**Завдання на дипломний проект бакалавра** виконується відповідно до зразка, який наведено в додатку 2.

**Реферат** розташовують з нової сторінки. Реферат має бути стислим, інформативним, з суттєвими відомостями про дипломний проект бакалавра. Він містить таку інформацію:

- відомості про обсяг пояснювальної записки, кількість її частин, кількість ілюстрацій, таблиць, додатків, кількість джерел згідно з переліком посилань (відомості наводять, включаючи дані додатків);
- текст реферату;
- перелік ключових слів.

Послідовність викладення реферату така:

- об'єкт дослідження або розробки ;
- мета дипломного проекту бакалавра;
- методи дослідження й апаратура;
- результати та їх новизна;
- основні конструктивні, технологічні й техніко-експлуатаційні характеристики та показники;
- галузь застосування;
- економічна ефективність;
- значення роботи і висновки;
- прогностичні припущення про розвиток об'єкта дослідження або розробки.

Структурні частини реферату, в яких відсутні відомості, не подають.

Обсяг реферату – близько 500 слів. Реферат повинен уміщуватися на одній сторінці формату А4.

Ключові слова, що є визначальними для розкриття суті дипломного проекту бакалавра, наводять після тексту реферату великими літерами в називному відмінку в рядок через коми, перелік їх повинен містити від 5 до 15 слів (словосполучень). Зразок реферату наведено в додатку 3.

**Зміст** розташовують на новій сторінці. До змісту включають: послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, пунктів та підпунктів; висновки; перелік посилань, додатки тощо і номери сторінок, які вказують початок матеріалу.

**Вступ** розташовують з нової сторінки. Вступ є важливою частиною дипломного проекту. У ньому необхідно відобразити наступне:

- актуальність теми;
- мету й завдання дослідження;
- об'єкт дослідження;
- предмет дослідження;
- структуру роботи.

Перший варіант вступу, у схематичній формі, корисно написати на самому початку виконання дипломного проекту. Це допоможе організувати процес роботи й зробити його більш цілеспрямованим.

При написанні вступу дипломного проекту необхідно враховувати наступні рекомендації:

*Актуальними признаються теми, недостатньо розроблені теоретично й практично, присвячені важливим проблемам, рішення яких може забезпечити внесок у розвиток економіки України та світового товариства. Рекомендується відзначити, на якому ступені досліджувані питання розглянуті в науковій літературі.*

Якщо в спеціальній літературі досліджувана проблема розглянута в недостатній мірі, то необхідно вказати, які питання в ній вирішені не повністю, а яким приділена особлива увага.

*Мета й завдання дипломного проекту.* Метою дипломного проекту є дослідження проблем, обумовлених обраною темою, а також напрямків і методів їхнього рішення. Мету дипломного проекту необхідно сформулювати коротко й конкретно. Вона повинна випливати з обґрунтування актуальності теми.

Завдання дипломного проекту – це теоретичні й практичні результати, які повинні бути отримані в ході виконання ДПБ. Вони повинні визначати структуру змісту (плану) дипломного проекту.

*Структура дипломного проекту* – це певна послідовність виконання проекту («Вступ», основна частина, «Висновки», «Список використаних джерел», «Додатки»).

У вступі студент повинен у короткій формі охарактеризувати основний зміст розділів дипломного проекту. Загалом вступ містить обґрунтування практичної і теоретичної актуальності проблеми, призначеної для вивчення. У вступі доцільно також подати термінологічні особливості дипломного проекту.

**Основна частина** розпочинається з нової сторінки. Послідовно викладають фактичний матеріал зібраний та систематизований при вивченні першоджерел інформації. Кожний розділ дипломного проекту поділяється на два – чотири підрозділи.

Основна частина дипломного проекту розміщується у трьох або чотирьох розділах, у яких наводиться:

- огляд літератури по темі та вибір напрямку досліджень;
- виклад загальної концепції й основних методів досліджень;
- опис експериментальної частини, застосовуваного обладнання та техніки експерименту,
- виконані в роботі теоретичні та (або) експериментальні дослідження,
- аналіз і узагальнення результатів досліджень.

Розподіл основного матеріалу дипломного проекту за розділами, виділення матеріалу в окремі розділи або підрозділи, методики, експериментальна частина визначається автором ДПБ за узгодженням з керівником.

**В аналітичному огляді літератури** студент дає нарис основних етапів розвитку наукової думки проблеми, яка розглядається. Стисло, критично розглянувши попередні роботи, студент повинен вказати ті питання, які залишилися невисвітленими й, таким чином, визначити своє місце в рішенні проблеми (завдання).

Бажано закінчити огляд коротким резюме про необхідність проведення досліджень у даній області та визначити предмет свого дослідження.

При викладі загальної концепції та основних методів досліджень дається теоретичне обґрунтування пропонованих методів, алгоритмів рішення завдань, викладається їхня суть, дається обґрунтування вибору прийнятого напрямку дослідження. У теоретичних роботах викладаються відомі та пропоновані методи розрахунків, їхні порівняльні оцінки, висунуті гіпотези, в експериментальних – принципи дії й характеристики розробленої апаратури, оцінки погрешностей вимірів.

**У розділах дипломного проекту** з вичерпною повнотою викладається власне дослідження студента з виявленням того нового, що він вносить у розробку проблеми (завдання) або розвиток конкретних напрямків у відповідній галузі науки. Автор дипломного проекту повинен давати оцінку досягнення мети й повноти рішення поставлених завдань, оцінку вірогідності отриманих результатів, їхнє порівняння з аналогічними результатами вітчизняних і закордонних робіт, обґрунтування необхідності проведення додаткових досліджень, негативні результати, що приводять до необхідності припинення подальших досліджень за конкретним питанням.

Весь порядок викладу в дипломному проекті повинен бути підпорядкований меті дослідження, сформульованій автором. Логічність побудови й цілеспрямованість викладу основного змісту досягається тільки тоді, коли кожний розділ має певне цільове призначення і є базою для наступного.

У дипломному проекті бакалавра треба стисло, логічно й аргументовано викладати зміст і результати досліджень; уникати загальних слів, бездоказових тверджень, тавтології, невиправданого збільшення обсягу ДПБ.

При написанні дипломного проекту студент зобов'язаний давати посилання на авторів і джерело, з якого він запозичив матеріали або окремі результати. Цитування допускається тільки з обов'язковим використанням лапок. Не допускається компілятивний переказ тексту та окремих пропозицій інших авторів.

Наприкінці кожного розділу рекомендується робити основні висновки й пропозиції.

**Висновки** відбивають короткий виклад основних етапів дослідження й містять формулювання найважливіших теоретичних і практичних висновків, авторських розробок і пропозицій студента, що дозволяють вирішити те або інше поставлене завдання. Тобто подається самооцінка ступеня досягнення мети. Висновки мають відповідати поставленим завданням.

Висновки розташовують безпосередньо після викладу розділів дипломного проекту, починаючи з нової сторінки.

Текст висновків може поділятися на пункти.

**Список використаних джерел** (перелік джерел, на які є посилання в основній частині), наводять починаючи з нової сторінки. У нього включаються тільки ті джерела, які реально використовувалися при підготовці дипломного проекту. Рекомендується в ДПБ використовувати від 20 і більше літературних джерел.

Бібліографічні описи в переліку посилань, подають у порядку, за яким вони вперше згадуються в тексті дипломного проекту. Порядкові номери описів у переліку є посиланнями в тексті (номерні посилання). За необхідності джерела, на які є посилання тільки в додатку, наводять в окремому переліку посилань у кінці додатку.

Нумерація документів у списку літератури повинна бути суцільною – від першої до останньої назви. Бібліографічний опис кожного джерела складається за певною схемою й складається з ряду обов'язкових елементів відповідно до існуючого ДСТУ.

**Додатки.** У додатках подають матеріал, який є необхідним для повноти дипломного проекту і не може бути розміщений в основній частині через великий обсяг.

Додатки поміщають наприкінці дипломного проекту у вигляді форм первинних і зведених документів, розрахунків, таблиць, графіків, схем, діаграм та ін. На кожному з них у правому верхньому куті пишеться слово «Додаток» і проставляється порядковий номер. Наприклад: «Додаток 1», «Додаток 2» та ін. Нумеруються додатки в тій послідовності, у якій їхні дані використовуються в дипломному проекті. При зверненні в тексті роботи до того або іншого додатка робиться посилання, наприклад, ... в «Додатку 2»...

**Загальні вимоги.** Документи й інші матеріали які використовувались в дипломному проекті повинні бути правильно оформлені та достовірні. Замість підписів на документах вказуються прізвища посадових осіб.

Дипломний проект бакалавра, у якому тільки переказуються підручники, навчальні посібники або закони та інструкції, не допускається до захисту й повертається студентові на доробку.

Таких виражень, як «торік», «у цьому році», «у цей час», варто уникати й указувати конкретно місяць і рік.

Дати прийняття документів необхідно розташовувати в наступній послідовності – число, місяць, рік. Номер документів пишеться після дати прийняття. Не допускається скорочення слів у назві документів, крім загальноприйнятих аббревіатур (ХДУХТ, НБУ та ін.). Не слід перенасичувати текст спеціальними термінами й скороченнями, що утрудняють читання.

Особливу увагу в дипломному проекті необхідно приділити ілюстраціям, графікам, діаграмам і додаткам до ДПБ. Їхня кількість і якість свідчать, по-перше, про глибину вивчення студентом теоретичного й практичного матеріалу по вибраній темі, по-друге, показують старанність підбору матеріалів, по-третє, що найважливіше, вони є підтвердженням обґрунтованості висновків і пропозицій.

Обсяг дипломного проекту бакалавра повинен бути в межах 80...120 сторінок машинописного тексту при виконанні її на комп'ютері, без урахування додатків.

**Рекомендовано наступний розподіл тексту за розділами ДПБ:**

реферат – 1 сторінка, вступ – 2...3 сторінки, основна частина – 70...110 сторінок і висновки – 2...3 сторінки, бібліографічний список (список використаної літератури) – 3...4 сторінки.

### 3. ОФОРМЛЕННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА

#### 3.1. Вимоги до оформлення дипломного проекту бакалавра

Дипломний проект бакалавра повинен відповідати певним вимогам до оформлення.

ДПБ включає комплект технічної документації, до складу якої входять пояснювальна записка та графічна частина. Структура дипломного проекту повинна відповідати вимогам стандартів ЄСКД, СПДС, ЄСПД. Текстова частина пояснювальної записки обов'язково виконується ідентично вимогам стандарту ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Вона повинна бути написана грамотно, акуратно оформлена, зброшурована та містити тверду обкладинку.

Дипломний проект бакалавра повинен мати титульний аркуш, та аркуш завдання.

Текст ДПБ необхідно друкувати на комп'ютері на одній стороні стандартного аркуша білого паперу для письма формату А 4, залишаючи поля: ліве – 2,5 см, праве – 1 см, верхнє – 1 см, нижнє – 2,5 см (шрифт 14 Times Roman, через 1,5 міжрядкових інтервали). Текст необхідно розміщувати в стандартній рамці для текстових документів, яку наведено в додатку 4.

Текст ДПБ поділяють на абзаци, кожен з яких включає самостійну думку. Відступ на абзац повинен бути однаковим за всім текстом дипломного проекту і рівним 1,25 см від лівого поля аркушу.

Всі сторінки дипломного проекту нумеруються тільки арабськими цифрами. Номера сторінок проставляються в правому нижньому куті рамки.

Титульний аркуш установленної форми є першою сторінкою дипломного проекту, на ньому номер сторінки не ставиться.

На третій сторінці, після завдання, розташовують «Реферат», «Зміст» (план) роботи, тобто назви розділів («Вступ», основну частину, «Висновки» і т.п.) із вказівкою відповідних сторінок.

Рекомендується оформляти заголовки розділів прописними буквами, а заголовки підрозділів – малими літерами (крім першої прописної). Переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається із двох пропозицій, їх розділяють крапкою.

Слова, виконані на окремому рядку прописними буквами («Реферат», «Зміст», «Вступ», «Висновки», «Список використаних джерел», «Додатки»), служать заголовками відповідних розділів і не нумеруються.

Відстань між заголовками й текстом повинна бути рівним 2 інтервалам. Відстань між заголовками розділу й підрозділу – 1 інтервал.

Розділи роботи повинні мати порядкові номери, позначені арабськими цифрами із крапкою. Підрозділи нумерують у межах кожного розділу. Номера підрозділів складаються з номерів розділу й підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номери підрозділу також повинна ставитися крапка. Наприклад, «2.3.» (третій підрозділ другого розділу). Пункти нумерують у межах кожного підрозділу. Номер пункту повинен складатися з номера розділу, підрозділу й

пункту, розділених крапками. Наприклад, «2.4.2.» (другий пункт четвертого підрозділу другого розділу).

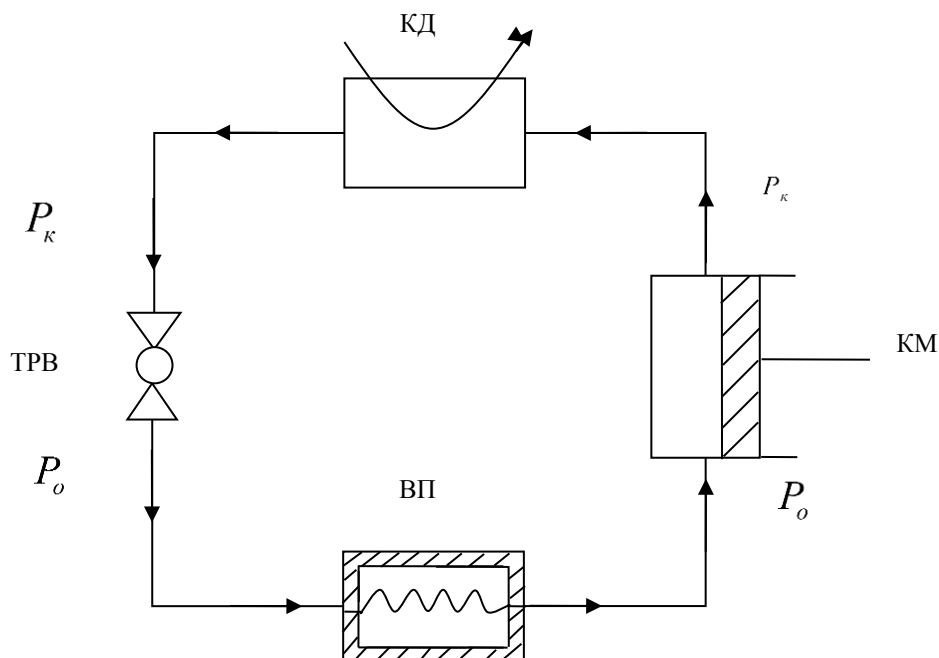
Кожний розділ роботи («Вступ», розділи, «Висновок» і т.п.) доцільно починати на новому аркуші.

Складовими частинами ДПБ служать: таблиці, схеми, графіки, діаграми, рисунки, приклади, формули, розрахунки, цифри, цитати, посилання, висновки, рекомендації й т.д. Існують установлені стандарти їхнього оформлення, яких необхідно дотримуватися.

**Ілюстрації дипломного проекту бакалавра** виконуються у вигляді креслень, ескізів, схем, графіків, діаграм, фотографій та ін. Усі ілюстрації умовно називаються рисунками.

Рисунки позначаються словом «Рис.» і мають наскрізну нумерацію в межах всієї роботи або розділу. Якщо нумерація наскрізна в межах всієї роботи то рисунок нумерується однією цифрою, наприклад: «Рис. 1», «Рис. 2» тощо. Якщо нумерація в межах розділу, то вона здійснюється двома арабськими цифрами, поділеними крапкою — номером частини і порядковим номером рисунка, за винятком ілюстрацій, наведених у додатку, наприклад: «Рис. 1.1», «Рис. 2.1» тощо. Якщо в дипломному проекті наведена одна ілюстрація, то її не нумерують і слово «Рис.» не пишуть. Для ДПБ за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування» рекомендовано застосовувати нумерацію в межах розділу.

*Наприклад:*



**Рисунок 7.1 – Принципова схема холодильної машини:** КМ – компресор; КД – конденсатор; ВП – випарник; ТРВ – терморегулюючий вентиль;  $P_k$  – тиск конденсації;  $P_o$  – тиск кипіння

Повний підпис до ілюстрації включає елементи:

- умовне скорочення назви ілюстрації для посилань;
- порядковий номер ілюстрації;
- власне підпис;
- експлікація (пояснення деталей ілюстрації);
- розшифрування умовних позначень та інші тексти типу приміток.

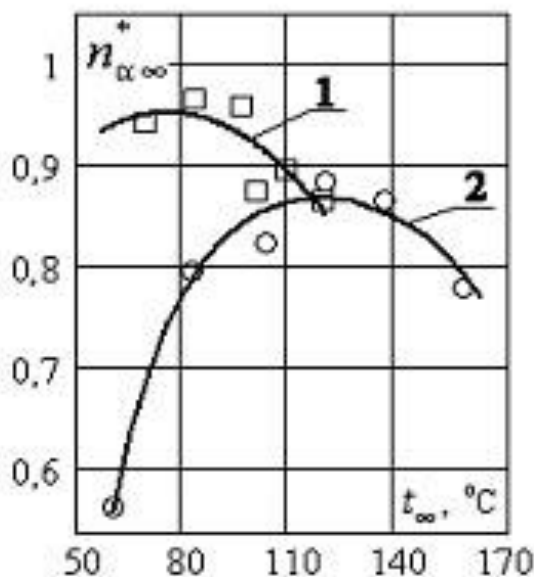
Графіки повинні мати координатні осі та координатну сітку. На гістограмах, кругових (секторних) діаграмах тощо допускається не зображати координатні осі та сітку за умови, що масштаб величин позначений іншим способом.

На координатних осях графіка необхідно наносити значення змінних величин у вигляді шкал у лінійному або нелінійному масштабі.

Поряд з поділками координатної сітки та ділильними штрихами шкали подаються відповідні значення величин. Допускається використовувати додаткові ділильні штрихи без значень. Якщо початок відліку обох шкал – нуль, його позначають лише раз у точці їх перетину. Числа біля шкал треба розміщувати горизонтально поза полем графіка.

Паралельно основній шкалі графіка можна розташувати додаткові шкали.

*Наприклад:*



**Рисунок 1.2 – Вплив температури сушіння на зміну відносної концентрації аскорбінової кислоти в картоплі: 1 – ЗТП-сушіння; 2 – сушіння в киплячому шарі**

Назву фізичної величини, відкладеної на графіку, зазначають текстом паралельно відповідній шкалі. Одиницю фізичної величини (якщо має розмірність) позначають після її назви через кому.

Літерне позначення величини (при необхідності) проставляють перед позначенням одиниці, виділяючи комами, напис – поза полем графіка. У кінці



напису крапку не ставлять.

Осі шкал і криві на полі графіка виконують суцільною основною лінією, координатну сітку і ділильні штрихи – суцільною тонкою лінією, а якщо на графіку дві й більше кривих – лініями різного типу (суцільними, штриховими та ін.) або кольору.

Одержані вимірюванням чи розрахунком точки позначають на графіку кружальцями, хрестиками, іншими умовними знаками. Допускається наносити точки у вигляді хрестів або еліпсів розсіювання.

При необхідності лінії і точки графіка позначають арабськими цифрами чи літерами. Перетин ліній і написів не допускається. За браком місця лінію розривають. Позначення пояснюють у підписах під рисунками.

Графіки, що схематично зображують характер залежності, дозволяється виконувати без шкал і координатної сітки. В цьому разі осі графіка закінчують стрілками, які вказують напрям зростання фізичної величини. Такі графіки виконують тільки в лінійному масштабі.

Наприклад:

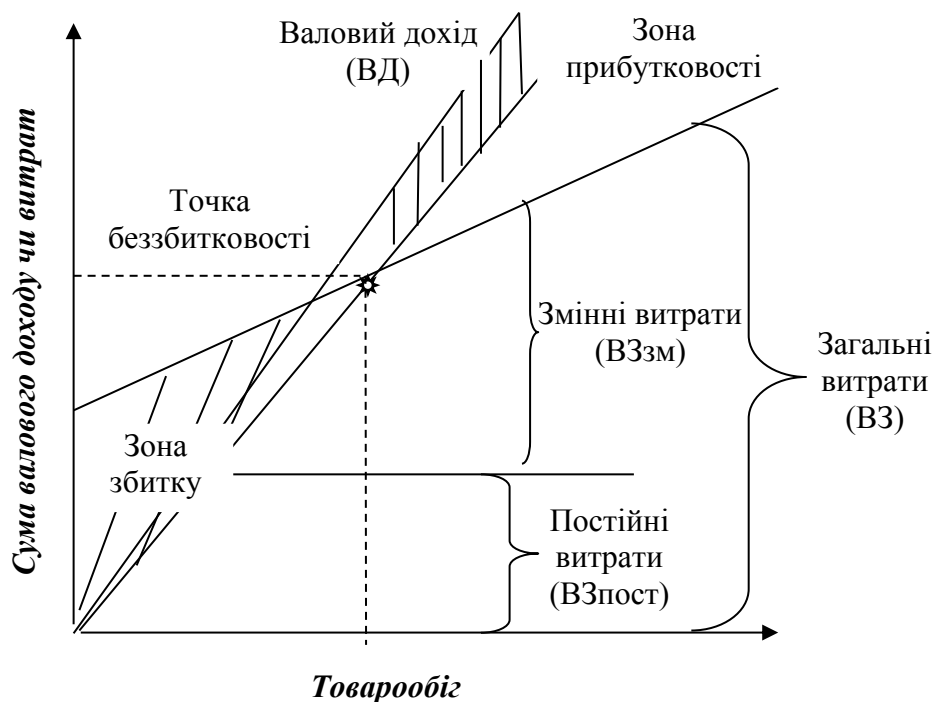


Рисунок 1.2 – Графічне визначення точки беззбитковості підприємства

Ілюстрації повинні бути розташовані так, щоб їх було зручно розглядати без повороту роботи або з поворотом за годинниковою стрілкою, їх розташовують після першого посилання на них. Ілюстрації повинні мати назву. У тексті необхідно робити посилання на ілюстрації й давати їм пояснення.

Цифровий матеріал зручно оформляти у вигляді **таблиць**.

**Таблиці в тексті дипломного проекту** теж мають наскрізну нумерацію (за винятком таблиць, наведених у додатку) арабськими цифрами. Якщо у тексті одна таблиця, то вона не нумерується.

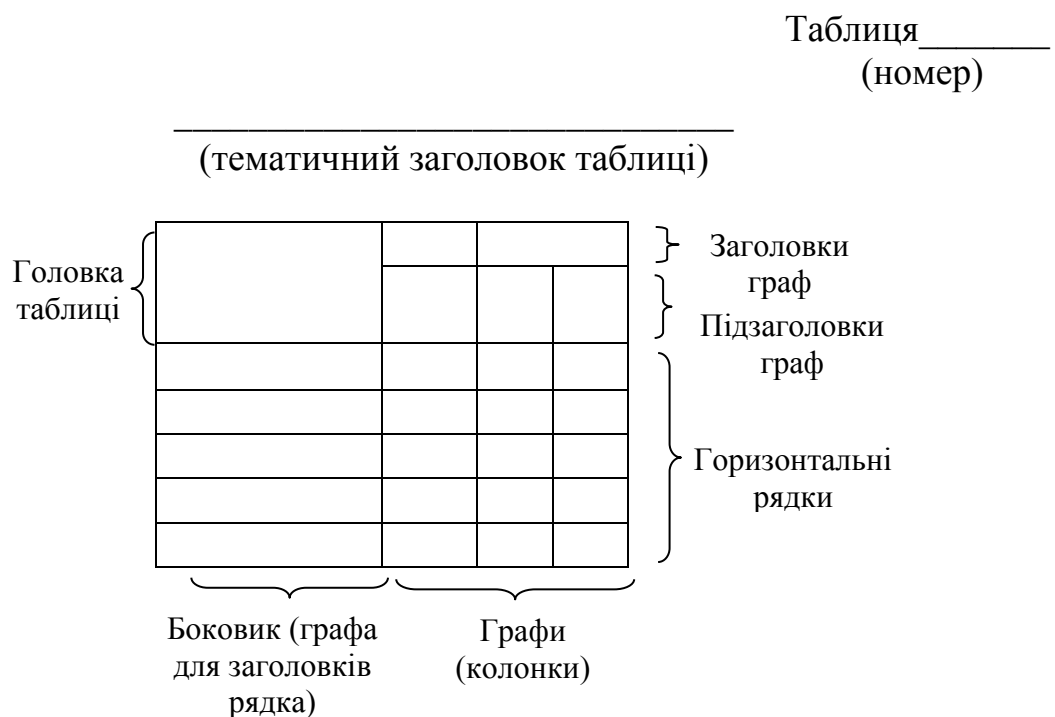
У правому верхньому куті таблиці над відповідним заголовком поміщають напис «Таблиця» із вказівкою номера таблиці, нижче (над самою таблицею) розміщують заголовок.

Тематичний заголовок повинен відбивати основне призначення таблиці, її суть і тенденцію. Але, якщо таблиця цілком складає зміст розділу, тематичний заголовок не потрібен.

Заголовок таблиці й слово «Таблиця» починають із прописної букви й не підкреслюють. Заголовки окремих граф таблиць повинні починатися також із прописних букв. Таблицю розміщують після першого згадування про неї в тексті таким чином, щоб її можна було читати без повороту роботи або з поворотом за годинниковою стрілкою.

Порядок розташування елементів заголовка граф: словесне визначення, літерне позначення, позначення одиниці, вказівка про обмеження (від, до, не більше, не менше).

У багатоярусній головці насамперед повідомляється про розташовані у графах дані, вказуються об'єкти, які ними характеризуються.



Заголовки підпорядкованих ступенів починають з малої літери.

Залишати клітинку головки порожньою над боковиком небажано. Поділ клітинки косою лінією припустимо лише при дуже складній багатоярусній головці.

Слова, які повторюють заголовок боковика, замінюють лапками за числом повторених слів. При повному повторі 1-й заголовок рекомендується замінити словосполученням «Те саме», а наступні – лапками. Якщо повторюється тільки частина заголовка, а інша його частина змінюється, то повторювану замінюють словосполученням «Те саме».

Якщо рядки і графи таблиці виходять за формат сторінок, таблицю ділять на частини, розміщують одну над іншою або поруч, або переносять частину таблиці на наступну сторінку. При цьому в кожній частині таблиці повторюють її головку і боковик.

При розподілі таблиці на частини допускається її головку або боковик замінити відповідно номерами граф або рядків і нумерувати арабськими цифрами графи або рядки першої частини таблиці.

При цьому необхідно, щоб усі частини таблиці містили більше одного рядка інформаційного матеріалу.

У середині тексту заголовків знаки розставляють за загальними правилами пунктуації. Наприкінці заголовка крапка не ставиться.

Числові значення в графах розташовують так: одиниці під одиницями, десятки – під десятками та ін. Числові значення неоднакових величин центрують. При відсутності відомостей у графах ставлять знак (...), а якщо явище не спостерігається – тире (прочерк). Залишати клітинку порожньою не бажано.

Однотипні числові дані рекомендується округляти з однаковим ступенем точності в межах графи або рядка. Якщо число не округлене, в дробову частину десяткового дробу допускається додавати нулі.

При відображенні діапазону значень величин тире або знак (...) центрують, а числа вирівнюють по знаках (–) або (...):

При змішаному відображенні числових значень і діапазонів значень величин окреме число рівняють по знаках (–) або (...). Поділ чисел на цифрові групи обов'язкове:

Усі рядки таблиці з однорядкових елементів вирівнюють за останнім рядком заголовка боковика, а рядки з дво- і багаторядковими текстовими елементами – за верхнім рядком боковика. Початкова літера тексту в графах – велика. Рядки з номером вирівнюють за верхнім рядком боковика.

Якщо рядок і графи таблиці виходять за рамки формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під другою, або поруч, або переносячи частину таблиці на наступну сторінку, повторюючи в кожній частині таблиці її головку та боковик (табл. 1.1).

Нумерація граф використовується при посиланні на них у тексті та може застосовуватись як заміна заголовків граф при продовженні таблиці на наступних сторінках в цьому випадку головку таблиці можна не повторювати.

Посилатися на таблицю доцільно в тому місці тексту, де формулюється положення, яке вона доповнює, підтверджує, ілюструє. Посилання на таблицю повинні органічно входити в текст, а не виділятися у самостійну фразу, яка повторює тематичний заголовок таблиці.

**Математичні формули.** Важливі, довгі та нумеровані формули розташовують окремим рядком по середині. Вище та нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менш одного вільного рядка. Порядкові номери формул позначають арабськими цифрами у круглих дужках з правого краю тексту.

Наприклад:

$$F \pm T - W - P_m = 0. \quad (2.2)$$

Зайве нумерувати формули, на які немає посилань у тексті.  
Декілька коротких однотипних формул поміщають одним рядком:

Наприклад:

$$N = F_0 \frac{gk_p}{1000 \cdot \eta_0}, \quad N = |F_0| \frac{gk_p}{1000} \eta_0, \quad (3.7)$$

Формули, що не мають самостійного значення, розміщують усередині рядків.

Наприклад:

Співвідношення  $\lambda_{max} = \frac{M_{max}}{M_{ном}}$  характеризує перевантажувальну здатність двигуна.

Для позначення одним номером групу формул об'єднують парантезом (фігурною дужкою) праворуч:

$$\left. \begin{aligned} F_{cy} &= \frac{F_0 k_3}{\int_b a_2 - l}, \\ F_{cy} &= \frac{F_0 k_3}{\int_b (a_1 + a_2) - l}, \\ F_{cy} &= \frac{F_0 k_3 b_2}{\int_b a_2 - l}. \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

Для системи рівнянь парантез проставляють ліворуч:

$$\left\{ \begin{aligned} F - N \sin y - W \cos y &= 0, \\ Q - N \cos y + W \sin y &= 0, \\ M_n - W_r &= 0. \end{aligned} \right. \quad (5.17)$$

При відсутності парантеза номер теж ставлять проти середини групи формул. Нумерація проміжних формул допускається малими літерами в круглих дужках.

При посиланнях на будь-яку формулу її номер подають у тій самій графічній формі, що і після формули:

...у формулі (5.2);

...з рівнянь (7.4) випливає ...

Формула, власне, стає частиною речення як його рівноправний елемент. Тому наприкінці формул у тексті і перед ними розділові знаки ставлять відповідно до правил пунктуації.

Експлікацію (розшифрування літерних позначень величин у формулі) подають в підбір.

*Наприклад:*

Таким чином,

$$\rho_m = k_n \frac{I}{\mu_0 \cdot \alpha} B^2 \quad (7.23)$$

де  $\rho_m$  – лінійна сила притягання магнітопроводу до поверхні рейки, *Н/м*;  
 $k_n$  – коефіцієнт неоднорідності магнітного поля;  
 $B$  – магнітна індукція у зоні контакту, *Тл*;  
 $\mu_0$  –  $1,256 \cdot 10^6$  – магнітна силова постійна, *Гн/м*;  
 $\alpha$  – ширина зони контакту полюсів з рейкою, *м*.

До розшифрування загальноприйнятих позначень не вдаються. При великій кількості формул список позначень із розшифруванням доцільно подавати окремо на початку або в кінці видання.

У формулах, в першу чергу, варто використовувати круглі дужки, у другу – квадратні, у третю – фігурні. Якщо ж і їх недостатньо – дужки більшого кегля.

Коефіцієнти у формулах слід ставити перед літерними позначеннями:

$$(\pi\sqrt{2}/4)\sin(a/2)\cos(\delta+\pi/4);$$

$$0,9 \cdot 10^6 Q / (a^2 + \sigma^2).$$

Крапка як знак множення ставиться:

– перед числовим співмножником:

$$a \cdot 5; 35 \cdot 150,18;$$

– для запису скалярного добутку:

$$a \cdot y;$$

– між аргументом тригонометричної функції і літерним позначенням:

$$a \sin x \cdot b \cos a;$$

– між знаком радикала, інтеграла, логарифма й співмножником:

$$\alpha \sqrt{b+c} \cdot d \sin \alpha.$$

Крапка як знак множення відсутня:

– перед літерними символами:

$$3fc, bc;$$

– перед дужками і після них:

$$4(a+b)(c+d);$$

- перед дробовими виразами і після них:

$$\alpha \frac{\operatorname{tg} \alpha + \sin \beta}{b} \frac{1}{c};$$

- перед знаками радикала, інтеграла, логарифма:

$$\rho \sqrt{c+d},$$

$$3m \int \sin x dx,$$

$$ab \ln x;$$

- перед аргументом тригонометричної функції:

$$cb \operatorname{tg} \varpi.$$

Косий хрест як знак множення ставлять при зазначенні розмірів, записі векторного добутку, перенесенні формули з одного рядка на інший.

Якщо на одному рядку формула не вміщується, на наступний її слід переносити в першу чергу на знаках відношення лівої та правої частин формули (=, >, < тощо), у другу – на знаках (...), додавання та віднімання, у третю – на знаках множення (косий хрест). На знаках ділення перенос робити не варто. При переносі формули знак залишається в кінці рядка і повторюється на початку наступного.

**Виноски** на літературні джерела допускається оформляти внизу сторінки з розшифровкою повного найменування, видавництва, року видання й т.п. (колонтитул), наприклад: 1. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Г. В. Нимич, В. А. Михайлов, Е. С. Бондарь. – К. : ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост –Прим», 2003. – 630 с.

**Посилання на літературні джерела** допускається оформляти й у тексті в дужках, коли спочатку вказується номер джерела в списку літератури, а потім номер сторінки даного джерела. Наприклад: [10, с. 22].

Посилання на кілька літературних джерел відокремлюють друг від друга крапкою з комою. При цьому обов'язково дотримання основних вимог до оформлення літературних джерел.

**Посилання на ілюстрації** вказують порядковим номером ілюстрації, наприклад, «рис. 3».

**Посилання на таблиці.** На всі наведені в тексті таблиці також повинні бути посилання, при цьому слово «таблиця» пишуть повністю, якщо таблиця не має номеру, і скорочено – якщо має номер, наприклад: «... у табл. 2».

Текст ДПБ студента повинен бути насичений достатньою кількістю цифрового матеріалу. Розрахунки можна проводити на фактичних цифрах, показниках і на умовних прикладах (в інтересах дотримання комерційної таємниці).

### 3.2. Вимоги до оформлення списку використаних джерел

Оформлення списку використаних джерел (списку літератури) повинно бути відповідно до чинного ДСТУ: «Бібліографічний опис документа». Бібліографічний список приводиться наприкінці проекту. Бібліографічний опис кожного документа починається з нового рядка, складається за певною схемою й складається з ряду обов'язкових елементів. Кожна область і елемент відділяються друг від друга певними розділовими знаками.

3.3. Рекомендації до підготовки та написання основних розділів дипломного проекту бакалавра

*3.3.1. Пошук джерел інформації.* Пошук матеріалу варто починати із загального ознайомлення з темою шляхом перегляду відповідного розділу підручника. Далі необхідно уважно проглянути рекомендовані джерела. З використанням предметних алфавітних каталогів бібліотек, бібліографічних довідників та електронних ресурсів підібрати додаткову інформацію щодо проблематики ДПБ. Нижче наведено деякі електронні каталоги інформаційних ресурсів:

- Національна бібліотека України імені Вернадського. URL: <http://www.nbuv.gov.ua/>
- Наукова бібліотека НаУКМА. URL: <http://www.library.ukma.kiev.ua/>
- Психологічна бібліотека. URL: <http://psylib.kiev.ua/>
- Каталог безкоштовних бібліотек мережі. URL: <http://allbest.ru/libraries.htm>
- Національна парламентська бібліотека України. URL: <http://nplu.kiev.ua/>
- Енциклопедія. URL: <http://www.e-atlas.com.ua/>
- Електронна бібліотека. URL: <http://www.aecities.com/ukrexlibris/>
- Электронная научная библиотека. URL: <http://www.monev.ukrbiz.net/>
- Бібліотека «Світ книг». URL: <http://bookworld.com.ua/>

*3.3.2. Складання змісту (плану) дипломного проекту.* На підставі одержаних уявлень про стан питання складається попередній план ДПБ, який треба узгодити з керівником та остаточно визначити джерела інформації для реферування. План дипломного проекту уточнюється протягом всього терміну роботи над проектом. Остаточний варіант трансформується у зміст ДПБ.

*3.3.3. Опрацювання джерел інформації.* Зміст дипломного проекту бакалавра повинен відповідати обраній темі (тим аспектам проблеми, що міститься у назві теми).

Відібрана література уважно вивчається з обов'язковим цитуванням ключових моментів і принципів положень. Тези джерел доцільно виписувати окремо з кожного питання плану ДПБ. Важливо також визначити методики, що використовують автори джерел для розв'язання проблеми. Особливу увагу необхідно приділити об'єктивності оцінки аналізованих точок зору. На цьому

етапі виділяють довідково-інформаційний апарат, подаючи бібліографічний опис джерела.

Ефективним видом записів є конспектування – стислий виклад змісту прочитаного, що забезпечує повноту відображення змісту джерел інформації.

Способи конспектування:

- текстуальний, що являє собою виклад змісту словами автора, тобто дослівне виписування цитат з досліджуваного тексту;
- вільний, що є коротким викладом прочитаного своїми словами;
- комбінований, складання якого вимагає вдумливого читання, творчого підходу до викладу змісту прочитаного, щоб вибрати необхідні цитати, а решту тексту викласти своїми словами, висловлюючи його точний зміст у короткій формі.

При роботі з джерелом інформації можуть виникнути власні думки, узагальнення, доповнення, запитання, які необхідно включати в конспект із відповідною позначкою.

*3.3.4. Написання розділів пояснювальної записки ДПБ.* Розділи пояснювальної записки повинні бути об'єднані загальною метою, органічно пов'язані між собою. При написанні тексту доцільно опрацювати специфічні терміни, використовуючи спеціальні словники. У тексті пояснювальної записки необхідно вживати терміни, властиві даній галузі науки, уникаючи незвичних понять і символів, складних граматичних зворотів.

Основна вимога до тексту – структурованість, лаконізм і логічна послідовність викладу матеріалу, ясність та чіткість мови, відсутність складних зворотів і граматичних помилок.

Доцільно включати до пояснювальної записки дипломного проекту бакалавра схеми й таблиці, якщо вони допомагають розкрити основний зміст проблеми та скорочують обсяг пояснювальної записки.



## 4. ОФОРМЛЕННЯ ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА

### 4.1. Загальні вимоги до графічної частини дипломного проекту

Об'єм графічної частини дипломного проекту складає 5...6 листів формату А1 (дозволяється виконання креслень формату А0). На чотирьох листах формату А1 мають бути представлені креслення загального вигляду або складальні та креслення деталей. Інші листи можуть бути будівельними кресленнями, схемами автоматизації, технологічними схемами, таблицями, графіками та ін.

Графічна частина дипломного проекту повинна виконуватися на ПЕОМ засобами комп'ютерної графіки.

Обов'язкові вимоги до виконання креслень на ПЕОМ:

- креслення повинні розроблятися за допомогою програмних засобів, які призначені для Систем Автоматизованого Проектування (САПР). Наприклад – AutoCad, КОМПАС, Euclid, Mechanical Desktop, Unigraph та ін;

- дозволяється представляти на захист креслення, які отримані обробкою растрових зображень програмами векторизації з наступним редагуванням графічними програмними засобами САПР;

- не дозволяється виконувати креслення за допомогою програмних засобів малювання та дизайну (Paint, PaintBrush, Photoshop, CorelDRAW, 3DStudioMAX та ін);

- забороняється представлення до захисту креслень, які отримані за допомогою процесу сканування або ксерокопіювання.

Схеми, таблиці, графіки та інші допоміжні графічні матеріали можуть бути виконані за допомогою будь-яких програмних засобів комп'ютерної графіки або командами MS Word, MS Excel та ін.

У разі потреби для пояснення основних думок проекту дозволяється використання плакатів (схеми, графіки, таблиці, зображення зовнішнього вигляду обладнання, механізованих та автоматичних технологічних ліній, виробничих цехів та ін.), які отримані через сканер та ксерокс, але в об'єм графічної частини дипломного проекту вони не зараховуються.

### 4.2. Види креслень

В графічну частину можуть входити: креслення загального вигляду, складальні креслення, монтажні креслення, габаритні креслення, креслення деталей, схеми автоматизації, будівельні креслення (ДСТУ 3321:2003, ДСТУ Б А.2.4-4:2009).

*4.2.1. Креслення загального вигляду.* Документ, що визначає конструкцію виробу, взаємодію його основних складових частин і пояснює принцип роботи виробу. На кресленні загального вигляду мають бути зображення виробу, а також текстова частина і написи, потрібні, щоб зрозуміти конструктивну

будову виробу, взаємодію його основних складових частин і принцип роботи, а також дані про склад виробу. На кресленні загального вигляду дозволяється розміщувати характеристику виробу.

Шифр креслення загального вигляду – ЗВ.

*Приклад позначення:* ДПБХМ16.012.001 ЗВ.

*4.2.2. Креслення складальні.* Документ, що містить зображення виробу та інші дані, потрібні для його складання (виготовлення) і контролю. До складальних також належать гідро-, пневмо- й електромонтажні креслення.

Складальне креслення має містити:

- зображення складальної одиниці, яка дає уявлення про розміщення і взаємний зв'язок складових частин, з'єднаних за даним кресленням, і забезпечує здійснення складання і контролю складальної одиниці;
- розміри, граничні відхилення та інші параметри і вимоги, що мають бути виконані чи проконтрольовані за даним складальним кресленням;
- вказівки про характер спряження і методи його здійснення;
- номери позицій складових частин, що входять до виробу;
- основні характеристики виробу;
- габаритні розміри;
- установочні і приєднувальні розміри, а також потрібні довідкові розміри;
- координати центра ваги (за необхідності).

Шифр документа – СК.

*Приклад позначення:* ДПБХМ28.002.002 СК.

*4.2.3. Креслення монтажні.* Документ, що містить контурне спрощене зображення виробу, а також дані, потрібні для його установки (монтажу) на місці використання. До монтажних належать також креслення фундаментів, які спеціально розробляються для установки виробу.

Монтажне креслення має містити зображення виробу, що монтується, предметів, які застосовуються при монтажі, а також повне чи часткове зображення пристрою (конструкції фундаменту), до якого виріб кріпиться, установочні і приєднувальні розміри з граничними відхиленнями, технічні вимоги до монтажу виробу.

Шифр документу – МК.

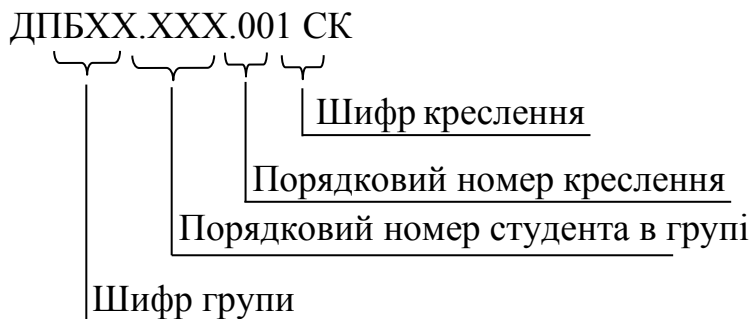
*Приклад позначення:* ДПБХМ14.010.005 МК.

#### 4.3. Вимоги до оформлення графічної частини

Креслення графічної частини дипломного проекту бакалавра виконують згідно з вимогами стандартів Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) і відповідних стандартів ДСТУ.

Кожне креслення повинне мати основний напис, форма та порядок заповнення граф якого наведені в додатку 5, а приклад заповнення – в додатку 9.

Позначення креслень має таку структуру:



#### 4.4. Оформлення специфікацій

Специфікація складається на окремих аркушах на кожну складальну одиницю на формах, які наведені у додатку 6, приклад заповнення специфікації – у додатку 10.

У специфікацію вносять перелік частин складальної одиниці, а також конструкторські документи, які відносяться до цього виробу.

Специфікація в загальному випадку складається із розділів, які розміщуються в такій послідовності:

- документація;
- комплекси;
- складальні одиниці;
- деталі;
- стандартні вироби;
- інші вироби;
- матеріали;
- комплекти.

Наявність тих чи інших розділів визначається складом виробу. Найменування кожного розділу вказують у вигляді заголовку в графі «Найменування» і підкреслюють.

К розділ «Документація» вносять документи, які складають основний комплект конструкторської документації виробу. У розділи «Комплекси», «Складальні одиниці» і «Деталі» вносять комплекси, складальні одиниці і деталі, які безпосередньо входять до виробу, в порядку зростання номерів.

У розділі «Стандартні вироби» записують вироби, які використовують за стандартами:

- міждержавним;
- державним;

- галузевим;
- підприємства.

У межах кожної категорії стандартів записи рекомендують наводити по групах виробів, які об'єднуються по функціональному призначенню (підшипники, кріпильні вироби та ін.).

У межах кожної групи – в алфавітному порядку найменування виробу, в межах кожного найменування – у порядку зростання стандартів, а в межах стандарту – у порядку зростання основних розмірів виробу.

У розділ «Інші вироби» вносять вироби, які застосовують за технічними умовами.

У розділ «Матеріали» вносять всі матеріали, які входять у виріб.

У розділ «Комплекти» вносять комплекти запасних частин, комплект змінюваних частин і т. ін.

Графи специфікації заповнюються наступним чином:

- у графі «Формат» – формати документів, позначення яких записують у графі «Обозначение»;
- у графі «Поз.» вказують порядкові номери частин, які складають виріб. Для розділів «Документація», «Комплекти» графу «Поз.» не заповнюють.
- у графі «Позначення» вказують у розділах:
  - «Документація» – позначення документів, що записуються;
  - «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Комплекти» – позначення основних конструкторських документів;
  - «Стандартні вироби», «Інші вироби» та «Матеріали» – не заповняють.
- у графі «Найменування» вказують у розділах:
  - «Документація» – тільки найменування документів.

*Наприклад:* «Складальне креслення», «Габаритне креслення», «Технічні вимоги»;

- «Комплекси», «Складальні одиниці», «Деталі», «Комплекти» – найменування виробів згідно з основним написом на кресленнях;
- «Стандартні вироби» – найменування та позначення виробів відповідно із стандартами на ці вироби;
- «Інші вироби» – найменування та умовні позначення виробів відповідно з документами на поставку;
- «Матеріали» – позначення матеріалів які встановлені стандартами або технічними умовами.

#### 4.5. Вимоги до оформлення будівельних креслень

Графічна частина будівельних креслень виконується на аркушах формату А1 і може включати такі креслення:

- генеральний план (шифр документа – ГП);

- технологічне планування (шифр документа – ТХ);
- архітектурно-будівельні рішення (шифр документа – АБ);
- опалення та вентиляція (шифр документа – ОВ);
- водопостачання та каналізація (шифр документа – ВК);
- газопостачання (шифр документа – ПГ) та ін.

Будівельні креслення виконуються згідно із стандартами України «Система проектної документації для будівництва» (СПДБ): ДБН А.2.2-3-2014, ДСТУ Б А.2.4-2:2009, ДСТУ Б А.2.4-4:2009, ДСТУ Б А.2.4-5-2009, ДСТУ Б А.2.4-6:2009, ДСТУ Б А.2.4-7:2009, ДСТУ Б А.2.4-8-2009, ДСТУ Б А.2.4-9-2009, ДСТУ Б А.2.4-10-2009, ДСТУ Б А.2.4-11:2009, ДСТУ Б А.2.4-12-2009, ДСТУ Б А.2.4-35:2008, ДСТУ Б А.2.4-37:2008, ДСТУ Б А.2.4-43:2009, СТ СЭВ 4722-84, СН 460-74.

Форму основного напису будівельних креслень та приклад його заповнення наведено у додатках 7, 9.

При виконанні на одному аркуші 2-х та більше будівельних креслень написи їхніх назв наносяться зверху зображень окремих креслень.

Рекомендовані масштаби креслень:

планів – 1:100; 1:50;

розрізів – 1:50; 1:25;

генпланів – 1:200; 1:500.

*4.5.1. Креслення технологічного планування.* На плані будівлі технологічне устаткування показують спрощеними зображеннями, виконаними у масштабі, з нанесенням номерів – відповідно до специфікації. Сама специфікація технологічного устаткування розташовується на аркуші креслення (див. додаток 11), звичайно, над основним написом. Форма специфікації наведена у додатку 8. Також на плані показують підйомно-транспортне устаткування (із поміткою вантажопідйомності), підкранові путі, місця складування (заготовок чи виробів), рейкові путі, площадки на рівнях вище та нижче основного рівня плану. Виконується прив'язка технологічного устаткування (особливо із фундаментами) до капітальних будівельних конструкцій або до розбивних осей. Поряд з технологічним устаткуванням умовними позначками відмічають: постійні робочі місця, потребу у місцевій вентиляції, різних видах енергоносіїв та ін.

*4.5.2. Архітектурно-будівельні креслення.* План будівлі виконується відповідно до конструктивної схеми, починаючи з нанесення сітки розбивних осей. Далі креслять конструкції та елементи будівлі. Надписують назви кожного з приміщень, проставляють їхні площі (із точністю до 0,1 м<sup>2</sup>) у правому куті приміщення.

Зовнішні та внутрішні стіни, колони заштриховують відповідно до умовних позначень матеріалів.

Наносять розміри: між осями та габаритні – між крайніми осями, а також зовнішні та внутрішні ланцюжки розмірів. Зовнішній ланцюжок – від краю до краю будівлі, – включає послідовність зовнішніх розмірів прорізів та

простінків; внутрішній – також від краю до краю будівлі – відмічає розміри приміщень та товщини стін або перегородок.

Відмічають місця розрізів будівлі.

На розрізі показують конструкції та елементи будівлі, штрихують елементи, що попадають у площину перерізу.

Показують розбивні осі, проставляють розміри: між осями та габаритний.

Проставляють відмітки рівня конструкцій.

*4.5.3. Санітарно-технічні креслення.* На плані будівлі з сіткою розбивних осей наносять конструкції та елементи відповідних систем, а також габаритні та міжвісьові розміри.

При розробці систем опалення: вузли теплових введів, нагрівальні прилади із стояками та систему трубопроводів.

При розробці систем вентиляції: приточні та витяжні вентиляційні установки, повітропроводи від них та пристрої забирання або подачі повітря у приміщення, показують технологічне устаткування, що потребує місцевої вентиляції, та самі місцеві відсмоктувачі.

При розробці систем холодного та гарячого водопостачання: вузли вводу (водомірні вузли), систему розвідних трубопроводів та стояків, підключення трубопроводів до технологічного устаткування або санітарних приладів та саме устаткування чи санітарні прилади.

При розробці систем каналізації: системи каналізаційних трубопроводів із стояками – від приймача стічних вод до випусків у зовнішню каналізаційну мережу, – та самі приймачі стічних вод, як-то – технологічне устаткування або санітарні прилади.

При розробці газопостачання: вузол вводу (за необхідністю – шкафний ГРП), газопроводи до споживачів газу (печей та іншого технологічного устаткування), продувні свічки, лічильники газу та саме устаткування.

Схеми санітарно-технічних систем виконується у формі аксонометрії трубопроводів (повітропроводів) та пов'язаного з ними технологічного устаткування або санітарних приладів.

## 5. ОФОРМЛЕННЯ ПРЕЗЕНТАЦІЇ ДОПОВІДІ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА

Для створення презентації існують спеціальні програмні додатки, одним з них є програма Microsoft PowerPoint фірми Microsoft. Додаток MS PowerPoint, що входить в офісний пакет Windows, є універсальною системою підготовки презентацій і слайдів-фільмів.

**PowerPoint** – важливий інструмент, що забезпечує інформаційну технологію автоматизованого офісу, перетворює уведену текстову й числову інформацію в професійно виконані слайди, наповнені діаграмами, таблицями, графічними ілюстраціями й придатні для плідної роботи з досить вимогливою сучасною аудиторією.

**Презентація** – це набір слайдів і спецефектів, що супроводжують їхній показ на екрані, роздавальний матеріал, а також конспект і план доповіді, що зберігаються в одному файлі, створеному за допомогою PowerPoint. Цей файл також називають презентацією.

### 5.1. Основні компоненти презентації

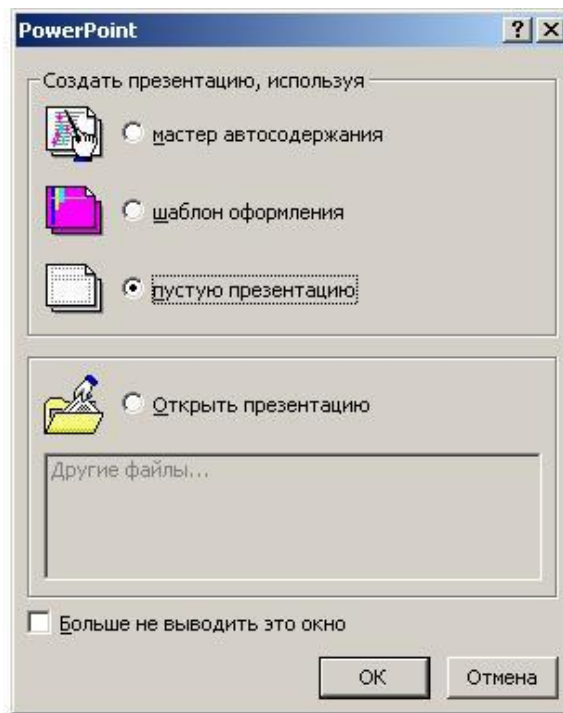
**Слайд** – це окрема сторінка (кадр) презентації, що може включати: заголовок, текст, графіку, діаграму, рисунок й інші елементи ілюстративної графіки, аудіо- і відеоінформацію. Створені в PowerPoint слайди можна роздрукувати на чорно-білому або кольоровому принтері, або за допомогою спеціального устаткування виготовити 35-міліметрові слайди на фотоплівці, а також підготувати діапозитиви для демонстрації їх на екрані за допомогою епідіаскопа, проекційного апарата типу «Overhead», або мультимедійного проектора.

**Роздавальний матеріал** – це роздруковані в компактному вигляді слайди: 2, 3, 4, 6 або 9 слайдів на одній сторінці.

**Конспект доповіді** (замітки виступаючого) – зменшене зображення слайда та текст, що пояснює його зміст.

**Структура** (план) презентації – документ, що містить тільки заголовки слайдів, а також основний текст без графічних зображень і спеціального оформлення.

Запуск PowerPoint: на робочому столі Windows натискаємо кнопку **Пуск (Пуск)**, вибираємо **Програмы (Програми)**, **MS PowerPoint**, з'являється діалогове вікно (ДВ) **PowerPoint** (рис. 5.1), яке дозволяє вибрати один із трьох способів створення презентації або відкрити вже існуючу.



**Рисунок 5.1 – ДВ Создание презентации (Створення презентації)**

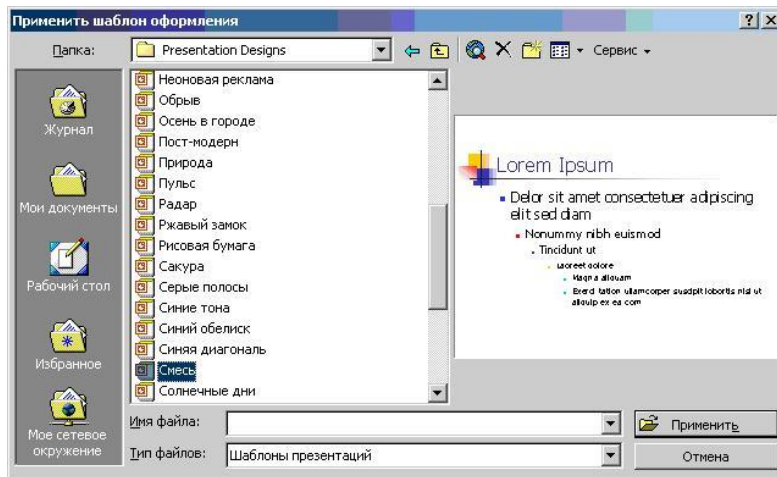
1-й спосіб. Використовуючи **Мастер авто содержания (Майстер автозмісту)**. Дозволяє дуже просто створити структуру презентації: вибрати тип структури, указати параметри оформлення й одержати заготовку презентації на основі вже наявних варіантів, що складаються зі спеціальних макетів слайдів. Після цього в режимі перегляду структури ввести конкретні тексти слайдів.

2-й спосіб. Використовуючи **Шаблон оформления (Шаблон оформлення)**. Якщо необхідно визначити не тільки спосіб оформлення презентації, але і її структуру, то зручно скористатися шаблоном оформлення (дизайну). **Шаблон оформления** – це збережений файл презентації, що містить зразок слайдів, зразок заголовків, колірну схему й графічні елементи. Шаблони розроблені професійними художниками-графіками.

3-й спосіб. Використовуючи **Пустую презентацию (Порожню презентацію)**. При створенні порожньої презентації використовується шаблон за замовчуванням, що не містить ні колірної схеми, ні графічних елементів, ні інших параметрів оформлення. Кольори, графіку, таблиці й інші елементи можна додавати в міру необхідності за допомогою команд меню й кнопок панелей інструментів (ПІ): **Стандартная (Стандартна)**, **Форматирование (Форматування)**, **Рисование (Малювання)** та ін.

Можна використати для оформлення шаблон іншої презентації, для цього виконати команду меню **Формат (Формат)**, **Применить шаблон оформления (Застосувати шаблон оформлення)**, з'явиться ДВ **Применить шаблон оформления (Застосувати шаблон оформлення)** (рис. 5.2), вибрати папку «Шаблони презентацій» («Presentation Designs» – C:\Program Files\Microsoft Office\Templates\Presentation Designs), у списку нижче вказати, наприклад, «Суміш».





**Рисунок 5.2 – ДВ Применить шаблон оформления (Застосувати шаблон оформлення)**

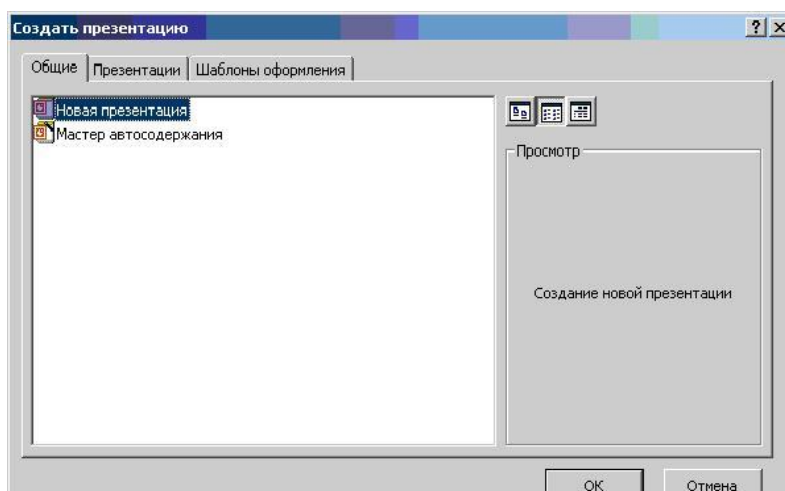
У ДВ праворуч від списку демонструється зразок пропонованого оформлення. Натиснути кнопку **Применить (Застосувати)**.

PowerPoint дозволяє створювати власні шаблони презентацій і використати готові презентації як шаблони.

Щоб створити презентацію, потрібно:

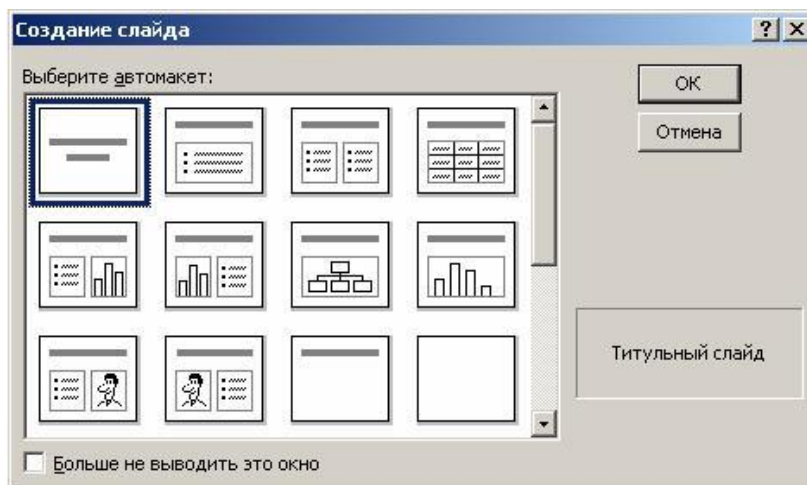
1-й спосіб – у ДВ PowerPoint мишею включити відповідний перемикач і нажати **ОК**;

2-й спосіб – виконати команду меню **Файл (Файл), Создать (Створити)**, з'являється ДВ **Создать презентацию (Створити презентацію)** (рис. 5.3), у якому вибрати: вкладку **Общие (Загальні), Новая презентация (Нова презентація)**, якщо хочемо створити порожню презентацію; вкладку **Шаблоны оформления (Шаблони оформлення)** й вибрати шаблон, якщо хочемо використати готовий шаблон оформлення; вкладку **Презентации (Презентації)** й вибрати потрібну, якщо хочемо створити за допомогою майстра; натиснути **ОК**.



**Рисунок 5.3 – ДВ Создать презентацию (Створити презентацію)**

У першому та другому випадках з'являється ДВ **Создание слайда (Створення слайда)** (рис. 5.4). Варто вибрати потрібний автомакет зі списку, нажати **ОК**.



**Рисунок 5.4 – ДВ Создание слайда (Створення слайда)**

Слайди конструюються з об'єктів. Розміщення, вирівнювання об'єктів здійснюється за допомогою автомакета. Кожен автомакет містить мітки - заповнювачі (елементи розмітки) для об'єктів різних типів. Для роботи з об'єктом його потрібно спочатку виділити (один раз клацнути кнопкою миші), а потім можна змінити його вміст, розмір, перемістити, скопіювати, видалити, змінити оформлення (кольори, тінь, обрамлення й ін.). Для додавання нових об'єктів до слайда в будь-яке місце автомакета використовують меню **Вставка (Вставка), Объект (Об'єкт)** або кнопки ПІ **Стандартная (Стандартна)**. Можна додати графіку, Рисунок, звук, таблицю MS Word й MS Excel, об'єкт WordArt, організаційну діаграму й багато чого іншого.

Після додавання слайда до презентації автоматично відкривається ДВ **Создание слайда (Створення слайда)**, у якому вибирають інший автомакет для наступного слайда та ін. (або меню **Вставка (Вставка), Новый слайд (Новий слайд)**).

При оформленні слайда можна змінити його колірну концепцію за допомогою зразків. Для кожної презентації створюється 4 зразки: **Образец слайдов (Зразок слайдів)** (зразок всіх слайдів презентації), **Образец заголовков (Зразок заголовків)** (зразок титульного слайда), **Образец выдач (Зразок видач)** (зразок роздавальних матеріалів) і **Образец заметок (Зразок заміток)**. Кожен шаблон PowerPoint також має свої зразки, що визначають формат, розміри, шрифти, фон, текст і графіку, які повинні з'являтися на кожній сторінці презентації. Команда меню **Вид (Вид), Образец (Зразок)**, вибрати потрібний зразок відкриває відповідне ДВ й зразок стає доступний для зміни й перегляду

## 5.2. Перегляд презентації

Існують п'ять різних режимів перегляду (меню **Вид (Вид)** або відповідні кнопки ліворуч у рядку стану вікна додатка): **Обычный (Звичайний)** (перегляд слайда), структури, сортувальник слайдів, сторінки заміток, показ слайдів (демонстрація на екрані комп'ютера). У будь-якому режимі можна змінити масштаб відображення (100%, 200%, 75%, ...), використовуючи кнопку **Масштаб III Стандартная (Стандартна)**.

Режим **Обычный (Звичайний)** (перегляд одного слайда) використовується для додавань і зміни вмісту слайда.

Режим **Просмотр структуры (Перегляду структури)** відображає тільки текст слайдів, дозволяє також переміщати слайди (виділити й, взявши значок, перетягнути мишею в потрібне місце), редагувати текст заголовків і вмісту слайда.

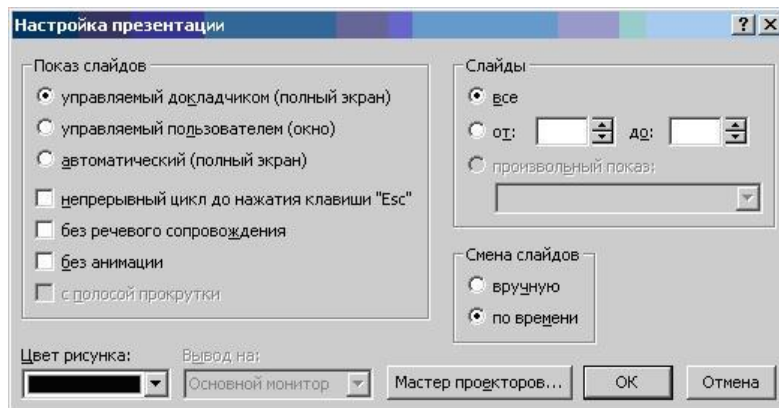
Режим **Сортировщик слайдов (Сортувальник слайдів)** відображає презентацію в цілому – всі мініслайди одночасно. Режим не дозволяє редагувати слайди, зате дозволяє швидко й просто копіювати, видаляти, змінювати їхній порядок проходження. Для виділення декількох слайдів використовується клавіша <Shift>. Для копіювання слайдів треба спочатку їх виділити, натиснути клавішу <Ctrl> й, утримуючи, перетягнути в потрібне місце.

У режимі **Страницы заметок (Сторінки заміток)** можна підготувати текст заміток до будь-якого слайда. Текст, уведений у сторінку замітки, ніяк не відображається на вмісті слайда. Не можна редагувати сам слайд, однак можна змінити оформлення сторінки замітки. Перед уведенням коментарів варто збільшити масштаб відображення, щоб добре бачити текст, що вводиться.

У режимі **Показ слайдов (Показ слайдів)** кожен слайд займає весь екран повністю. Демонстрація починається з поточного слайда. На екран виводиться й кнопка виклику контекстного меню керування презентацією. Це меню можна викликати також натисканням правої кнопки миші в будь-якому місці слайда. За допомогою меню можна виконати під час показу різні допоміжні дії, наприклад, перехід до будь-якого слайда, виклик замітки до слайда (команда **Заметки докладчика (Замітки доповідача)**); команда **Указатель (Показчик), Перо (Перо)** переводить мишу в режим малювання, що дозволить доповідачеві зробити на слайді деякі позначки безпосередньо під час презентації, наприклад, підкреслити або обвести потрібний об'єкт слайда. Для керування переходом до слайда можна використати клавіатуру: клавіша <Home> – перехід на перший слайд, клавіша <End> – на останній, клавіша <Page Up> – до наступного, клавіша <Page Down> – до попереднього слайда, клавіша <Esc> – вихід з режиму перегляду презентації.

Меню **Показ слайдов (Показ слайдів)** містить набір команд, що дозволяють належним чином настроїти перегляд презентації. ДВ **Настройка презентации (Настроювання презентації)** (меню **Показ слайдов (Показ слайдів)**), **Настройка презентации (Настроювання презентації)** (рис. 5.5) дозволяє вибрати автоматичний або ручний режим показу слайдів, установити зміну кадрів за часом, відзначити слайди для показу й інші параметри. Меню

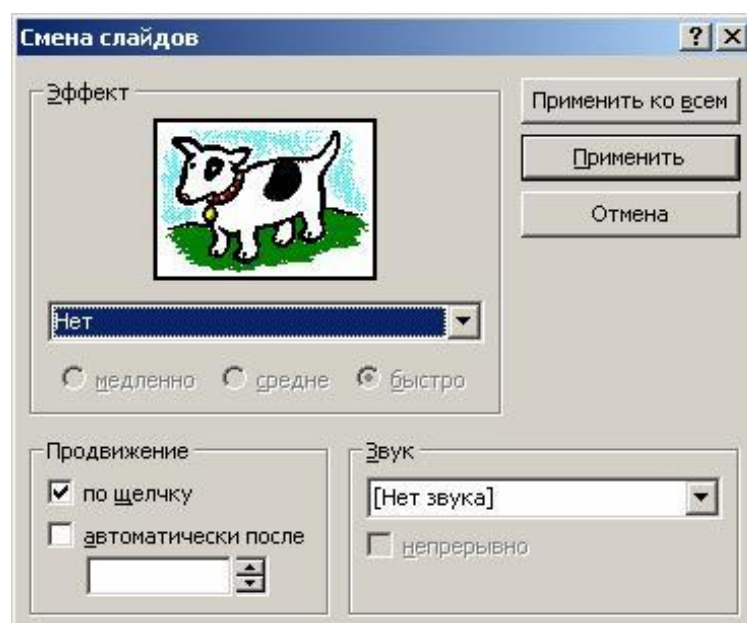
**Показ слайдов (Показ слайдів), Настройка времени (Настроювання часу)** дозволяє в режимі **Репетиції (Репетиції)** вказати час показу кожного слайда й потім використати в ДВ **Настройка презентации (Настроювання презентації)**, указавши час для зміни слайдів.



**Рисунок 5.5 – ДВ Настройка презентации (Настроювання презентації)**

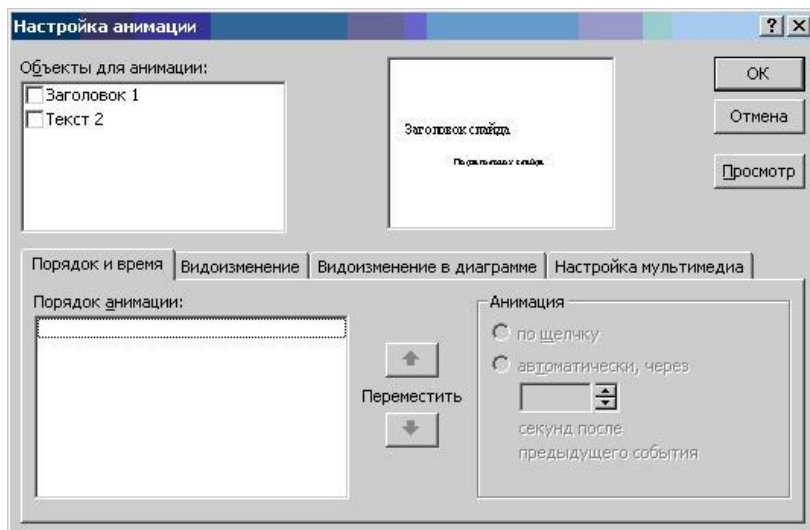
Меню **Показ слайдов (Показ слайдів), Смена слайдов (Зміна слайдів)** відкриває ДВ **Смена слайдов (Зміна слайдів)** (рис. 5.6), що дозволяє застосувати анімаційний ефект при переході від слайда до слайда, до окремого переходу або до всієї презентації в цілому.

Для завдання ефектів до об'єкта слайда треба визначити порядок анімації: які об'єкти, у якому порядку, який ефект буде застосований і скільки часу він буде тривати. Завдання порядку й ефекту анімації для кожного об'єкта слайда здійснюється в ДВ **Настройка анимации (Настроювання анімації)** (меню **Показ слайдов (Показ слайдів), Настройка анимации (Настроювання анімації)**), на вкладках **Порядок и время (Порядок і час), Видоизменение (Видозміна)** (рис. 5.7). При підборі ефектів можна скористатися кнопкою **Просмотр (Перегляд)** у цьому ж ДВ.



**Рисунок 5.6 – ДВ Смена слайдов (Зміна файлів)**

В PowerPoint 2000 з'явилася можливість вставки анімованих зображень, можливість «пожвавити» презентацію, включивши в слайд анімаційний мультфільм або звук. Використовується меню **Вставка (Вставка), Фильмы и звук (Фільми й звук), Фільм с файла (Фільм з файлу)** (наприклад, з бібліотеки відеокліпів ClipArt – меню **Вставка (Вставка), Рисунок (Рисунок), Картинки (Картинки)**). Потім меню **Правка (Виправлення), Объект фильм (Об'єкт фільм)**, установити параметри фільму: **Непрерывное воспроизведение (Безперервне відтворення), ОК**.



**Рисунок 5.7 – ДВ Настройка анимации (Настроювання анімації)**

Крім застосування звуку при переході слайдів і для об'єктів анімації, можна створити власний звукозапис для озвучування як окремого слайда, так і всієї презентації (наприклад, записати доповідь). Для цього виконати команду меню **Вставка (Вставка), Фильмы и звук (Фільми й звук), Записать звук (Записати звук)**, нажати кнопку **Записать (Записати)**, потім говорити в мікрофон, по закінченні нажати кнопку **Остановить (Зупинити)**. При вставці звукового файлу й анімованого зображення з'являється питання: **«Автоматически воспроизводит звук при показе слайдов?» (Автоматично відтворювати звук при показі слайдів?)** Якщо ні, то для відтворення необхідно клацнути його. Треба відповісти **Да (Так)**. На слайді з'явиться значок записаного кліпу у вигляді гучномовця. Змінити параметри відтворення аудіо- і відеокліпу можна в ДВ **Настройка анимации (Настроювання анімації)** на вкладці **Настройка мультимедиа (Настроювання мульти медіа)**.

Використовуючи слайди, супроводжувані демонстрацією «ожилых» графіків (наприклад, ріст кривої) і діаграм, звуковими сигналами, музикою й убудованими відеокадрами, PowerPoint може створити вражаючий слайд-фільм з дуже складним відеорядом.

### 5.3. Керування презентацією

Керування презентацією надає аудиторії можливість активно впливати на процес показу й надає презентації додаткову динамічність, компенсуючи недолік спілкування з доповідачем. Керування презентацією (організація дій) здійснюється у два прийоми: за допомогою елементів управління (керуючих кнопок) (ЕУ) і створенням розділів довільного показу презентації.

Для вставки ЕУ треба виконати команду меню **Вид (Вид)**, **Образец (Зразок)**, **Образец слайдов (Зразок слайдів)**, відкривається ДВ **Образец слайдов (Зразок слайдів)**, потім меню **Показ слайдов (Показ слайдів)**, **Управляющие кнопки (Управляючі кнопки)**, відкривається палітра для вибору кнопки. При виборі кнопки покажчик миші здобуває форму хреста, намалюємо кнопку в зразку слайдів, відкривається ДВ **Настройка действия (Настроювання дії)**, відкриваємо вкладку **По щелчку мыши (По клацанню миші)** (рис. 5.8), указуємо дії, виконувані по клацанню миші **Перейти по гиперссылке (Перейти по гіперпосиланню)**, вибираємо зі списку, наприклад, **Первый слайд (Перший слайд)**, вибираємо звук супроводу **Колокольчики (Дзвіночки)**, **ОК**.

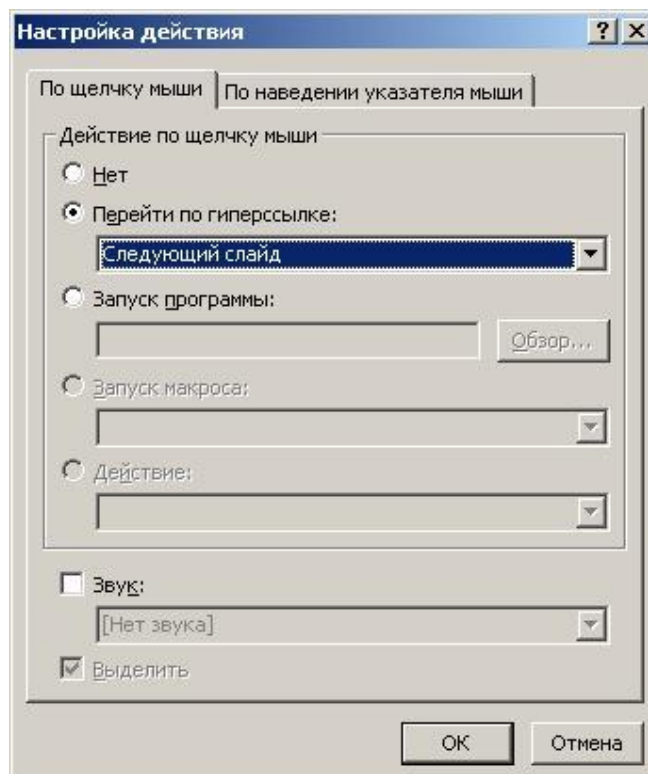
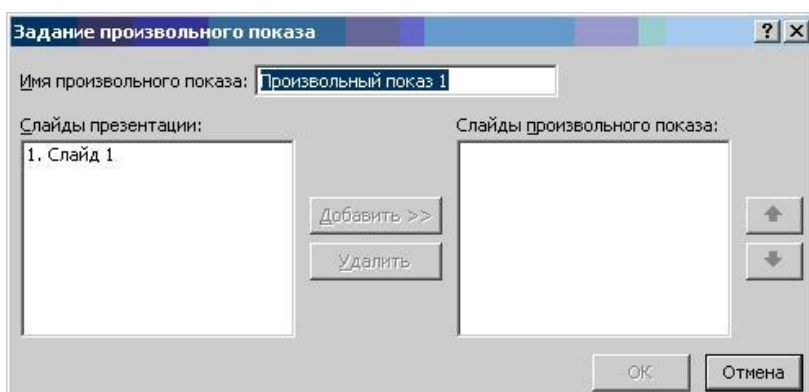


Рисунок 5.8 – ДВ Настройка действия (*Настроювання дії*)

ЕУ у вигляді кнопки з'явиться в зразку слайдів, якщо він не видний, відформатувати його спосіб заливання: меню **Формат (Формат)**, **Автоформи (Автоформи)**. Під час показу презентації натисканням цієї кнопки на будь-якому слайді здійснюється перехід до першого слайда.

Розділ довільного показу презентації – це іменована послідовність будь-яких слайдів, що називають довільною демонстрацією.

Для створення розділу треба виконати меню **Показ слайдов (Показ слайдів)**, **Произвольный показ (Довільний показ)**, у ДВ **Произвольный показ (Довільний показ)** натиснути кнопку **Создать (Створити)**, відкривається ДВ **Задание произвольного показа (Завдання довільного показу)** (рис. 5.9). У поле **Имя произвольного показа (Ім'я довільного показу)** вносимо – «Варіант 1». Зі списку **Слайды презентации (Слайди презентації)** довільним чином вибираємо слайди й натисканням кнопки **Добавить (Додати>>)** переносимо в список **Слайды произвольного показа (Слайди довільного показу)**, **ОК**. Потім у ДВ **Образец слайдов (Зразок слайдів)** треба додати керуючу кнопку й до неї зробити гіперпосилання на довільний показ «Варіант 1».



**Рисунок 5.9** – ДВ **Задание произвольного показа (Завдання довільного показу)**

Для переходу до будь-якого об'єкта презентації не обов'язково використати керуючі кнопки, можна створити гіперпосилання в документі на іншу частину того ж документа, для цього виділити об'єкт і виконати меню **Вставка (Вставка)**, **Гиперссылка (Гіперпосилання)**, у ДВ **Добавить гиперссылку (Додати гіперпосилання)** натиснути кнопку **Закладка (Закладка)**, потім вибрати мишею місце для закладки – виділити ключове слово, **ОК, ОК**. Звичайно закладки використовують для слайдів, що містять великий фрагмент тексту. Для всіх входжень обраного ключового слова в усі слайди презентації здійснюється посилання на цей слайд.

PowerPoint має важливий інструмент **Мастер упаковки (Майстер упаковки)**, що дозволяє зберегти презентацію на електронних носіях (наприклад SD-card) і взяти її «у дорогу». За допомогою конференції можна провести презентацію в локальній мережі й урахувати зауваження колег. **Мастер упаковки (Майстер упаковки)** архівує презентацію, зберігаючи при цьому всі вставлені об'єкти й ефекти; додає за бажанням користувача й програму перегляду PowerPoint Viewer, що забезпечує незалежність від програмного забезпечення цільового комп'ютера. Треба виконати меню **Файл (Файл)**, **Упаковать (Упакувати)**, запускається **Мастер упаковки (Майстер упаковки)**. Відповідаємо послідовно на питання майстра, натискаючи кнопку **Далее (Далі)**: включити прапорець **Активную презентацию (Активну**

*презентацію*), вибрати Диск A:\ (у випадку використання SD-card), включити прапорці **Включить связанные файлы (Включити зв'язані файли)** й **Внедрить шрифты (Впровадити шрифти)** True Types, вибрати **Включить PowerPoint Viewer (Включити PowerPoint Viewer)**, **Готово (Готово)**.

Для використання впакованої презентації на іншому комп'ютері її потрібно спочатку розпакувати – запустити додаток pngsetup.exe, що зберігається на першій SD-card, указати папку, куди розпакувати презентацію. Потім її можна показати за допомогою програми перегляду **PowerPoint Viewer**.

Для публікації презентації в Інтернеті її потрібно зберегти як Web-сторінку: меню **Файл (Файл)**, **Сохранить как Web-страницу (Зберегти як Web-сторінку)**, указати папку й ім'я, натиснути кнопку **Сохранить (Зберегти)**. Файл зберігається з розширенням htm, його можна переглянути за допомогою оглядача Internet Explorer.

Збереження нової презентації й відкриття існуючої здійснюється за допомогою меню **Файл (Файл)** у стандартному ДВ *Windows*.

#### 5.4. Основні вимоги до створення презентації до дипломного проекту бакалавра

Під час захисту дипломного проекту бакалавра підготовка і демонстрація мультимедійної презентації, що супроводжує мову студента є необхідною умовою. Найчастіше презентація не несе ніякого смислового навантаження, готується формально, сприймається студентом, як прикра необхідність.

Однак, правильно оформлена цікава презентація з легкістю може врятувати посередню роботу, так само як і погана презентація може зіпсувати враження навіть від хорошого проекту.

Презентація до дипломного проекту є відеоряд, на якому представлені основні етапи роботи, отримані результати у вигляді тез, підкріплених графічними зображеннями: таблицями, кресленнями, малюнками. На захист проекту презентація синхронно супроводжує захисне слово дипломанта.

##### **Структура презентації**

Рекомендована структура презентації виглядає наступним чином.

1. Титульний слайд. На ньому вказується прізвище студента, ЗВО, тема роботи, рік, науковий керівник.

2. Вступ. Актуальність дослідження, об'єкт, предмет, мета і завдання, гіпотеза, методологія.

3. Теоретична частина. Основні тези з першого та другого розділів роботи.

4. Практична частина. Основні матеріали. Аналітика. Візуалізація даних: графіки, таблиці, схеми та ін. Основні висновки по 3 і наступних розділах.

5. Висновок. Основні висновки, практична значущість, плани на подальші дослідження і розробки.

7. Фінальний слайд. Повторює титульний.

##### **Правила створення презентації до дипломного проекту**

Щоб презентація посилила позитивне враження від дипломного проекту



на захист перед Атестаційною комісією, вона повинна бути виконана по декільком правилам.

1. Кількість слайдів. Кількість слайдів презентації для захисту дипломного проекту становить 12 – 15. Менша кількість не дозволяє розкрити зміст матеріалу, що викладається, більша кількість перетворюється в формальне перегортання сторінок.

2. Оформлення першого слайда. Перший і останній слайди повинні бути однаковими. На них вказується повне найменування навчального закладу; тема дипломного проекту; прізвище, ім'я по батькові студента; найменування одержуваної спеціальності або факультету; прізвище, ім'я, по батькові наукового керівника; місто; рік захисту. Перший слайд подає Екзаменаційній комісії студента його дипломний проект, останній (дублюючий перший) – дозволяє членам комісії (деякі з яких бачать здобувача диплома вперше) звернутися до нього по імені та по батькові. Не треба писати на останньому слайді: «Спасибі за увагу!» або «Дякую!». Це не сприймається викладачами як повага до них, а, скоріше – як спроба зменшити дистанцію між студентом і членами комісії.

3. Порядок слайдів. Слайди, розташовані після першого, можуть бути розподілені наступним чином. На кількох вказується актуальність, об'єкт, предмет, проблема, мета, завдання дослідження відповідно до тексту захисту. Іноді на слайдах представляється структура дипломного проекту, зміст розділів, але це не несе смислового навантаження. Зате на слайдах можуть зазначатися основні поняття, на які спирається дослідник з обов'язковим зазначенням, звідки взята цитата і хто її автор. Потім на слайдах представляються графіки, рисунки, таблиці, креслення, що ілюструють дані проведеного дослідження або хід експерименту. Слід звернути увагу на те, що кожен такий слайд повинен мати заголовок.

4. Шрифти. Для створення презентації рекомендують використовувати шрифти Arial або Times New Roman. Це обумовлено тим, що ці шрифти є на будь-якому комп'ютері. Якщо ж використовувати рідкий шрифт, то при використанні презентації на новому пристрої, де немає використовуваного шрифту, на екрані будуть відображатися квадратики або незрозумілі символи. Розмір шрифту на слайдах повинен бути не менше 28, інакше текст ніхто не побачить. Заголовки виділяються і пишуться розміром шрифту не менше 36. Фон слайда бажано підібрати однотонний, що не отруйний. Колір шрифту – темний на світлому тлі, без тіні. Якщо вам потрібно виділити слово або вираз, використовуйте краще напівжирний шрифт.

5. Графіка. З її допомогою ви можете проілюструвати інформацію, яку хочете представити комісії на захисті. При використанні діаграм або графіків обов'язково вказуйте на слайдах внизу розшифровку скорочень. При цьому кожен ілюстрацію повинен супроводжувати підпис. Креслення представляють на слайдах зі штампом.

6. Таблиці. Програми для презентацій не люблять таблиць. Якщо хочете помістити важливу інформацію в формі таблиці, вставте її в слайд як картинку або ж зовсім розташуйте на сторінках роздаткового матеріалу.

7. Анімація. Анімацію не слід використовувати, якщо ви не випускник режисерських спеціальностей. Зникнення, спливання, розчинення написів надає враження несерйозності, чого краще не допускати під час захисту дипломного проекту.

8. Звукові ефекти. Намагайтеся не використовувати ніяких звуків з пакета програми для створення презентації. Вони будуть заважати зосередитися на смисловій складовій проекту.

9. Показ презентації під час захисту. Звичайно, незручно управляти презентацією самому доповідачу, можна доручити роботу з мультимедійною презентацією однокурсника. Щоб слайди відповідали тексту, необхідно надрукувати для ілюстратора ще один екземпляр доповіді і розмістити на ньому інструкцію по зміні слайдів. І, звичайно, варто 1-2 рази прорепетирувати захист удвох.

10. Перевірка на пунктуацію та орфографію. Негарно виглядають на великому екрані орфографічні та пунктуаційні помилки. Це знижує враження від виступу. Можна і навіть потрібно попросити людину, грамотності якого ви довіряєте, перевірити текст.

11. Підготовка обладнання. Можливості техніки різні. Тому презентація, де слайди «вилітають», текст «виїжджає» або з'являється з нічого, може просто «зависнути». Це один з випадків, коли показ вашого вміння працювати в PowerPoint, може зіграти злий жарт під час захисту. Краще підготувати просту презентацію з простою зміною слайдів. Презентація дипломного проекту повинна бути встановлена на комп'ютер, підключений до проектора заздалегідь – до початку процедури захисту дипломів всієї групи. На робочому столі створюється папка зі своїм прізвищем, щоб презентацію легко було знайти. І перевірте до захисту, чи відкриється презентація на цьому обладнанні, чи сумісна програма, в якій створена Ваша презентація з можливостями робочого комп'ютера, що стоїть в аудиторії.

12. Час виступу. Розраховуйте час виступу, щоб встигнути провести доповідь в відведений для цього час.

### **Поширені помилки при підготовці презентації**

1. Занадто довгі заголовки на слайдах. Заголовок повинен бути оформлений у вигляді тези, не потрібно виносити на слайд кілька абзаців тексту.

2. За креслення видаються рисунки взяті з літератури.

3. Недоречний дизайн слайда. Якщо йде мова про технічні дослідження, природа і натюрморт на тлі будуть виглядати не до місця. Краще зробити фон світлого відтінку, без ілюстрацій або просто білого кольору.

4. Занадто багато слайдів. У презентацію необхідно винести тільки найважливіше, в крайньому випадку, краще доповнити слайд промовою.

Приклад оформлення титульного аркуша презентації наведено в додатку 12.

Зразок слайда з кресленнями додаток 13.

Зразок слайда з основними положеннями ДПБ, додаток 14.

## 6. ПРОЦЕДУРА ЗАХИСТУ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ БАКАЛАВРА

Публічний захист дипломного проекту бакалавра здійснюється прилюдно на випускаючій кафедрі екзаменаційною комісією. Комісію очолює керівник підприємства, яке займається питаннями холодильної галузі. До складу екзаменаційної комісії входять провідні викладачі випускаючої кафедри. Під час захисту можуть бути присутні студенти інших курсів, представники підприємств потенційні роботодавці.

Оцінка виставляється комісією після проведення захисту на основі голосування членами комісії.

Важливою складовою виконання дипломного проекту бакалавра є прилюдний захист розробленої теми проекту. При чому однією зі складової високої позитивної оцінки є мистецтво усного мовлення (усна доповідь). Усна доповідь при захисті проекту повинна створити загальну уяву про спроектоване холодильне обладнання, його технічні можливості й основні принципи побудови креслень.

Доповідь не повинна зводитися до усної анотації, простому перерахуванню етапів і обсягу проробленої роботи. Головним змістом доповіді повинен бути виклад ідей, методів і способів технічних рішень, здійснених у проекті.

На усну доповідь звичайно виділяється до 10 хв.

При викладі доповіді на слайдах показують той матеріал, про який йде мова.

*Зміст доповіді.* Починати треба з актуальності теми. Першу фразу доповіді варто завчити напам'ять, щоб не довелося болісно винаходити, про що починати говорити. Після актуальності варто сформулювати мету роботи й розв'язувані завдання (прямо по тексту роботи). Далі розповідати по черзі по розв'язуваних завданнях – в основному про результати, отримані доповідачем в процесі виконання проекту. Наприкінці чітко сформулювати отримані результати (прямо по тексту проекту). Їх можна завчити, але дозволяється й зачитати. Зразковий план доповіді може бути наступним.

Інформація	Час, хв
1. Тема роботи	
2. Коротка характеристика підприємства як споживача холоду	2
3. Групування споживачів	1
4. Умови роботи холодильної установки й вибір розрахункового режиму	1
5. Принципи побудови функціональної схеми установки	1
6. Тип і кількість підібраних компресорних агрегатів, конденсаторів і випарників	1
7. Короткий огляд систем холодоагенту, теплоносія й допоміжних систем масловідділення, відтавання інею та ін.	2
8. Рівень автоматизації установки	1
9. Принципи автоматизації основного процесу	1

## 6.1. План технічної доповіді

Приблизний план технічної доповіді наведено нижче.

1. *Характеристика охолоджуваного об'єкта.* Призначення, місце розташування й потужність підприємства. Структура виробництва й споживачі холоду. Технологічні температурні рівні, способи відводу теплоти. Групування споживачів холоду.

2. *Схемні рішення холодильної установки.* Спосіб холодопостачання. Тип холодоагенту. Система водопостачання. Структурні функціональні частини холодильної установки і їхня взаємодія: конденсаторна група, охолоджувальні системи, відкрита площадка, машинне відділення, системи відводу теплоти від споживачів. Максимальні відносини тисків у циклах холодильних машин і вибір числа ступенів стиску по охолоджувальних системах. Вибір термодинамічних циклів. Спосіб подачі холодоагенту у випарники. Холодоносії, циркуляційні системи холодоносія.

3. *Елементний склад установки.* Розрахунковий період і теплові потоки в охолоджувальних системах. Групи компресорних агрегатів: тип, марки, склад, завод-виготовлювач. Конденсаторна група: тип, марка й склад конденсаторів, градирень, насосів. Випарники.

4. *Автоматизація.* Рівні автоматизації. Склад систем автоматизації. Регульовані параметри. Характеристика систем автоматичного регулювання. Системи автоматичного захисту й сигналізації у комплекті поставок.

## 6.2. Текст технічної доповіді

Орієнтований текст технічної доповіді подано нижче.

1. Виконано ескізне проектне пророблення універсальної холодильної установки кондитерської фабрики продуктивністю ... тис. т/рік, розташованої в м. ....

Штучний холод на фабриці використовується у виробництвах: карамелі, шоколадних цукерок, мармеладу ... . До складу цих виробництв входять потокові лінії з ділянками охолодження, охолоджувані апарати, пристрої та частини механізмів. Крім того, на фабриці є холодильні камери схову сировини: масла та готової продукції: тістечок, тортів, а також системи кондиціонування повітря у виробничих приміщеннях, які також є споживачами холоду.

Відповідно до технології виробництв і правилами техніки безпеки теплота від споживачів холоду може відводитися тільки за допомогою води двох температурних рівнів : 5 °С для \_\_\_ і 10 °С для \_\_\_ і розсолу з температурою \_\_\_ °С і °С для \_\_\_.

Для скорочення витрат електричної енергії передбачається роздільний виробіток холоду для споживачів, технологічні температури яких розрізняються більш ніж на 5 °С. Для цього споживачі об'єднані в чотири групи, три з яких високотемпературні й одна низькотемпературна. У підгрупу високотемпературних увійшли ... , охолоджувані водою з температурою 10 °С і

... розсолом з температурою ... °С. Низькотемпературного споживача представляє камера схову готової продукції з температурою повітря мінус 20 °С, для досягнення якої в охолоджувальні прилади подається розсіл з температурою мінус 30 °С.

2. Відповідно до технічного завдання холодильна установка повинна бути аміачною, централізованого холодопостачання. На структурній схемі установки показані її основні пропоновані схемні рішення.

Холодильна установка багатоцільова із чотирма ізотермами холоду, до складу якої входять чотири охолоджувальні системи, об'єднані загальною конденсаторною групою із системою оборотного водопостачання. У всіх охолоджувальних системах передбачені контури проміжних холодоносіїв: водяних і двох розсільних. З огляду на різний виробничий характер споживачів, у водяному контурі з температурою 10 °С передбачені дві групи насосів: по одній для системи кондиціонування й технологічних ліній.

У всіх охолоджувальних системах застосовується безнасосний спосіб подачі холодоагенту у випарники під різницею тисків конденсації й кипіння, звичайно застосовуваний при наявності в установці циркуляційних контурів холодоносія.

У зв'язку з тим, що в низькотемпературній охолоджувальній системі максимальне відношення тисків у компресорах перевищує вісім, для холодильної машини цієї системи обраний цикл двоступінчастого стиску з повним проміжним охолодженням пари й однократним дроселюванням рідини. Цей цикл забезпечує високу енергетичну ефективність одержання низькотемпературного холоду й, крім того, дозволяє використовувати двоступінчасті компресорні агрегати, схеми яких адекватні зазначеному циклу.

У холодильних машинах всіх трьох високотемпературних охолоджувальних систем передбачена реалізація регенеративного циклу одноступінчастого стиску без переохолодження рідини, звичайно застосовуваного для аміачних холодильних машин при відношенні тисків у компресорах менше восьми.

3. Розрахунок і підбір елементного складу холодильної установки виконаний для періоду максимальних теплових потоків від споживачів, які в липні становлять ... кВт. ... кВт – для високотемпературних груп споживачів і ... кВт для низькотемпературної камери схову готової продукції. При цьому створювалися групи з паралельно з'єднаних енергоспоживаючих елементів: компресорів і насосів, що, з одного боку, підвищувало надійність систем і, з іншого боку, давало можливість зменшувати сукупну потужність установленого обладнання при роботі установки в нерозраховані періоди шляхом зупинки окремих агрегатів. З метою уніфікації підібрані однотипні елементи одного заводу-виготовлювача: компресорні агрегати – Черкеського заводу холодильного обладнання, насосні агрегати – Катуйського машинобудівного заводу, теплообмінні апарати – Московського заводу «Компресор».

Високотемпературні охолоджувальні системи укомплектовані одноступінчастими компресорними агрегатами АВ-22 ....шт., АУ-45 ...шт.,

АУУ-90 ... шт., а низькотемпературна – двоступінчастим агрегатом АД 55-7-2.

Циркуляційні системи тепло- або холодоносіїв укомплектовані насосами 6К-6. У кожній групі насосів передбачений резервний крім двох робочих. До складу конденсаторної групи входять два горизонтальних кожухотрубних конденсатори марки КТГ-... і дві вентиляторні градирні ГПВ-160. В охолоджувальній системі, де як холодоносієм використовується вода з температурою 5 °С, для запобігання так званого «розморожування» апарата при аварійній зупинці водяного насоса встановлений панельний випарник марки ИП 120. У всіх інших охолоджувальних системах як випарники підібрані кожухотрубні апарати типу ИТГ ... як більш компактні й такі що володіють більшою корозійною стійкістю, чим панельні.

Підібране обладнання планується розмістити в машинному відділенні: компресори, насоси, випарники й горизонтальні кожухотрубні конденсатори, і на відкритій площадці: градирні й вертикальні кожухотрубні конденсатори (якщо вони є).

4. Для холодильної установки передбачена комплексна автоматизація, що відповідає оптимальному рівню автоматизації для даного типу установок. У комплекс засобів автоматизації входять системи автоматичного регулювання основних параметрів режиму роботи холодильної установки, системи автоматичного керування, захисту й сигналізації. Що стосується засобів автоматичного захисту й сигналізації, то вони звичайно входять у комплект обладнання, що поставляється заводом-виготовлювачем, і розробка відповідних систем автоматизації в обсяг дипломного проекту не входить.

У число основних параметрів, що підлягають регулюванню в даній холодильній установці включені температури: холодоносіїв на виході з випарників, повітря в охолоджуваних об'єктах; тиск холодоагенту: у конденсаторі й в усмоктувальному патрубку компресора; перегрів пари холодоагенту на виході з кожухотрубних випарників і рівень рідкого холодоагенту у віддільнику рідини панельного випарника.

Регулятор перегріву пари – автоматичний прилад пропорційної дії, так званий терморегулювальний вентиль, що змінює подачу холодоагенту відповідно до зміни величини перегріву, забезпечуючи, таким чином, оптимальне заповнення випарника холодоагентом.

Інші регулятори – двопозиційної дії, до їхнього складу входять датчики – реле, які або припиняють і відновляють подачу охолоджувального середовища в охолоджувальний прилад, або включають і виключають компресор або вентилятор при відхиленні регульованого параметра від заданих значень.

### 6.3. Поради доповідачеві

Виклад матеріалу доповіді повинен бути логічним і відповідати нормам літературної мови. Не слід використовувати технічний жаргон, особисті й присвійні займенники.

Намагайтеся стояти обличчям до аудиторії. Не повертайте спиною до аудиторії. Розповідаючи, не намагайтеся розповісти все, що ви знаєте.

Викладайте тільки саме головне. Говоріть голосно й чітко, щоб вас було чути. Говоріть не кваплячись, не тараторте, але не занадто повільно, без великих пауз. У самому кінці доповіді скажіть: «Дякую, я закінчив» або «Дякую за увагу».

*Техніка доповіді.* Мистецтво усного мовлення полягає в тому, щоб слухачам можна було легко сприймати сказане. Для цього необхідно враховувати чинники, що наведені нижче.

*Темп промови,* що відповідає темпераменту викладача, не є причиною того, щоб принципово змінювати його звички. Проте необхідно пам'ятати, що на заняттях варто намагатися говорити скоріше повільно, ніж швидко – занадто швидкий темп промови виробляє враження квапливості та утрудняє її розуміння.

Постійний темп робить промову монотонною. Повільно необхідно говорити про найбільш важливі речі. При потребі щось підкреслити варто також говорити повільно.

*Сила звуку та висота тону* повинні відповідати умовам приміщення. Тихе звучання спонукає слухачів до підвищеної концентрації уваги, але занадто тиха промова утрудняє розуміння. Тому доцільно говорити скоріше голосно, ніж занадто тихо. Вимовлене слово не є лише сумою букв – воно звучить.

*Паузи.* Під час проголошення промови доводиться водночас думати про те, що треба сказати в наступний момент. Полегшують це завдання паузи. Слухачам також потрібні паузи. Під час пауз вони мають можливість переробити інформацію.

Виступ доцільно починати з паузи. Вона створює ситуацію напруженого чекання. Але й під час промови за допомогою пауз можна домогтися особливого впливу на слухачів. До та після повідомлення важливої інформації необхідні паузи. Паузи розставляють акценти.

*Подих,* особливо видих, забезпечують можливість говорити – вимовлене слово є звучним видихом. Тому добре відпрацьований подих дуже важливий для доповідача. Необхідно дихати ритмічно, глибоко й спокійно. Перед тим як сказати; перше слово, треба декілька разів спокійно вдихнути. Пропонується будувати короткі речення, щоб у середині речення не було потрібно робити вдих.

Оскільки людина сприймає виступ декількома органами почуттів одночасно, необхідно стежити не тільки за його акустичним впливом, але й за відповідність візуальних прийомів.

*Погляд.* Контакт очима – відіграє важливу роль у процесі комунікації, тому, що також служить зворотним зв'язком між партнерами. Погляд виступаючого може сигналізувати про кінець його промови, про те, що він готовий дати слово партнеру. Якщо ж доповідач не готовий цього зробити, він уникає контакту очима.

*Жести.* Рух руками слугує, насамперед, для ілюстрації та супроводження висловлювань, він показує емоційний стан доповідача, наприклад, його знервованість або страх. Рух головою також виконує цілий ряд комунікативних функцій. Жестикуляція – засіб оптичного підкріплення промови. Проте стереотипні жести мало що додають для її сприйняття, так само як і жести, що не відповідають меті – такі жести не підсилять, а зіпсують враження від того, що промовляється. Складні технічні процеси навряд чи можуть пояснюватися

тільки рухом рук. Для цього існують технічні засоби навчання.

*Самоаналіз виступу.* Доцільно за допомогою магнітофонного запису власної промови перевірити силу голосу, висоту тону, швидкість промови, уточнити її стиль та артикуляцію. Немовну поведінку контролюють за допомогою дзеркала.

*Застосування технічних засобів.* Для супроводження презентацій, виступів найбільш широко застосовується проєкційна техніка.

Технічні можливості *графопроєктора* дозволяють установити його не далеко від екрана. Доповідач може знаходитись безпосередньо біля проєктора, змінювати об'єкт у процесі демонстрації, вносити зміни до зображення (сполучати слайд відкривати або закривати складові частини).

При виготовленні слайдів для кращого сприйняття варто дотримуватись єдиного стилю форматування (однаковий шрифт, колірна гама). Занадто широка вигадливість і розмаїтість шрифтів роблять текст важким для читання. Доцільно використовувати в одному зображенні один-два типи шрифтів. Шрифти не повинні містити тонких ліній. Розмір шрифту має бути таким, щоб літери чітко розрізнялися з останнього ряду аудиторії. Утрудняють читання тексту прописні літери. Підписи та ключові слова варто виділяти. Текст повинен бути максимально лаконічним. У рядку повинно бути не більше семи слів і на всьому зображенні не більше десяти рядків. В іншому випадку зображення неможливо охопити поглядом.

При використанні кольорів необхідно дотримуватись природного кольору об'єкта. Основне правило вибору кольорів зображення – простота. Не варто вибирати більше одного або двох кольорів. Доцільно використовувати різні відтінки та напівтони основного кольору.

На слайді треба розташовувати один об'єкт – так він запам'ятається краще, ніж у групі з іншими. Декілька об'єктів слід подавати лише для порівняльної оцінки.

Після подання кожного слайда, перед початком пояснень доповідач повинен робити паузу.

При роботі із слайдами треба максимально повно використовувати можливість швидкої заміни. Зображення на екрані повинно з'являтися тільки у той момент, коли воно потрібно, а в іншому випадку – проєктор варто вимкнути.

*Електронні проєктори* працюють від цифрового сигналу і є найбільш технологічним типом проєкторів. Сучасні апарати приймають сигнал від відеоманітофона, телевізора, комп'ютера, цифрової або аналогової відеокамери, сканера. Використання електронного проєктора в навчальному процесі доцільно у випадках, коли необхідно продемонструвати динамічне зображення на великому екрані.

Статичні зображення створюють на комп'ютері з використанням стандартних програм операційної системи Microsoft Windows – Word, Excel, PowerPoint. Остання програма дозволяє використовувати спеціальні ефекти з елементами анімації.

Широкі можливості при вивченні мініатюрних елементів виникають при використанні системи відеокамера – проєктор – екран.



## 7. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК СТАЦІОНАРНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ СПОРУД

### 7.1. Загальні положення

Холодильники – складні господарства. Проектуванням їх займаються організації, що мають Державну ліцензію на цей вид діяльності.

Перед початком проектування холодильного підприємства виконують техніко-економічне обґрунтування його створення (бізнес-план), після обговорення і затвердження якого приступають до проектних робіт.

Великі, або унікальні об'єкти проектують у три етапи:

- 1 – ескізний проект,
- 2 – технічний проект,
- 3 – робочий проект.

В інших випадках 1-й і 2-й етапи звичайно об'єднують.

Проектування виконують не тільки холодильщики. Узгоджено з ними працюють фахівці з будівельної справи, водопостачання, тепlopостачання, вентиляції, каналізації, електротехніці, автоматиці, економіці, екології й ін.

Робочий проект холодильного підприємства включає наступні розділи:

- архітектурно-будівельний;
- холодильно-технологічний;
- санітарно-технічний;
- електротехнічний;
- автоматизації.

Кожен розділ складається з розрахунково-пояснювальної записки і робочих креслень. Крім цього робочий проект включає комплект кошторисів витрат на виробництво усіх видів робіт і замовлені відомості для покупки обладнання та матеріалів.

На всіх етапах проектування (і передпроектних робіт) потрібно враховувати наступні фактори, що впливають на створення холодильника:

- асортимент продуктів для холодильної обробки та зберегання, їх кількість і упакування;
- прийняту технологію холодильної обробки і зберегання продуктів;
- прийняті способи виконання вантажно-розвантажувальних, транспортних і складських робіт на холодильнику;
- клімат і рельєф району будівництва;
- наявність зовнішніх під'їзних колій;
- умови подачі і вартість електроенергії й води;
- рівень будівельної техніки і кваліфікації будівельників у районі будівництва холодильника;
- тип і вартість будівельних і ізоляційних матеріалів, холодильного обладнання, автоматики та ін.;
- зарплату будівельників;
- термін амортизації холодильника;

- сейсмічні вимоги;
- величину господарського району обслуговування, наявність у ньому холодильних підприємств, холодильного транспорту;
- умови роботи і зарплату персоналу холодильника;
- охорону праці, санітарію, протипожежний захист та ін.;
- загальні перспективи розвитку (темпи морального зносу обладнання, стан науково-технічних досліджень та ін.).

## 7.2. Вибір будівельної конструкції холодильника

Яким буде холодильник, одноповерховим або багатоповерховим? Ось одне з перших питань, на які потрібно відповісти при проектуванні.

Багатоповерхові холодильники характеризуються дорогими і складними будівельно-ізоляційними конструкціями, які називаються етажерочними.

Одноповерхові холодильники простіше і дешевше. Для їхнього спорудження часто використовують швидкосторуджувальні ізоляційні конструкції з «сандвіч-панелей». Детальний опис будівельно-ізоляційних конструкцій одноповерхових і багатоповерхових холодильників наведено в [1–5].

Головною перевагою багатоповерхових холодильників є мале відношення площі зовнішніх огорожень споруди, що охолоджується до його обсягу і, отже, зменшені зовнішні теплонадходження в приміщення, що охолоджуються.

Чим більше місткість холодильника, тим важливіше це достоїнство. Тому великі холодильники (місткістю більше 5000 т) будують у багатоповерховому виконанні, незважаючи на великі витрати будівельних матеріалів, робочої сили і тривалий термін їхнього зведення.

Мінімальні зовнішні теплонадходження характерні для підземних холодильників. Однак їх будують тільки на основі використання наявних підземних виробітків і порожнеч, тому що земляні роботи досить дорогі.

Холодильники малої місткості (не більше 500 т) будують в одноповерховому виконанні.

Задачу вибору поверховості холодильника середньої місткості (від 500 т до 5000 т) можна вирішити з урахуванням переваг і недоліків одноповерхових холодильників у порівнянні з багатоповерховими.

Переваги одноповерхових холодильників, пов'язані з їхньою будівельною конструкцією:

- більш проста будівельна конструкція, тому що каркас холодильника несе навантаження лише від даху, охолоджуючих приладів, вітру, снігу;
- менші вимоги до міцності ґрунту;
- менша витрата будівельних матеріалів;
- придатність способу полегшеного будівництва з використанням «сандвіч-панелей»;
- більш короткий термін будівництва;
- менша вартість будівництва;

- великі можливості у виборі форми плану будівлі;
- можливість утворення замкнутого теплозахисту без «теплових містків».

Переваги одноповерхових холодильників, також пов'язані зі зручністю механізації вантажних робіт:

- шляхи внутрішніх перевезень продуктів – тільки по горизонталі; це дозволяє цілком механізувати вантажно-розвантажувальні і транспортні роботи усередині холодильника;
- великі довжини вантажних платформ дозволяють прискорити зовнішні вантажні роботи;
- можливість будівництва великих камер (шириною до 36 м), вільних від колон; це дозволяє полегшити і прискорити вантажні роботи усередині камер;
- можливість максимального скорочення внутрішніх шляхів перевезень (наприклад, камери перевалочних холодильників можуть мати безпосередні виходи на охолоджувані залізничні й автомобільні платформи);
- менші експлуатаційні витрати.

Недоліки одноповерхових холодильників у порівнянні з багатоповерховими:

- велика займана площа земельної ділянки;
- підвищена витрата теплоізоляційних матеріалів, тому що в одноповерхових холодильників більше відношення площі зовнішніх огорожень до внутрішнього об'єму приміщень, що охолоджуються;
- підвищені зовнішні теплонадходження (пояснюються великою площею покриття, що опромінюється сонцем, а також необхідністю обігрівання ґрунту під приміщеннями з негативними температурами повітря);
- більш довгі системи трубопроводів призводять не тільки до збільшення капіталовкладень, але і до підвищених експлуатаційних витрат (наприклад, довгі усмоктувальні трубопроводи охолоджувальних приладів низькотемпературних камер є причиною того, що тиск усмоктування компресорів виявляється нижче тиску кипіння холодильного агенту в камерних батареях і повітроохолоджувачах);
- великі витрати на створення системи захисту від промерзання ґрунту під холодильником;
- непривабливий зовнішній вигляд обмежує будівництво одноповерхових холодильників у районах міської забудови.

Компромісним рішенням є двоповерхові холодильники, що називають також одноповерховими з підвалом. Ці холодильники доцільно споруджувати на положистих схилах місцевості так, щоб кожен поверх мав власну вантажну платформу. Це дозволяє уникнути міжповерхових переміщень складованих вантажів.

Двоповерхові холодильники мають наступні переваги в порівнянні з одноповерховими:

- значно менша площа забудови;

- менша потреба в теплоізоляційних матеріалах;
- зменшені зовнішні теплонадходження;
- менша довжина трубопроводів;
- зручна боротьба з промерзанням ґрунту, тому що на нижньому поверсі споруджують камери схову охолоджених продуктів.

Експлуатація холодильних камер з негативною температурою повітря може привести до замерзання ґрунту, розташованого під ними. Волога, що знаходиться в ґрунті, а також та, що дифундує ззовні в зону низьких температур, замерзає і спучує ґрунт. При цьому підлоги в камерах схову стають нерівними, а замерзання вологи в ґрунті під фундаментом холодильника приводить до тріщин у стінах та до їхнього руйнування.

Існують наступні методи запобігання промерзання ґрунту під низькотемпературними камерами:

- запобігання контакту підлоги камери з ґрунтом, який деформується морозом, шляхом засипання товстого шару непучинистих матеріалів (гравій, щебінь, шлак), або устрій підлог холодильника на стовпчиках висотою близько 1 м;
- устрій підвалів з розташованими в них камерами схову охолоджених продуктів;
- устрій «шанцевих підлог», тобто підігрів ґрунту зовнішнім повітрям, що циркулює в асбоцементних трубах, покладених нижче ізоляційного шару в бетонну підготовку підлог; у холодний час року повітря підігрівають до 10...12 °С перед подачею його в труби;
- підігрів ґрунту за допомогою електричних нагрівачів, виготовлених з арматурного заліза, покладених у бетонну підготовку підлог; температура в зоні обігріву автоматично підтримується на рівні 1...3 °С;
- підігрів ґрунту рідиною, що протікає в системі трубопроводів, покладених нижче ізоляційного шару підлог камер;
- при цьому температура в зоні обігріву підтримується на рівні 2...6 °С; для зменшення енерговитрат рідину нагрівають у спеціальному теплообміннику за рахунок переохолодження рідкого холодильного агента перед дроселюванням;
- підігрів ґрунту за принципом «теплової труби»; при цьому холодильний агент, що циркулює в автономному контурі теплової труби, конденсується усередині труб, покладених у бетонну підготовку підлог, а потім випаровується в спеціальному теплообміннику холодильної установки за рахунок переохолодження основного потоку рідкого холодильного агента перед дроселюванням; температура в зоні обігріву підтримується на рівні 1...3 °С шляхом регулювання витрати основного потоку рідкого холодильного агента через теплообмінник.

### 7.3. Визначення основних розмірів охолоджуваних приміщень холодильників

До визначення основних розмірів приміщень холодильника приступають після того, як у результаті техніко-економічних розрахунків або іншим шляхом отримані дані про масу усіх видів продуктів, що підлягають одноразовому збереженню.

Розрахунок розмірів камер схову виконують за кожним видом збережених продуктів за наступною схемою.

#### 1. Вантажний обсяг камери (тобто обсяг, зайнятий вантажем)

$$V_{zp} = \frac{G}{g_v}, \quad (7.1)$$

де  $G$  – маса збереженого продукту, т;

$g_v$  – норма завантаження одиниці вантажного обсягу, т/м<sup>3</sup>.

Розмір  $g_v$  різний для різних продуктів і перебуває в межах 0,2...0,8 т/м<sup>3</sup>. Значення  $g_v$  для найбільш розповсюджених продуктів наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1

#### Норми завантаження вантажного обсягу камер холодильників

Продукти	Упакування	$g_v$ , т/м <sup>3</sup>
Яловичина, заморожена в четвертинах	без упакування	400
Яловичина, заморожена в напівтушах	– // –	300
Баранина заморожена	– // –	280
Свинина заморожена	– // –	450
М'ясо і субпродукти в блоках	ящики, коробки	600
Птиця заморожена	– // –	380
Ковбасні вироби	– // –	300...400
Риба заморожена	– // –	400...550
Олія вершкова	– // –	700
Жири тваринні, маргарин	– // –	650
Сири	– // –	400...500
Яйця	– // –	240...320
Яєчний меланж	– // –	550...700
Молоко згущене	– // –	470
Консерви	– // –	600...650
Морозиво (на стелажах)	– // –	230
Яблука і груші	– // –	340...360
Цибуля ріпчаста	– // –	340...380
Морква	– // –	320...360
Цитрусові	– // –	320...400
Банани	– // –	250
Картопля	мішки	400
Картопля	без упакування	700

2. Вантажна площа камери (тобто площа підлоги, зайнята вантажем)

$$F_{zp} = \frac{V_{zp}}{h_{zp}}, \quad (7.2)$$

де  $h_{zp}$  – висота складування продукту, м.

При виборі  $h_{zp}$  варто враховувати:

- прийняту будівельну висоту камери;
- прийняті камерні охолоджувальні прилади, а також системи розподілу повітря;
- необхідні мінімальні технологічні відступи по висоті (0,2 м) від стелі, батарей, повітроводів; при безканалному розподілу повітря найменший відступ від стелі дорівнює 1 м;
- розміри тари;
- міцність тари;
- діючі правила техніки безпеки;
- припустиме навантаження на 1 м<sup>2</sup> підлоги –  $g$ , яке дорівнює 2,0...2,5 т/м<sup>2</sup> для сучасних багатоповерхових і 4 т/м<sup>2</sup> для одноповерхових холодильників.

Необхідно, щоб  $g_v, h_{zp} < g$ .

3. Будівельна площа камери включає вантажну площу, а також ділянки підлоги камери, не зайняті вантажем. До них відносять:

- необхідні мінімальні технологічні відступи від стін і пристінних охолоджувальних приладів (0,3 м);
- мінімальні проходи для огляду збережених продуктів (0,8 м);
- проходи для проведення вантажних робіт вручну (1,2 м);
- проїзди для штабелеукладачів, якщо передбачено механізацію вантажних робіт (2,2 м);
- вільні площадки біля дверей (5...6 м<sup>2</sup>).

На початку розрахунків будівельну площу камери визначають приблизно

$$F_{бюд} = \frac{F_{zp}}{\beta}, \quad (7.3)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт використання будівельної площі камери, залежний від величини  $F_{zp}$ .

Для малих камер –  $F_{zp} < 50$  м<sup>2</sup> та  $\beta = 0,7$ , для середніх  $F_{zp} = 50...300$  м<sup>2</sup> та  $\beta = 0,75...0,8$ ; для великих камер  $F_{zp} > 300$  м<sup>2</sup> та  $\beta = 0,85$ .

Для вантажів, що знаходяться на підвісних шляхах:

$$F_{\text{бюд}} = \frac{G}{g_F}, \quad (7.4)$$

де  $g_F$  – норма навантаження на 1 м<sup>2</sup> будівельної площі камери, т/м<sup>2</sup>; для м'яса  $g_F = 0,2 \dots 0,25$  т/м<sup>2</sup>.

Для камер холодильної обробки продуктів

$$F_{\text{бюд}} = \frac{G' \tau}{24 g_F}, \quad (7.5)$$

де  $G'$  – продуктивність камери, т/добу;  
 $\tau$  – час циклу холодильної обробки продукту (із завантаженням і вивантаженням камери), год.

4. Після обчислення будівельних площ камер для усіх видів продуктів, що не допускають спільного збереження, приблизно визначають будівельну площу всього холодного контуру

$$F_{\text{хол}} = \frac{\sum F_{\text{бюд}}}{\eta_x}, \quad (7.6)$$

де  $\eta_x$  – коефіцієнт використання будівельної площі холодильника.

Для холодильників малої місткості  $\eta_x = 0,7 \dots 0,75$ ; для середніх  $\eta_x = 0,75 \dots 0,85$ , для великих холодильників  $\eta_x = 0,85 \dots 0,9$ .

Якщо холодильники будують індустріальним методом, то дійсна сумарна будівельна площа холодного контуру ( $F_{\text{хол}}$ ) повинна бути пропорційна цілому числу будівельних прямокутників.

Площа будівельного прямокутника ( $F_{\text{бн}}$ ) визначається прийнятим кроком колон. Наприклад, при кроці колон 6×6 м,  $F_{\text{бн}} = 36$  м<sup>2</sup>.

Тоді

$$n_{\text{бн}} = \frac{F_{\text{хол}}}{F_{\text{бн}}}, \quad (7.7)$$

де  $n_{\text{бн}}$  – округлене до цілої величини число будівельних прямокутників.

Уточнена сумарна будівельна площа холодного контуру

$$F_{хол} = F_{он} \cdot n_{он}. \quad (7.8)$$

Потім переходять до складання планування холодильника. Вимоги, пропоновані до планувань, а також приклади планувань різних холодильників можна знайти в літературі [2–6].

Якщо відомо планування (основні будівельні розміри камери та охолоджувальні прилади, що будуть встановлені в ній) то можна визначити уточнене значення місткості камери для конкретного виду продуктів. Для цього на плані камери наносять схему розміщення продуктів, що зберігаються, з урахуванням тари і всіх необхідних бічних відступів, а потім підраховують обсяг отриманого штабеля ( $V_{сп}^*$ ) з урахуванням відступів за висотою. Тоді

$$G^* = V_{сп}^* \cdot g_v. \quad (7.9)$$

Наближене значення місткості камери, якщо відомо її будівельну площу, можна визначити за допомогою формул приведених вище. Наприклад, для камер схову заморожених продуктів

$$G = \beta \cdot F_{бод} \cdot h_{сп} \cdot g_v. \quad (7.10)$$

Місткість холодильників вимірюють у тоннах умовного вантажу, для якого питома норма завантаження вантажного об'єму камери  $g_{умов} = 0,35 \text{ т/м}^3$ . Місткість камери в тоннах умовного вантажу:

$$G_{умов} = G \frac{g_{умов}}{g_v}. \quad (7.11)$$

Загальну місткість холодильника визначають підсумовуванням величин  $G_{умов}$  для всіх камер зберігання.

Місткість камер холодильної обробки продуктів, а також місткість допоміжних охолоджуваних приміщень при цих камерах не враховують при визначенні місткості холодильника.

#### 7.4. Визначення товщини теплоізоляційного матеріалу

Після складання планування холодильника і вибору всіх елементів його будівельно-ізоляційної конструкції визначають товщини ізоляційних шарів огорожень. Для цього необхідно знати коефіцієнти теплопередачі всіх огорожень холодильника – зовнішніх і внутрішніх.

Коефіцієнти теплопередачі огорожень визначають техніко-економічними розрахунками, або за довідковими таблицями. Значення цих



коефіцієнтів повинні враховувати реальні товщини ізоляційних і інших шарів огорожень.

Нижче наведено аналітичні залежності, що дозволяють з достатньою точністю визначати розрахункові значення коефіцієнтів теплопередачі для огорожень холодильних камер.

Більша частина території України відноситься до середньої кліматичної зони, де середньорічна температура повітря позитивна, але нижче 9 °С (див. додаток 15). Для цієї зони коефіцієнти теплопередачі зовнішніх стін холодильних камер  $k_{зov.c}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К) можна обчислити за формулою

$$k_{зov.c} = 0,16 \cdot e^{0,022(40+t_k)}. \quad (7.12)$$

Для південної кліматичної зони значення  $k_{зov.c}$ , отримані за формулою (7.12), варто зменшити на 20 %.

Коефіцієнти теплопередачі покриттів холодильників, які не мають горищ:

$$k_{он} = 0,95k_{зov.c}. \quad (7.13)$$

Коефіцієнти теплопередачі горищних покриттів холодильників

$$k_{гн} = 1,05k_{зov.c}. \quad (7.14)$$

Коефіцієнти теплопередачі внутрішніх стін і перегородок, що відокремлюють охолоджувані приміщення від неохолоджуваних, але неопалюваних

$$k_{но} = 1,18k_{зov.c}. \quad (7.15)$$

Коефіцієнти теплопередачі внутрішніх стін, перегородок і межповерхових перекриттів між охолоджуваними приміщеннями можна обчислити за формулою

$$k_{ен.c} = \frac{1}{2 + 0,07 \Delta t_n}, \quad (7.16)$$

де  $\Delta t_n$  – різниця між температурами повітря найбільш теплого і холодного приміщень, що охолоджуються по обидві сторони огороження, °С.

Обчислені значення коефіцієнтів теплопередачі стін, перегородок, покриттів і межповерхових перекриттів холодильних камер перевіряють на недопущення конденсації вологи з навколишнього повітря на теплому боці зазначених огорожень

$$k^* \leq 0,9 \frac{\alpha'_{306} (t_{306} - t_p)}{t_{306} - t_k}, \quad (7.17)$$

де  $k^*$  – коефіцієнт теплопередачі відповідного огороження, наприклад,  $k^* = k_{306.c}$ ), Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\alpha'_{306}$  – мінімальне значення коефіцієнта тепловіддачі від повітря до теплої сторони огороження, Вт/(м<sup>2</sup>·К); можна приймати  $\alpha'_{306} = 6$  Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $t_{306}$  – розрахункова літня температура зовнішнього повітря (для зовнішніх огорожень), або температура приміщення з теплового боку внутрішньої стіни, перегородки або міжповерхового перекриття, °С;  
 $t_p$  – температура точки роси, що відповідає температурі і відносній вологості повітря з теплового боку огороження холодильної камери, °С.

Вказівки про вибір  $t_{306}$  див. на с. 75 даного навчального посібника.

Відносна вологість зовнішнього повітря для міст України дана в додатку 15. Відносну вологість неохолоджуваних, але неопалюваних приміщень можна приймати рівною 90 % .

Температуру  $t_p$  визначають за допомогою діаграми, в координатах і-d (ентальпія – вологовміст), вологого повітря.

Якщо нерівність (7.17) не виконується, то обчислене значення  $k^*$  зменшують настільки, щоб вираз (7.17) перетворився в рівність.

Знаючи розмір коефіцієнта теплопередачі, розраховують для кожного багат шарового огороження товщину теплоізоляційного шару за формулою

$$\delta_{i3} = \left[ \frac{1}{k^*} - \left( \frac{1}{\alpha_{306}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{6H}} \right) \right] \lambda_{i3}, \quad (7.18)$$

де  $\alpha_{306}$  і  $\alpha_{6H}$  – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі з зовнішнього і внутрішнього боків огороження, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\delta_i$  – товщина кожного будівельного шару конструкції огороження, м;  
 $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару конструкції огороження, Вт/(м·К);  
 $\lambda_{i3}$  – розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності обраного ізоляційного матеріалу огороження, Вт/(м·К).

Наближені значення  $\alpha_{306}$  і  $\alpha_{6H}$  наведено в табл. 7.2. Більш точно величини  $\alpha_{306}$  для зовнішніх поверхонь холодильника можна розрахувати за формулою (7.30).

Таблиця 7.2

**Коефіцієнти тепловіддачі біля поверхонь огорожень холодильних камер**

Огородження	Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
Зовнішні поверхні холодильника	23
Внутрішні поверхні камер з батарейним охолодженням	7
Внутрішні поверхні камер зберігання з повітряним охолодженням	9
Внутрішні поверхні камер холодильної обробки	11
Внутрішні поверхні неохолоджуваних і опалювальних приміщень, що граничать з холодильними камерами	8

Значення  $\delta_i$  приймають у залежності від обраної ізоляційної конструкції огорожень холодильника (див. [2–5]). Значення коефіцієнтів теплопровідності ізоляційних і будівельних матеріалів наведено в табл. 7.3.

Для урахування впливу теплопровідних включень в ізоляційному шарі розрахункове значення  $\lambda_{i3}$  визначають як:

$$\lambda_{i3} = (1,1 \dots 1,15) \cdot \lambda, \quad (7.19)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, Вт/(м·К).

Таблиця 7.3

**Коефіцієнти теплопровідності ( $\lambda$ ) і середня об'ємна маса ( $\rho$ ) основних ізоляційних і будівельних матеріалів у сухому стані**

Матеріал	Середня об'ємна маса $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнти теплопровідності $\lambda$ , Вт/(м·К)
1	2	3
Торфоплита	220	0,075
Мінераловатна плита	280	0,07
Пінобетон ізоляційний	350	0,12
Піноскло	400	0,09
Гравій керамзитовий	400	0,15
Пінополістирол ПСБ-С	25	0,035
Пінополівінілхлорид ПХВ-1	100	0,052
Пінополіуретан «РИПОР»	40	0,030
Бітум нафтовий	1000	0,17
Руберойд	800	0,16

Продовження табл.7.3

1	2	3
Гідроізол	800	0,25
Бетон	2400	1,8
Залізобетон	2500	2,0
Пінобетон будівельний	800	0,37
Цегла (на цементному розчині)	1800	0,81
Штукатурка цементна	1800	1,0
Штукатурка вапняна	1600	0,75
Пісок	1600	0,58

Якщо застосований теплоізоляційний матеріал випускається у вигляді плит, то розмір  $\delta_{iz}$ , одержаний з виразу (7.18), звичайно збільшують таким чином, щоб він був кратним товщині плити. При цьому якщо прийнята збільшена товщина ізоляції  $\delta_{iz}^*$  відрізняється від  $\delta_{iz}$  більш ніж на 5 %, то необхідно визначити дійсне значення коефіцієнта теплопередачі за формулою

$$k_d^* = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{зов}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{iz}^*}{\lambda_{iz}}} \quad (7.20)$$

### 7.5. Визначення товщини пароізоляційного матеріалу

Ізоляційні конструкції холодильних камер включають пароізоляційний шар, який встановлюють для захисту холодильної ізоляції від зволоження. Звичайно пароізоляцію встановлюють з теплового боку теплоізоляційного шару.

Для того щоб пароізоляція виконувала свої захисні функції, недостатньо установити її стосовно теплоізоляційного шару з боку більшого парціального тиску водяної пари в повітрі. Потрібно також вибрати товщину пароізоляції, що буде забезпечувати необхідний опір проходженню водяної пари крізь ізольоване огороження.

Графічний метод розрахунку товщини пароізоляції [2] не забезпечує необхідну точність навіть при великих розмірах графіків.

Розглянемо аналітичний метод розрахунку товщини пароізоляційного шару в огороженнях холодильних камер, який запобігає конденсації водяної пари, що дифундує крізь ізоляцію. Він простіше і точніше графічного, а також добре погоджується із сучасними системами автоматичного проектування.

Цей метод заснований на тому, що пароізоляційний шар повинен запобігати утворенню початкової зони конденсації водяної пари в теплоізоляційному матеріалі навіть при самому несприятливому співвідношенні парціальних тисків водяної пари в повітрі навколо зовнішньої і внутрішньої поверхонь ізоляції.

Вираз для визначення товщини пароізоляційного шару  $\delta_n$  має такий вигляд:

$$\delta_n = \delta_{i3} \frac{\mu_n}{\mu_{i3}} \left( \frac{\frac{m}{n} e^{bt_{i.306} - ct_{i.6H}} - 1}{c(t_{i.306} - t_{i.6H})} - 1 \right), \quad (7.21)$$

де  $\mu_n$  і  $\mu_{i3}$  – коефіцієнти паропроникності пароізоляційного і теплоізоляційного матеріалів, кг/(м·с·Па) (числові значення цих коефіцієнтів наведено в табл. 7.4);

$t_{i.306}$  – температура зовнішньої поверхні шару теплової ізоляції, °С;

$t_{i.6H}$  – температура внутрішньої поверхні шару теплової ізоляції, °С;

$b, c, m, n$  – коефіцієнти, що залежать від  $t_{i.306}$  та  $t_{i.6H}$ ; числові значення цих коефіцієнтів зведено в табл. 7.5.

З розрахунків ізоляції огорожень холодильних камер відомі наступні величини: температури повітря ( $t_{306}, t_{6H}$ ), коефіцієнти тепловіддачі з боку повітря ( $\alpha_{306}, \alpha_{6H}$ ) з обох боків огороження, коефіцієнти теплопровідності і товщини окремих шарів огороження, а також загальний коефіцієнт теплопередачі ( $k$ ) ізоляційної конструкції. За цими даними, використовуючи рівняння теплопередачі, легко розрахувати температури зовнішньої і внутрішньої поверхонь шару теплової ізоляції  $t_{i.306}$  і  $t_{i.6H}$

$$t_{i.306} = t_{i.6H} + k(t_{306} - t_{6H}) \left( \frac{1}{\alpha_{306}} + \frac{\delta_{6H}}{\lambda_{6H}} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} \right), \quad (7.22)$$

$$t_{i.6H} = t_{i.6H} + k(t_{306} - t_{6H}) \left( \frac{1}{\alpha_{6H}} + \frac{\delta_{6H}}{\lambda_{6H}} \right), \quad (7.23)$$

де  $\delta_{6H}$  – товщина внутрішнього облицювального шару огороження, м;

$\lambda_{6H}$  – коефіцієнт теплопровідності облицювального шару огороження, Вт/(м·К);

$\delta_{i3}$  – товщина шару теплової ізоляції, м;

$\lambda_{i3}$  – коефіцієнт теплопровідності шару теплової ізоляції, Вт/(м·К).

Таблиця 7.4

**Коефіцієнти паропроникності основних будівельних та ізоляційних матеріалів**

Матеріал	Коефіцієнт паропроникності $\mu \cdot 10^{12}$ , кг/(м·с·Па)
Бетон, залізобетон	8,33
Цегла	2,92
Пінобетон будівельний	48,1
Пінобетон ізоляційний	66,2
Штукатурка цементна	20,8
Штукатурка вапняна	37,6
Торфоплита	52,2
Мінераловатна плита	94,1
Піноскло	6,39
Пінополістирол ПСБ-С	6,39
Пінополівінілхлорид ПХВ-1	16,7
Пінополіуретан «РИПОР»	5,7
Бітум	0,24
Руберойд	0,376
Гідроізол	0,345
Поліетиленова плівка	0,0056
Алюмінієва фольга	0,0015

Таблиця 7.5

**Значення коефіцієнтів  $b, c, m, n$**

Температурний інтервал $t_{i,зов}$ та $t_{i,вн}$ , °С	Значення коефіцієнтів			
	$b$	$c$	$m$	$n$
$t_{i,зов} = (-30...0)$	0,0930		640	
$t_{i,зов} = (0...30)$	0,0646		630	
$t_{i,вн} = (-30...0)$		0,0930		640
$t_{i,вн} = (0...30)$		0,0646		630

У додатку 16 наведено приклад використання аналітичного методу розрахунку товщини пароізоляційного шару для зовнішньої стіни камери зберігання заморожених продуктів, що розташована в м. Одесі.

**7.6. Розрахунок теплонадходження. Основні види теплонадходження**

Теплове навантаження є основною величиною, за якою проводять розрахунок і підбір холодильного обладнання. Для підбору батарей і повітроохолоджувачів необхідно знати теплові навантаження кожної камери, де вони будуть установлені.

Для виконання розрахунків циклів холодильних машин і підбору компресорів необхідно знати сумарні теплові навантаження всіх споживачів холоду при різних температурах випаровування холодоагенту.

Знайти згадані вище теплові навантаження є метою розрахунку теплонадходжень (стара назва розрахунку – калоричний).

Розрахунок теплонадходжень проводять при проектуванні будь-яких холодильних установок. У залежності від призначення холодильної установки, для неї попередньо обирають найбільш важкі, несприятливі умови (період часу або режим роботи), при яких може здійснюватися її експлуатація. Для цих умов послідовно розраховують усі зовнішні теплонадходження і внутрішні тепловиділення, що можуть бути в цьому розрахунковому режимі.

Звичайно теплонадходження поділяють на наступні групи:

$Q_1$  – теплонадходження через огороження охолоджуваних об'єктів, Вт;

$Q_2$  – теплонадходження від холодильної обробки вантажів, що перебувають в охолоджуваному об'єкті, Вт;

$Q_3$  – теплонадходження, що надходять із зовнішнім повітрям при вентиляції охолоджуваних об'єктів (якщо вона передбачена), Вт;

$Q_4$  – теплонадходження від різних джерел, що з'являються при експлуатації охолоджуваних об'єктів, Вт;

$Q_5$  – теплонадходження від подиху охолоджених плодів і овочів при їхній холодильній обробці і збереженні (для плодоовочевих холодильників), або теплонадходження від інших хімічних реакцій усередині охолоджуваного об'єкта, Вт.

Загальне теплове навантаження на холодильне обладнання ( $Q_0$ ) визначають підсумовуванням усіх вище наведених теплонадходжень:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5. \quad (7.24)$$

Розглянемо деякі особливості розрахунку теплонадходжень, які варто враховувати при його виконанні:

– Розрахунок проводять за окремими споживачами холоду (за кожною камерою, морозильному апаратові та ін.).

– Для кожного споживача холоду обирають розрахунковий режим, при якому витрата холоду буде максимальною. При цьому найбільше холодоспоживання всієї холодильної установки часто не збігається з максимумами холодоспоживання окремих камер або технологічних апаратів.

– Теплові потоки, що розраховуються, як правило, непостійні в часі і про їхній розмір і характер зміни часто можна судити лише орієнтовно. Це робить розрахунок теплонадходжень наближеним. Тому доцільно одержувані результати обчислень округляти з точністю не більш чотирьох значущих цифр.

– Через наближеність розрахунку теплонадходження визначають для умов стаціонарного теплового режиму. Це створює невеликий запас теплового навантаження, однак в окремих випадках нестаціонарність теплових потоків враховують у розрахунку коригувальними коефіцієнтами.

## 7.7. Розрахунок теплонадходження через огороження

Теплонадходження через огороження охолоджуваного об'єкта  $Q_1$ , Вт:

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C}, \quad (7.25)$$

де  $Q_{1T}$  – теплонадходження від різниці температур по обидві сторони огорожень, Вт;  
 $Q_{1C}$  – теплонадходження від сонячного опромінення зовнішніх огорожень, Вт.

*7.7.1. Теплонадходження від різниці температур зовні та всередині.*  
Основним джерелом теплоти, що проникає в охолоджувані об'єкти через їхні огороження, є теплонадходження  $Q_{1T}$ , що залежить від різниці між температурами зовнішнього навколишнього середовища та усередині камери (апарату).

Ще одним джерелом зовнішніх теплонадходжень може бути геотермічний тепловий потік, що проникає в охолоджувані об'єкти, які стоять на ґрунті і не мають захисту від його промерзання. Величина цього теплового потоку невелика.

Як видно з рис. 7.1, щільність глибинного теплового потоку на поверхні земної кулі змінюється в межах 0,03...0,10 Вт/м<sup>2</sup>. З рис. 7.1 видно, що територія України розташовується між ізолініями щільності глибинного теплового потоку 0,05...0,06 Вт/м<sup>2</sup>.

Наявність геотермічного теплового потоку враховують при розрахунку теплонадходжень від різниці температур через підлоги холодильників, що необігріваються.



**Рисунок 7.1 – Розподіл ізоліній глибинного теплового потоку по поверхні земної кулі (у міліватах на квадратний метр)**



Розрахунок теплонадходжень через кожне огороження споживача холоду (крім підлог, що необігріваються розташованих на ґрунті) проводять за формулою

$$Q_{1T} = k \cdot F \cdot (t_{306} - t_{6H}), \quad (7.26)$$

де  $k$  – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі для даного огороження, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $F$  – площа поверхні даного огороження, м;  
 $t_{306}$  – температура зовнішнього середовища або сусіднього, більш теплого приміщення, °С;  
 $t_{6H}$  – температура всередині охолоджуваного об'єкта, °С.

Розміри огорожень камер холодильників, необхідні для обчислення  $F$ , прийнято визначати в такий спосіб:

– довжину зовнішніх стін вимірюють між осями внутрішніх стін (перегородок), а для кутових камер – від зовнішньої поверхні до осі внутрішніх стін; для однокамерних об'єктів використовують довжини стін, обмірювані по їхній зовнішній поверхні;

– довжину внутрішніх стін, а також довжину і ширину підлог і стель камер вимірюють між осями внутрішніх стін або від внутрішньої поверхні зовнішніх стін до осі внутрішніх; для однокамерних об'єктів використовують внутрішні довжини стін;

– висоту стін камер проміжних поверхів і перших поверхів, розташованих на ґрунті, вимірюють від рівня чистої підлоги даного поверху до рівня чистої підлоги вище розташованого;

– висоту стін одноповерхових холодильників без підвалів, а також верхніх поверхів багатопверхових, вимірюють від рівня чистої підлоги поверху до верха засипання покриття, а в першому поверсі, розташованому над неохолоджуваним підвалом – від рівня стелі підвалу до рівня чистої підлоги другого поверху або верха засипання покриття.

У якості  $t_{306}$  для камерних зовнішніх огорожень, які піддаються атмосферним впливам, або що граничать з опалювальними приміщеннями, які не мають кондиціонування повітря, приймають літню розрахункову температуру зовнішнього повітря. Значення цих температур для міст України наведено в додатку 15.

Для інших населених пунктів значення  $t_{306}$  можна визначити, як середньозважену величину

$$t_{306} = 0,4 \cdot t_{cp} + 0,6 \cdot t_{a.макс}, \quad (7.27)$$

де  $t_{cp}$  – середньомісячна температура в 13 годин самого жаркого місяця року, °С;

$t_{a.макс}$  – температура абсолютного максимуму для населеного пункту, °С.  
Значення  $t_{cp}$  і  $t_{a.макс}$  знаходять у кліматологічних довідниках.

Розрахункові різниці температур для стін і перегородок, що відокремлюють холодильні камери від неохолоджуваних, але неопалюваних приміщень, приблизно приймають у відсотках від розрахункової різниці температур ( $t_{зов}-t_{вн}$ ) у такий спосіб: для приміщень, що стикаються з зовнішнім повітрям (коридори, тамбури, вестибулі) – 70 %, для приміщень, що не стикаються з зовнішнім повітрям – 60 %. При необхідності температуру неохолоджуваного приміщення можна визначити, склавши для нього рівняння теплового балансу.

При розрахунку теплонадходжень через огороження холодильної камери прийнято не враховувати втрати теплоти через стіни, підлоги і стелі, що межують з камерами, у яких підтримуються більш низькі температури. Цим передбачається можливість тимчасового відключення більш холодних камер з роботи.

Якщо технологічна температура в камері задається у визначених межах, наприклад, для охолоджених продуктів  $t_k = -1...4$  °С, то при розрахунку теплонадходжень приймають нижнє значення температурного інтервалу, а у випадку розрахунку опалення (зимовий період) – верхнє.

7.7.2. *Теплонадходження від сонячного випромінювання.* Джерелом зовнішніх теплонадходжень може бути пряме сонячне опромінення охолоджуваного об'єкта.

Опромінення сонцем зовнішніх поверхонь стін і покриття камер холодильника приводить до підвищення температури зовнішньої поверхні огорожень до значень вище температури навколишнього повітря  $t_{н.нов}$  на величину  $\Delta t_c$ . Унаслідок цього в охолоджуваний об'єкт проникають теплонадходження  $Q_{1C}$ , які отримали назву теплонадходження від сонячного випромінювання (сонячної радіації)

$$Q_{1C} = k \cdot F \cdot \Delta t_c, \quad (7.28)$$

де  $\Delta t_c$  – надлишкова різниця температур від впливу прямого сонячного випромінювання на дане огороження, °С.

Частина сонячної теплоти, що надійшла на поверхню огорожень, видаляється конвективним шляхом до навколишнього повітря.

Кількість поглиненої теплоти сонячного випромінювання залежить від кольору і ступеня шорсткості поверхні, що опромінюється сонцем.

Надлишкову різницю температур від дії прямого сонячного випромінювання розраховують за допомогою відомої залежності

$$\Delta t_c = p \cdot \frac{q_c \cdot \varepsilon_c}{\alpha_n}, \quad (7.29)$$

де  $p$  – коефіцієнт проникності, що залежить від масивності огороження, що опромінюється сонцем;

$q_c$  – розрахункова напруга сонячного випромінювання для літнього періоду, Вт/м<sup>2</sup>;

$\varepsilon_c$  – коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання поверхнею огороження;

$\alpha_n$  – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні огороження в навколишній простір, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Нижче буде показано, як знайти чисельні значення цих параметрів.

Поняття масивності огорожень визначено в курсах будівельної теплофізики. Якщо потік проникаючої теплоти нестационарний у часі, то чим більше масивність огороження, тим більша кількість теплоти, що проникнула ( $Q_{1c}$ ), залишається в огороженні і витрачається на його нагрівання. Класичні ізоляційно-будівельні конструкції огорожень холодильників відносяться до масивних, для них  $p = 0,75$ . Огороження холодильних споруджень з панелей типу «сендвіч» відносяться до легких, для них  $p = 1$ .

Значення  $\alpha_n$  можна обчислити в залежності від швидкості повітря  $w$  біля зовнішньої поверхні огороження

$$\alpha_n = 2,3 + 11,6\sqrt{w}, \quad (7.30)$$

де  $w$  – швидкість повітря біля зовнішньої поверхні огороження, м/с.

Напруга сонячного випромінювання  $q_c$  – це потік падаючого випромінювання сонця, віднесений до 1 м<sup>2</sup> площі на рівні земної поверхні.

Величина  $q_c$  залежить від географічної широти місцевості, від орієнтації поверхні стосовно сторін світу і від кута нахилу поверхні до обрію. Розрахункові значення  $q_c$  наведено в табл. 7.6.

Таблиця 7.6

**Розрахункові напруги сонячного випромінювання  
для літнього періоду  $q_c$ , Вт/м<sup>2</sup>**

Географічна широта (північна)	Горизонтальна плоска покрівля	Орієнтація стін за сторонами світу							
		Пд	Пд-Сх	Пд-З	Сх	З	Пн-Сх	Пн-З	Пн
60°	640	465	419	477	465	558	244	267	0
50°	789	384	346	394	384	461	201	220	0
40°	903	279	251	286	279	335	146	160	0

Значення коефіцієнтів поглинання сонячного випромінювання наведено в табл. 7.7.

Таблиця 7.7

**Коефіцієнти поглинання сонячного випромінювання різними матеріалами**

Матеріал поверхні	$\varepsilon_c$	Матеріал поверхні	$\varepsilon_c$
Алюміній полірований	0,26	Фарба: сурик сріблянка	0,90 0,45
Асфальт	0,89	Мідь: полірована тьмяна	0,20 0,64
Бетон	0,65	Оцинковане залізо: нове старе, брудне	0,65 0,89
Бітум (гудрон)	0,90	Толь	0,91
Папір білий	0,27	Вапняна побілка	0,40
Земляне засипання на покрівлі	0,80	Руберойд: світлий темний	0,72 0,86
Цегла: червона глазурована біла	0,70...0,77 0,26	Штукатурка: світла на темному піску	0,40 0,57
Фарба: біла сіра чорна	0,12...0,40 0,70 0,90...0,99	Черепиця червона і коричнева	0,65...0,74

Залежність (7.29) використовують для обчислення надлишкової різниці температур  $\Delta t_c$  для стін і безгорищних покрівель охолоджуваних об'єктів.

Для розрахунку теплонадходжень через горищні перекриття холодильних споруджень користуються орієнтованими значеннями надлишкової різниці температур,  $\Delta t_c$  збільшується від 5 К до 15 К при зниженні географічної широти від 60° до 40°.

При розрахунку  $Q_{1c}$  враховують теплонадходження від сонячного випромінювання, що проникають в охолоджуваній об'єкт через покрівлю й одну зі стін, біля якої добуток  $F \cdot \Delta t_c$  найбільший.

7.7.3. Теплонадходження через підлогу, що розташована на ґрунті. Теплонадходження, що надходить в охолоджуваній об'єкт через підлогу, яка розташована на ґрунті ( $Q_{1п}$ ), розраховують у залежності від конструкції підлоги. Якщо під ізоляційними шарами підлоги є система обігріву, що запобігає промерзанню ґрунту, то

$$Q_{1П} = k'F(t_n - t_{вн}), \quad (7.31)$$

де  $k'$  – коефіцієнт теплопередачі для підлоги, що враховує всі термічні опори, які є між шаром, що обігривається і повітрям охолодженого приміщення, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$t_n$  – температура шару, що обігривається, залежно від способу обігріву. При електрообігріванні, або обігріві за принципом теплової труби  $t_n = 1$  °С, при рідинному обігріві  $t_n = 3$  °С, при повітряному –  $t_n = 10$  °С;  
 $t_{вн}$  – температура всередині охолодженого об'єкта, °С.

Ураховуючи, що теплонадходження через підлогу постійно надходять в охолоджуваній об'єкт навіть у холодний час року, значення  $k'$  доцільно приймати рівним значенню коефіцієнта теплопередачі для зовнішніх стін.

Основне теплонадходження, що проникає в охолоджуваній об'єкт, який безпосередньо розташовано на ґрунті, через підлогу що не обігривається, виникає через різницю температур ( $t_{зов} - t_{вн}$ ). Передача теплоти від зовнішнього повітря йде через ґрунт за кривими, що близькі до дуг окружностей. При цьому кількість теплоти, що надходить у холодильну камеру через підлогу, що не обігривається, зворотно пропорційна квадратові відстані від зовнішньої стіни.

Геотермічний тепловий потік через підлогу враховується лише на відстані від зовнішніх стін не менше 6 м.

Для спрощення розрахунку спільного теплонадходження  $Q_{1П}$  через підлогу, що не обігривається, усю площу підлоги охолоджуваного об'єкта поділяють на 4 концентричні зони. У межах кожної з них тепловий потік вважають постійним.

Перша зона являє собою замкнуту смугу підлоги шириною 2 м, що примикає до зовнішніх стін охолоджуваного об'єкта. За нею ідуть зони друга і третя, шириною кожна в 2 м. Четвертою зоною є частина підлоги, що залишилася у центрі охолоджуваного об'єкта, найбільш віддалена від зовнішніх стін.

Для кожної зони неізольованої підлоги було визначене значення умовного коефіцієнта теплопередачі ( $k_{ум}$ , див. табл. 7.8), віднесеного до різниці температур ( $t_{зов} - t_{вн}$ ).

Таблиця 7.8

**Умовні коефіцієнти теплопередачі для неізольованої підлоги, що розташована на ґрунті**

Зона підлоги	1	2	3	4
Умовний коефіцієнт теплопередачі $k_{ум}$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)	0,48	0,24	0,12	0,07

Тоді теплоприплив  $Q_{1П}$  через неізольовану підлогу, що лежить на ґрунті, можливо обчислити підсумовуванням теплових потоків для кожної зони підлоги:

$$Q_{1П} = (t_{зов} - t_{вн}) \sum_{i=1}^4 (k_{ум})_i F_i, \quad (7.32)$$

де  $F_i$  – площі відповідних зон підлоги охолоджуваного об'єкта, м<sup>2</sup>.

Для компенсації збільшення щільності теплового потоку через підлогу у кутах, утворених зовнішніми стінами, площу підлоги першої зони умовно збільшують на 4 м<sup>2</sup> для кожного зовнішнього кута охолоджуваного об'єкта.

Як видно з табл. 7.8, чисельне значення  $k_{ум}$  для першої зони високе. Тому, для зменшення теплонадходжень, підлоги камер у межах першої зони (і, частково, – другої) ізолюють.

Задаючись необхідним коефіцієнтом теплопередачі ( $k_{ум.із}$ ) у межах заданої зони підлоги і коефіцієнтом теплопровідності ізоляційного матеріалу ( $\lambda_{із}$ ) можна знайти потрібну для неї товщину ізоляційного шару ( $\delta_{із}$ ):

$$\delta_{із} = \left( \frac{1}{k_{ум.із}} - \frac{1}{k_{ум}} \right) \cdot \lambda_{із}. \quad (7.33)$$

Розрахунок теплонадходжень через частково ізольовану підлогу ведуть за формулою (7.32), у яку підставляють значення  $k_{ум.із}$  для зон підлоги, що мають теплову ізоляцію.

Слід зазначити, що якщо охолоджуваний об'єкт із підлогами, що не обігріваються, наприклад, одноповерховий холодильник, має кілька камер, то при розрахунку теплонадходжень через підлогу для окремих камер враховуються площі ділянок зон, що виявилися в межах кожної камери.

Підлоги невеликих за розмірами охолоджуваних об'єктів можуть цілком розташовуватися в межах першої і другої зон, а іноді – тільки в першій. У таких випадках підлоги теплоізолюють по всій площі. Теплонадходження через заглиблені ділянки стін підвальних охолоджуваних приміщень визначають як для підлог, розташованих на ґрунті, а відповідні зони відраховують від поверхні землі донизу по стінах і далі по підлозі підвалу.

## 7.8. Розрахунок теплонадходження від вантажів під час їх холодильної обробки

Розрізняють два види холодильної обробки вантажів: охолодження і заморожування.

Якщо вантаж не містить вологи, то його можна остудити до досить низьких температур. Продукти, що містять вологу, наприклад, харчові

продукти, можна остудити до кріоскопічної температури, після чого відбувається їхнє заморожування, що супроводжується перетворенням рідкої фази в лід. Повне виморожування вологи в продуктах досягається лише при – 55...60 °С. Окремий випадок заморожування – доморожування, при якому температуру замороженого продукту, що надходить у камеру, знижують до температури зберігання.

При усіх видах холодильної обробки вантажів, теплонадходження можна розрахувати за формулою:

$$Q_2 = \frac{G \cdot (i_{ноч} - i_{кін})}{0,0864} \cdot \frac{\tau_{ц}}{\tau_p}, \quad (7.34)$$

де  $G$  – добове надходження вантажу на холодильну обробку, т/добу;  
 $i_{ноч}$  – ентальпія вантажу, кДж/кг, що надходить на холодильну обробку, при початковій температурі  $t_{ноч}$ ;  
 $i_{кін}$  – ентальпія вантажу, кДж/кг при середній по його об'єму кінцевій температурі  $t_{кін}$ ;  
 $\tau_{ц}$  – тривалість циклу холодильної обробки, з урахуванням завантаження і вивантаження продукту, годин;  
 $\tau_p$  – тривалість робочого періоду, годин, тобто фактичний час, протягом якого споживається холод. Для пристроїв холодильної обробки безперервної дії  $\tau_p = \tau_{ц}$ .

Температуру охолоджених продуктів, що надходять у камери зберігання у промислових багатоцільових холодильників, приймають рівною 5...6 °С.

Температуру продуктів, що надходять у холодильники і плодоовочесховища без попереднього охолодження, приймають на 5...8 °С нижче літньої розрахункової температури зовнішнього повітря.

Температуру плодів і овочів, що надходять у плодоовочесховища з рефрижераторів, приймають рівною 8 °С.

Температуру продуктів, що надходять у камери доморожування, приймають рівною мінус 6 °С, а в камери зберігання заморожених продуктів – мінус 8...10 °С. Температуру вантажів наприкінці холодильної обробки приймають рівною температурі зберігання.

Значення ентальпій деяких харчових продуктів за різних температур наведено в додатку 17.

Добове надходження вантажу на холодильну обробку в камери зберігання приймають у відсотках від місткості камер:

- для промислових багатоцільових холодильників: 8 % – для камер, місткістю не більш 200 т, 6 % – для камер, місткість яких перевищує 200 т;
- для перевалочних холодильників – 20 %;
- для плодоовочесховищ – 7...10 %;
- для камер з регульованим газовим середовищем – 10...20 %;

– для підприємств торгівлі і ресторанного бізнесу – 100 % при 1–2 – добовому зберіганні продуктів, 50 % – при 3–4 – добовому зберіганні, 30 % – при зберіганні продуктів понад 4 доби.

Якщо охолоджуються або заморожуються харчові продукти, що перебувають в тарі, то обчислюють додаткове теплонадходження  $Q_{2T}$  при охолодженні тари від температури  $t_{ноч}$  до  $t_{кін}$ .

$$Q_{2T} = \frac{G_m \cdot (c_{ноч} t_{ноч} - c_{кін} t_{кін})}{0,0864} \cdot \frac{\tau_u}{\tau_p}, \quad (7.35)$$

де  $G_m$  – добове надходження тари на холодильну обробку, т/добу;  
 $c_{ноч}$  і  $c_{кін}$  – питомі теплоємності тари, кДж/(кг·К), відповідно при температурах  $t_{ноч}$  і  $t_{кін}$ .

Величину  $G_m$  приймають рівною: для дерев'яної і сталеві тари – 20 %, для картонної – 10 %, для скляної – 100 % від добового надходження продуктів.

Питома теплоємність дерев'яної тари дорівнює 2,5 кДж/(кг·К), картонної – 1,46 кДж/(кг·К), сталеві – 0,46 кДж/(кг·К) і скляної – 0,85 кДж/(кг·К).

Теплонадходження  $Q_{2T}$  підсумовують з теплонадходженням  $Q_2$ , обчисленим за допомогою вираження (7.34).

### 7.9. Розрахунок теплонадходження із зовнішнім повітрям під час вентиляції охолоджуваних приміщень

Вентиляцію охолоджуваних приміщень застосовують:

- для видалення продуктів подиху охолоджених плодів і овочів при їхнім зберіганні в камерах промислових і комерційних холодильників;
- для усунення запахів або видалення шкідливих виділень у камерах зберігання відходів, у деяких випробувальних камерах та ін.;
- для видалення продуктів подиху людей, що постійно працюють в охолоджуваних виробничих приміщеннях.

У перших двох випадках теплонадходження  $Q_3$  при вентиляції камер визначають у такий спосіб:

$$Q_3 = \frac{V_{буд} \cdot a \cdot \rho_k \cdot (i_{зов} - i_{вн})}{3,6 \cdot \tau}, \quad (7.36)$$

де  $V_{буд}$  – будівельний об'єм вентиляваного приміщення, м<sup>3</sup>;  
 $a$  – кратність повітрообміну на добу, 1/добу;  
 $\rho_k$  – густина повітря при температурі і відносній вологості охолоджуваного приміщення, кг/м<sup>3</sup>;  
 $i_{зов}$  – ентальпія зовнішнього повітря при розрахунковій температурі і відповідній відносній вологості, кДж/кг;



$i_{вн}$  – ентальпія повітря при температурі і відносній вологості в охолоджуваному приміщенні, кДж/кг;

$\tau$  – щодобовий інтервал часу, протягом якого роблять вентиляцію камери, годин.

При безперервному вентилюванні холодильної камери  $\tau = 24$  години.

Звичайно кратність повітрообміну  $a = 3 \dots 4$ , для камер зберігання плодів і овочів визначається технологією зберігання і перебуває в межах  $1 \dots 6$ . Для камер схову харчових відходів  $a = 10$ .

Теплонадходження  $Q_3$  при вентиляції охолоджуваних виробничих приміщень визначають відповідно до санітарної норми подачі зовнішнього повітря з розрахунку  $20 \text{ м}^3/\text{год}$  на одну людину. При числі  $n$  одночасно і постійно працюючих людей

$$Q_3 = \frac{20 \cdot n \cdot \rho_k (i_{зов} - i_{вн})}{3,6}. \quad (7.37)$$

Теплонадходження  $Q_3$  можна значно зменшити при використанні теплообмінників, у яких зовнішнє повітря, що надходить, охолоджується за рахунок підігріву повітря, що видаляється з охолоджуваного приміщення. У цьому випадку при розрахунку  $Q_3$  за формулами (7.36) або (7.37), замість ентальпії  $i_{зов}$  варто підставляти ентальпію  $i'_{зов}$  охолодженого зовнішнього повітря на виході з теплообмінника. Величину  $i'_{зов}$  визначають з теплового балансу теплообмінника.

#### 7.10. Розрахунок експлуатаційного теплонадходження від різних джерел

До експлуатаційних відносять теплонадходження різних за походженням джерел теплоти, що виникають при експлуатації охолоджуваних приміщень.

Якщо у великих споживачів холоду, таких як промислові холодильники, частка експлуатаційних теплонадходжень складає  $10 \dots 20$  % від сумарних, то для малих холодильних камер вони можуть досягати  $50$  %, а в спеціальних пристроях, таких як випробувальні термокамери, можуть перевищувати всі інші теплонадходження.

Найбільш розповсюдженими джерелами експлуатаційних теплонадходжень є: електричні світильники, що перебувають в охолоджуваних об'єктах; холодильне і механічне обладнання з електричним приводом; люди, що працюють в охолоджуваних приміщеннях; зовнішнє повітря, що проникає усередину камер при відкриванні дверей і люків; теплота, що виділяється при відтаванні інею з поверхні охолоджуючих приладів.

Джерелом експлуатаційних теплонадходжень є також: зволожувачі повітря холодильних камер; газова суміш, яка подається в холодильні камери з регульованим газовим середовищем; процеси наморозування льоду в

низькотемпературних камерах із крижаними екранами та укриттями; апарати, що функціонують в охолоджуваних випробувальних камерах та ін.

Розглянемо методи розрахунку експлуатаційних теплонадходжень, які на практиці зустрічаються найчастіше.

*7.10.1. Теплонадходження від електричного освітлення.* Це теплонадходження залежить від призначення охолоджуваного об'єкта. При проектуванні холодильників користуються питомими нормами потужності світильників загального освітлення, що становлять для складських приміщень  $q_4' = 3$  Вт на  $1 \text{ м}^2$  будівельної площі, а для виробничих приміщень  $q_4' = 7,5$  Вт/м<sup>2</sup>. Для зменшення витрати електроенергії на освітлення великих холодильних камер їх поділяють на 2...3 зони, забезпечуючи світильники кожної з зон окремими вимикачами. У таких випадках у розрахунку використовують коефіцієнт одночасності роботи світильників  $j_{cv}$ . Якщо в камері є 3 зони освітлення, то  $j_{cv} = 0,33$ , а при двох зонах  $j_{cv} = 0,67$ ; при одночасному вмиканні усіх світильників  $j_{cv} = 1$ . Тоді теплонадходження від електричного освітлення

$$Q_4' = q_4' j_{cv} \cdot F_{б\text{уд}}, \quad (7.38)$$

де  $Q_4'$  – теплонадходження від електричного освітлення, Вт;  
 $q_4'$  – питомі норми потужності світильників загального освітлення, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $j_{cv}$  – коефіцієнт одночасності роботи світильників;  
 $F_{б\text{уд}}$  – будівельна площа охолоджуваного приміщення, м<sup>2</sup>.

Для малих холодильних камер, а також торговельного холодильного обладнання з постійним електричним підсвічуванням, величина  $Q_4'$  дорівнює потужності встановлюваної в них електричної лампи.

*7.10.2. Теплонадходження від електричних двигунів.* В охолоджуваних приміщеннях можуть бути встановлені повітроохолоджувачі, системи повітророзподілу, транспортери з електричним приводом, а в охолоджуваних апаратах можуть бути встановлені насоси, вентилятори, мішалки, конвеєри та інші машини і механізми, що приводяться в рух від електродвигунів. Сумарне теплонадходження від них позначають як  $Q_4''$ .

Якщо електродвигун розташований усередині охолоджуваного об'єкта, то вся споживана їм електрична потужність  $N_e$  враховується в розрахунку теплонадходження  $Q_4''$ , тобто  $N_{\text{дв}} = N_e$ .

При розташуванні електродвигуна поза охолоджуваним об'єктом, у розрахунку  $Q_4''$  враховується лише його корисна потужність, рівна  $N_e \cdot \eta_{\text{дв}}$ , де  $\eta_{\text{дв}}$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, тобто розрахункова потужність  $N_{\text{дв}} = N_e \cdot \eta_{\text{дв}}$ .

Якщо в охолоджуваному об'єкті є кілька електродвигунів або пристроїв, що одержують від них енергію, то

$$Q_4'' = 1000 \cdot j_{\partial\partial} \cdot \sum N_{\partial\partial}, \quad (7.39)$$

де  $Q_4''$  – теплонадходження від електричних двигунів, Вт;  
 $j_{\partial\partial}$  – коефіцієнт одночасності роботи обладнання з електродвигунами  
 $(j_{\partial\partial}=0,4\dots1,0)$ ;  
 $N_{\partial\partial}$  – розрахункова потужність електродвигуна, кВт.

Якщо розрахунок теплонадходжень проводять при проектуванні охолоджуваного об'єкта, то на цьому етапі роботи ще не відомі потужності електродвигунів обладнання, що буде встановлено усередині об'єкта. У цьому випадку можна орієнтовно розрахувати величину  $\sum N_{\partial\partial}$  для холодильних камер з повітряним охолодженням:

$$\sum N_{\partial\partial} = 1,2 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) \cdot m, \quad (7.40)$$

де  $(Q_1 + Q_2 + Q_3)$  – сума розрахованих теплонадходжень для даної камери;  
 $m$  – коефіцієнт, обумовлений як відношення потужності електродвигуна до холодопродуктивності повітроохолоджувача;  $m = 0,06\dots0,08$  для камер схову з повітряним охолодженням;  $m = 0,17\dots0,23$  для камер холодильної обробки продуктів;  $m = 0,12\dots0,17$  для малих холодильних камер підприємств торгівлі та ресторанного бізнесу.

Коефіцієнт корисної дії асинхронних електродвигунів потужністю 1...40 кВт при навантаженнях не менш 75 % можна орієнтовно визначити за формулою

$$\eta_{\partial\partial} = 0,75 + 0,043 \cdot \ln N_e, \quad (7.41)$$

де  $N_e$  – електрична потужність двигуна, кВт.

*7.10.3. Теплонадходження від працівників.* Це теплонадходження, що позначається як  $Q_4'''$ , залежить від числа людей  $n$ , що працюють в охолоджуваному приміщенні, від інтенсивності їхньої роботи і від температури повітря  $t_k$  у даному приміщенні.

$$Q_4''' = q_4''' \cdot n, \quad (7.42)$$

де  $Q_4'''$  – теплонадходження від працюючих людей, Вт;  
 $q_4'''$  – тепловиділення однієї працюючої людини, Вт;  
 $n$  – кількість працюючих людей, кількість працюючих у камерах холодильників приймають:  $n = 2\dots3$  при  $F_{\partial y\partial} \leq 200 \text{ м}^2$ ;  $n = 3\dots4$  при  $F_{\partial y\partial} > 200 \text{ м}^2$ .

Тепловиділення однієї працюючої людини при роботі середньої тяжкості

$$q_4''' = 270 - 6 \cdot t_k. \quad (7.43)$$

7.10.4. *Теплонадходження при відкриванні дверей.* При відкриванні дверей камер холодильників відбувається повітрообмін із суміжними приміщеннями, що мають більш високу температуру. Він супроводжується значними теплонадходженнями в камери. Ще більше теплоти проникає через відкриті двері малих холодильних камер, встановлених в опалювальних приміщеннях.

Втрати холоду через відкриті двері охолоджуваних приміщень залежать від кількості дверей, їхньої площі і висоти, а також від частоти, тривалості їхнього відкриття і різниці температур повітря з обох боків дверей. На теперішній час відсутній досить точний метод розрахунку цих теплонадходжень.

Проектні організації для орієнтованого розрахунку теплонадходжень при відкриванні дверей камер холодильників використовують норми втрат холоду, що підтверджені практикою. Вони являють собою питомі теплонадходження, віднесені до 1 м<sup>2</sup> підлоги камери, і тому залежні не тільки від призначення камер, але і від їхньої будівельної площі і висоти.

Норми, розроблені інститутом ДІПРОХОЛОД для холодильних камер висотою 3,6 м, наведено в табл. 7.9.

Для камер більшої висоти рекомендується збільшувати значення  $B$  пропорційно висоті камери. Значення  $B$  для спеціалізованих охолоджуваних приміщень м'ясопереробних підприємств можна знайти в довідковій літературі.

Отже, теплонадходження при відкриванні дверей

$$Q_4'''' = B \cdot F_{б\text{уд}}. \quad (7.44)$$

де  $Q_4''''$  – теплонадходження при відкриванні дверей, Вт;

$B$  – питома витрата холоду при відкриванні дверей, Вт/м<sup>2</sup>.

$F_{б\text{уд}}$  – будівельна площа охолоджуваного приміщення, м<sup>2</sup>.

Таблиця 7.9

**Питома витрата холоду  $B$  при відкриванні дверей, Вт/м<sup>2</sup>**

Призначення приміщень	Площа приміщення, м <sup>2</sup>		
	менше 50	50...150	більше 150
Камери схову заморожених продуктів	13	7	5
Камери схову охолоджених продуктів	17	9	7
Камери охолодження	14	7	6
Камери заморожування	19	9	–
Експедиції	47	23	12

Теплонадходження при відкриванні дверей портових холодильників набагато більше, ніж значення  $Q_4'''$ , розраховані за формулою (7.44). Дослідження теплового балансу таких холодильників, проведене С.Н. Аршанским та ін., дозволило встановити, що втрати холоду через двері при великому вантажообігу, навіть у випадку встановлення теплових завіс, у середньому по всьому холодильнику досягають 50 % від втрат холоду через стіни.

Л.Г. Каплан пропонує розраховувати теплонадходження при відкриванні дверей для холодильних камер підприємств торгівлі і ресторанного бізнесу за формулою (7.36) (при підстановці в неї  $\tau = 24$  год) і наводить докладні таблиці залежності кратності повітрообміну  $a$  від внутрішнього об'єму  $V$  для холодильних камер з величиною  $V = 2,5 \dots 200 \text{ м}^3$ . Інтерполяція цих табличних даних дозволила одержати розрахункові залежності кратності повітрообміну для камер з температурою вище  $0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$a_m = \frac{11,7}{V^{0,56}}, \quad (7.45)$$

для камер з температурою нижче  $0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$a_x = 0,75 \cdot a_m. \quad (7.46)$$

### 7.11. Розрахунок теплонадходження від дихання плодів і овочів

Інтенсивність тепловиділень при подиху різних плодів і овочів залежить від їхнього виду і температури, причому залежність кількості теплоти, що виділяється, від температури має експонентний характер

$$q_t = q_o \cdot e^{b \cdot t}, \quad (7.47)$$

де  $t$  – температура плодів і овочів,  $^\circ\text{C}$ ;

$q_t$  і  $q_o$  – питомі тепловиділення плодів і овочів при температурах  $t$  і  $0^\circ\text{C}$ ;

$b$  – температурний коефіцієнт швидкості подиху,  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

Числові значення величин  $q_o$  і  $b$ , отримані І.Г. Алямовським, для температур від криоскопічної до  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  наведені в табл. 7.10.

Теплонадходження від подиху плодів і овочів  $Q_5$  визначають з урахуванням того, що в камеру завантажують плоди або овочі, які потребують охолодження до температури зберігання:

$$Q_5 = q_5' \cdot G_n + q_5'' (G - G_n), \quad (7.48)$$

де  $Q_5$  – теплонадходження від подиху плодів і овочів, Вт;  
 $q_5'$  – питомі тепловиділення плодів і овочів при температурі їхнього надходження в камеру, Вт/т;  
 $q_5''$  – питомі тепловиділення плодів і овочів при температурі зберігання, Вт/т;  
 $G_n$  – максимальне одноразове надходження плодів і овочів у камеру, т;  
 $G$  – місткість камери, т.

Таблиця 7.10

**Значення  $q_0$  і  $b$  для температур від криоскопічної до 40 °С**

Плоди	$q_0$ , Вт/т	$b$ , °С <sup>-1</sup>	Овочі	$q_0$ , Вт/т	$b$ , °С <sup>-1</sup>
Апельсини	10,6	0,0733	Боби	72,3	0,1023
Банани:			Бруква	18,0	0,0840
спілі	21,3	0,0782	Горошок зелений	113,3	0,0852
зелені	18,1	0,0805	Гриби печериці	81,0	0,1056
Виноград:			Капуста:		
американських			білокачанна	14,5	0,0778
сортів	8,8	0,1003	цвітна	47,5	0,1004
європейських			Картопля	10,0	0,0617
сортів	13,8	0,1277	Кукурудза в		
Вишня	17,3	0,1338	початках		
Грейпфрут	7,4	0,0724	столова	85,1	0,0884
Груші:			Цибуля:		
Бартлетт	9,5	0,1675	ріпчаста	11,1	0,0668
Рояль	15,7	0,0597	зелена	55,6	0,1000
Дині	15,2	0,1215	порей	41,4	0,1331
Ожина	62,0	0,1230	Морква	13,5	0,1319
Суниця	45,0	0,0942	Огірки	19,7	0,1187
Журавлина	8,0	0,0605	Перець солодкий	36,8	0,0688
Лимони	11,2	0,0718	Помідори:		
Малина	74,0	0,1345	зелені	6,9	0,1531
Персики	23,6	0,1139	червоні	11,1	0,1144
Сливи	18,8	0,1149	Буряк червоний	19,5	0,0717
Смородина			Селера	20,0	0,1014
чорна	27,5	0,1903	Шпинат	56,1	0,1346
Яблука	12,1	0,0932			

Значення  $q_5'$  і  $q_5''$  можна обчислити за формулою (7.47), або використовувати дані таблиць питомих тепловиділень плодів і овочів, що маються в довідковій літературі.

Величина  $G_n$  у формулі (7.48) повинна дорівнювати величині  $G_n$ , що використовується в розрахунку теплонадходжень при охолодженні плодів і овочів для даної камери.

## 7.12. Визначення теплового навантаження і підбір холодильного обладнання

Охолоджувальні прилади холодильних камер і технологічних апаратів підбирають за максимальними теплонадходженнями для даного приміщення, або апарату.

Теплове навантаження для розрахунку і добору батарей, повітроохолоджувачів камер зберігання або морозильних і ін. апаратів безперервної дії визначають підсумовуванням теплонадходжень, обчислених для кожного охолоджуваного об'єкта за формулою (7.24).

При визначенні теплового навантаження на охолоджувальні прилади камер холодильної обробки і холодильно-технологічних апаратів періодичної дії необхідно враховувати нестационарність процесів теплообміну, що протікають у них.

Наприклад, у камерах заморожування продуктів теплове навантаження повітроохолоджувачів на початку циклу холодильної обробки значно перевищує середнє теплове навантаження за цикл.

Однак розрахунок теплонадходжень  $Q_2$  при холодильній обробці за формулою (7.34) не враховує нестационарності процесу відведення теплоти від продукту і дозволяє знайти лише середні за цикл заморожування значення  $Q_2$ . Тому площа поверхні, що передає теплоту, повітроохолоджувача, розрахована виходячи із середнього теплового навантаження, буде недостатньою. Це призведе до значного підвищення температури повітря в початковій стадії відведення теплоти від продукту і до збільшення загального часу заморожування в порівнянні з розрахунковим.

Нестационарність тепловідведення в камерах і апаратах холодильної обробки періодичної дії враховують збільшенням теплового навантаження повітроохолоджувача. На практиці, при проектуванні камер холодильної обробки продуктів, теплонадходження  $Q_2$ , що розраховано за формулою (7.34), збільшують на 30 %.

Теплове навантаження випарників для охолодження рідких холодоносіїв складається з теплонадходжень, що надходять до холодоносія в охолоджуваних об'єктах, теплонадходжень від роботи сил тертя при циркуляції холодоносія між випарником і охолоджуваними об'єктами і зовнішніх теплонадходжень крізь ізоляцію випарника, трубопроводів, насосів, що перекачують, арматури і допоміжних пристроїв системи циркуляції холодоносія.

Приблизно теплове навантаження випарника визначають як

$$Q_{en} = (1,1 \dots 1,2) \sum Q_0, \quad (7.49)$$

де  $\sum Q_0$  – сума теплових навантажень холодильного обладнання усіх споживачів холоду, що використовують проміжний холодоносій, Вт.

При необхідності більш точного визначення величини  $Q_{en}$ , обчислюють  $\Sigma Q_0$ , потім розраховують всі інші надходження теплоти до холодоносія і підсумовують їх.

### 7.13. Розрахункове теплове навантаження компресорів

Теплове навантаження необхідно знати для розрахунку циклу холодильної машини і добору компресорів. Метод визначення його значною мірою залежить від призначення холодильної установки, числа споживачів холоду і прийнятої системи їхнього холодопостачання.

Найпростіше можна визначити теплове навантаження для добору компресорів холодильних установок з одним споживачем холоду. До них відносяться промислові і комерційні однокамерні холодильники, охолоджувані контейнери, авторефрижератори, залізничні вагони і секції з машинним охолодженням, торговельне і побутове холодильне обладнання, автономні установки для холодильної обробки продуктів, матеріалів і виробів.

До цієї групи відносяться багатоканальні холодильники з децентралізованою системою холодопостачання.

У холодильних установках з одним споживачем холоду розрахункове теплове навантаження  $Q_{pk}$  для добору компресорів визначають за розрахунковим тепловим навантаженням охолоджувальних приладів  $Q_0$ , що обчислене за формулою (7.24) з урахуванням втрат холоду при його транспортуванні і коефіцієнта робочого часу компресорів у період максимального теплового навантаження

$$Q_{pk} = \frac{\varepsilon_n}{b_k} \cdot Q_0, \quad (7.50)$$

де  $b_k$  – коефіцієнт робочого часу компресорів; для великих компресорів  $b_k=0,85\dots0,9$ ; для малих автоматизованих агрегатів  $b_k = 0,6\dots0,8$ ;  
 $\varepsilon_n$  – коефіцієнт втрат при транспортуванні холоду; для великих систем безпосереднього кипіння холодильного агенту  $\varepsilon_n = 1,05\dots1,07$ ; для систем із проміжним теплоносієм  $\varepsilon_n = 1,1\dots1,2$ .

Для деяких малих холодильних установок значення коефіцієнта  $\varepsilon_n$  може досягати 1,3 і більше. У таких випадках необхідно виконати розрахунок витрат холоду для даної установки і приблизно визначити для неї величину  $\varepsilon_n$ .

Більш складно визначити розрахункове теплове навантаження компресорів для холодильних установок з декількома (або багатьма) споживачами холоду.

До таких установок відносяться промислові багатоканальні холодильники з централізованою системою холодопостачання.



Холодильне обладнання кожної камери такого холодильника розраховують за його максимальним тепловим навантаженням, однак підбирати компресори, підсумовуючи максимальні теплові навантаження всіх камер неправильно, тому що холодильна обробка продуктів, вантажні операції та інші роботи, зв'язані зі споживанням холоду, не ведуться одночасно у всіх камерах.

Розрахункове теплове навантаження на компресори установок з декількома споживачами холоду визначають у такому режимі, при якому досягає максимуму сума всіх реальних теплових навантажень споживачів холоду.

Для холодильників цей розрахунковий режим визначають за максимальними зовнішніми теплонадходженнями.

Для виробничих холодильних установок будують графіки зміни в часі холодоспоживання окремих об'єктів, підсумовують дані графіків і за максимумом загального холодоспоживання встановлюють розрахунковий режим.

При нетривалих різкозмінних у часі сумарних значеннях холодоспоживання (наприклад, на молокозаводах), доцільно акумулювати холод. Метод розрахунку теплового навантаження холодильного обладнання для машинних відділень таких установок наведений у підрозділі 7.16.

На великих холодильних установках з декількома температурами кипіння холодильного агента всі споживачі холоду поділяють на групи за температурами кипіння, що використовуються, і для кожної групи обирають розрахунковий режим споживання холоду.

Розглянемо рекомендації, які необхідно враховувати при розрахунках теплонадходжень для визначення теплового навантаження на компресори  $Q_{OK}$  на прикладі багатокамерного промислового холодильника.

Величини  $Q_1$ , отримані для окремих камер кожної з груп температур кипіння, підсумовують для одержання теплонадходжень через огороження з метою добору компресорів  $Q_{1K}$ .

Доцільно зменшити цю складову теплового навантаження якщо, наприклад, у літній період у машинному відділенні будуть простоювати компресори, призначені для заморожування продуктів в осінньо-зимовий період.

Теплонадходження від холодильної обробки для добору компресорів ( $Q_{2K}$ ) обчислюють за формулою (7.34), підставляючи в неї в якості  $G_n$  максимальне добове надходження на холодильник вантажів, що вимагають холодильної обробки.

Теплонадходження  $Q_3$  і  $Q_5$  на охолоджувальні прилади окремих камер підсумовують для кожної групи камер і одержують відповідно  $Q_{3K}$  і  $Q_{5K}$ .

Експлуатаційні теплонадходження також підсумовують за групами камер і на компресори приймають у якості  $Q_{4K}$  від 50 до 75 % отриманої суми (зворотно пропорційно числу камер).

Потім для кожної температури кипіння обчислюють сумарну величину

$$Q_{0K} = Q_{1K} + Q_{2K} + Q_{3K} + Q_{4K} + Q_{5K}. \quad (7.51)$$

і визначають за формулою (7.50) розрахункове теплове навантаження  $Q_{PK}$  для добору компресорів на кожну температуру кипіння, підставляючи в цю формулу замість  $Q_0$  відповідне значення  $Q_{0K}$ .

#### 7.14. Розрахунок теплових навантажень за укрупненими показниками

Орієнтовані значення теплових навантажень холодильного обладнання можна швидко одержати, використовуючи укрупнені показники витрат холоду ( $q_0$ ), віднесених до 1 м<sup>2</sup> будівельної площі холодильної камери. Величини  $q_0$  для промислових холодильників наведено в табл. 7.11.

Таблиця 7.11

#### Укрупнені значення сумарних питомих витрат холоду

Призначення охолоджуваного приміщення	Температура камери, °С	$q_0$ , Вт/м <sup>2</sup>	
		Верхній поверх одноповерхового холодильника	Усі поверхи, крім верхнього
Зберігання заморожених продуктів	-18...-20	80	50
Зберігання охолоджених продуктів	-2...+4	90	60
Універсальні камери зберігання	-20	90	60
Експедиція	+12	50	50
Охолодження м'яса	-10	500	500
Охолодження м'яса	-2	300	300
Охолодження субпродуктів	-2	200	200
Заморожування продуктів	-30...-35	900	900

Орієнтовані значення питомих витрат холоду  $q_0$  (Вт/м<sup>2</sup>) для холодильних камер підприємств торгівлі і ресторанного бізнесу можна визначити в залежності від температури камери ( $t_k$ ), в інтервалі +6...-18 °С, як

$$q_0 = 120 - 7t_k. \quad (7.52)$$

Якщо камери розташовані в напівпідвальному або підвальному поверсі, то значення  $q_0$ , отримані з вираження (7.52), зменшують на 10...15 %.

Теплове навантаження холодильного обладнання визначають, множачучи відповідне значення  $q_0$  на будівельну площу охолоджуваного приміщення.

### 7.15. Добір холодильного обладнання

Охолодні прилади споживачів холоду і теплообмінне обладнання машинних відділень підбирають за значеннями розрахункових теплових навантажень, отриманих у розділах 7.12 і 7.13.

Холодильне обладнання яке обирається повинне виготовлятися промисловими підприємствами України або відомих закордонних фірм.

Основні вимоги, які висувають до холодильного обладнання:

- відповідність сучасному рівневі холодильної техніки;
- велика продуктивність при малих габаритах та масі;
- однотипність;
- надійність у роботі;
- простота і зручність в обслуговуванні.

Добір оптимального типу і числа компресорів, апаратів і допоміжних елементів холодильних установок у загальному випадку визначається техніко-економічними розрахунками.

Звичайно, з метою зменшення капітальних витрат, підбирають обладнання, як можна більшої одиничної продуктивності (площі поверхні, що передає теплоту). Однак, для підвищення надійності і зручності експлуатації централізованих машинних відділень, підбирають не менш двох конденсаторів, а також двох компресорів на кожну температуру кипіння холодильного агента.

Камерне холодильне обладнання підбирають відповідно до сучасних вимог холодильної технології.

Нижче наведено алгоритм приблизного визначення площі поверхні, що передає теплоту охолодних приладів для кожного споживача холоду і теплообмінного обладнання машинного відділення.

У загальному випадку апарат підбирають за необхідною площею  $F$  його теплообмінної поверхні. Чисельне значення  $F$  визначають за формулою

$$F = \frac{Q}{n \cdot k \cdot \theta}, \quad (7.53)$$

- де  $Q$  – розрахункове теплове навантаження, Вт;  
 $n$  – кількість апаратів, що підбираються;  
 $k$  – коефіцієнт теплопередачі апарата, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\theta$  – середній температурний напір між середовищами, К.

Для батарей і повітроохолоджувачів у якості  $Q$  у формулу (7.53) підставляють загальне теплове навантаження споживача холоду, яке обчислюють за допомогою виразу (7.24) або з табл. 7.11.

Для підбора випарників для охолодження рідких холодоносіїв у якості  $Q$  у формулу (7.53) підставляють величину  $Q_{вн}$ , визначену з вираження (7.49).

Величину  $Q = Q_k$ , яку використовують для добору конденсаторів, знаходять після виконання теплового розрахунку циклу холодильної машини, добору компресорів і визначення теплоти  $Q_k$ , що відводиться в конденсаторі. При цьому, якщо холодопродуктивність підібраних компресорів більше її розрахункового значення, то відповідно потрібно збільшити величину  $Q_k$ , що підставляється у формулу (7.53).

При доборі переохолоджувачів, теплообмінників, визначенні площі поверхні змійовика проміжного сосуда величину  $Q$  визначають за даними теплового розрахунку циклу холодильної машини як добуток масової витрати холодоагенту через апарат на різницю ентальпій холодоагенту на вході і виході з апарату.

Величина  $Q$  для підбора конденсатора-випарника каскадної холодильної машини дорівнює теплоті конденсації нижнього ступеню каскаду, збільшеної на 5...7 % для урахування зовнішніх теплонадходжень до апарату.

Для усіх апаратів холодильних установок площі теплообмінних поверхонь з боку кожного із середовищ, що обмінюються теплотою, не рівні між собою. Тому якщо, наприклад, апарат підбирають за площею зовнішньої поверхні, що передає теплоту  $F = F_{зов}$ , то у формулу (7.53) потрібно підставити значення коефіцієнта теплопередачі, віднесеного до цієї ж поверхні, тобто  $k=k_{зов}$ .

Нижче наведені інтерполяційні формули, що дозволяють приблизно визначити практичні значення коефіцієнтів теплопередачі  $k_{зов}$ , віднесені до зовнішньої поверхні камерних охолоджувальних приладів, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Для аміачних і розсольних ореброваних пристінних і стельових батарей

$$k_{зов} = (5,7 + 0,056t_{кам})e^{-0,05Z} \left( \frac{\theta}{10} \right)^{0,22}, \quad (7.54)$$

де  $k_{зов}$  – коефіцієнт теплопередачі зовнішньої поверхні камерних охолоджувальних приладів, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$t_{кам}$  – температура камери, °С;

$Z$  – кількість труб за висотою батареї;

$\theta$  – середній температурний напір між повітрям камери і холодоносієм, К.

Для аміачних і розсольних гладкотрубних ( $d_n=57$  мм) пристінних і стельових батарей

$$k_{зов} = (8,0 + 0,11t_{кам})e^{0,03Z} \left( \frac{\theta}{10} \right)^{0,22}. \quad (7.55)$$

Формули (7.54) і (7.55) застосовні для температур  $t_{кам}=0...-25$  °С і враховують на батареях шар інею товщиною 5...6 мм.

Для аміачних повітроохолоджувачів

$$k_{зоб} = 8,5\sqrt{w} \cdot e^{0,01t_0}, \quad (7.56)$$

де  $w$  – швидкість повітря в живому перетині повітроохолоджувача, м/с;  
 $t_0$  – температура кипіння аміаку, °С.

Формулу 7.56 можна застосовувати для температур  $t_0 = 0...-45$  °С.

Для фреонових повітроохолоджувачів із пластинчастим оребренням значення  $k_{зоб}$ , визначене з (7.56) можна збільшити на (25...30) %.

У додатку 18 наведено орієнтовані значення температурних напорів і практичних коефіцієнтів теплопередачі різних апаратів, віднесених до їх зовнішньої поверхні, що передає теплоту.

Уточнені значення коефіцієнтів теплопередачі і площі її поверхні, що передає теплоту апаратів одержують шляхом виконання спеціальних теплових розрахунків.

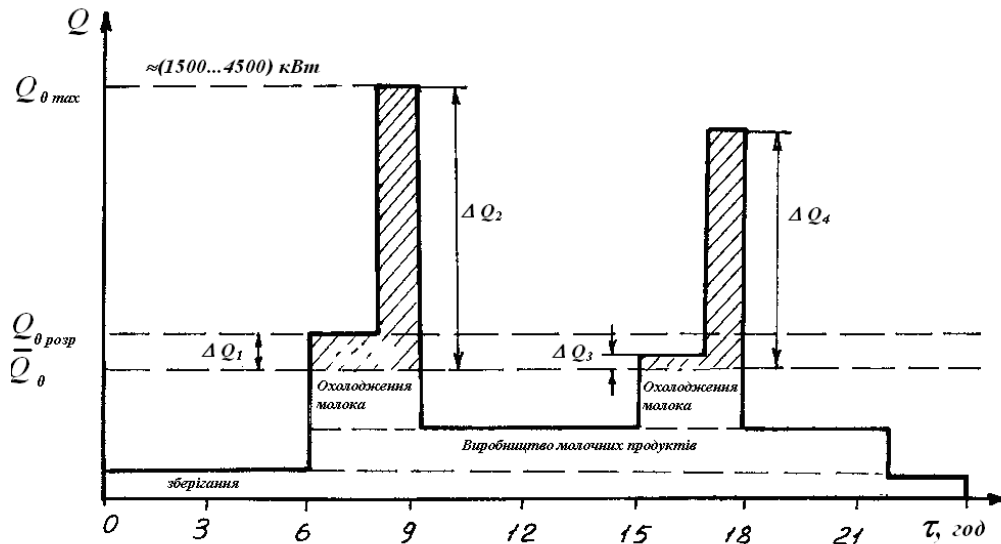
7.16. Особливості розрахунку теплового навантаження і добору обладнання холодильних установок з акумуляцією холоду

Теплове навантаження обладнання деяких виробничих холодильників значно змінюється протягом доби від мінімальної (уночі) до максимальної (у денний час). Наприклад, на молокозаводах різко перемінне в часі теплове навантаження машинного відділення.

Максимум навантаження досягається в ранковий час. Це обумовлено циклічністю охолодження молока, що щодня ранком і ввечері надходить на молокозавод. Крім того, у денний час холод витрачається для виробництва і зберігання молочних продуктів. Уночі необхідна холодопродуктивність компресорів мінімальна, тому що в цей час працюють лише камери зберігання сировини і готової продукції. Це наочно демонструє рис. 7.2.

У таких випадках застосовують акумуляцію холоду, що здійснюють в інтервали часу, коли фактичне теплове навантаження компресорів менше, ніж  $Q_0$ .

Заштриховані площі, утворені відрізками  $\Delta Q_1$ ,  $\Delta Q_2$ ,  $\Delta Q_3$  і  $\Delta Q_4$ , помноженими на відповідні їм проміжки часу  $\tau$ , дозволяють оцінити, як витрачається акумульований холод.



**Рисунок 7.2 – Добовий графік зміни теплового навантаження холодильної установки молокозаводу:**  $Q_{0 \max}$  – максимальне теплове навантаження;  $\bar{Q}_0$  – середнє за добу теплове навантаження холодильних компресорів і апаратів;  $Q_{0 \text{ розр}}$  – розрахункове теплове навантаження

Для молокозаводів  $Q_{0 \text{ розр}} \approx (0,4 \dots 0,6) \cdot Q_{0 \max}$ . Таким чином, застосування акумуляції холоду дозволяє приблизно в два рази зменшити встановлену продуктивність компресорів та іншого холодильного обладнання машинного відділення, а також зменшити його розміри. Типи акумуляторів холоду – рідинні (водяні, розсільні) і крижані.

Мінімальна місткість бака рідинного акумулятора

$$V_{\text{ак}} = \frac{Q_{\text{ак}}}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta t_{\text{ак}}}, \quad (7.57)$$

де  $Q_{\text{ак}}$  – кількість акумульованого холоду, Вт;  
 $\Delta t_{\text{ак}}$  – зниження температури холодоносія, °С;  
 $\rho$  – густина холодоносія, кг/м<sup>3</sup>;  
 $C_p$  – питома теплоємність холодоносія, Дж/(кг·К).

Згідно з рис. 7.2 кількість акумульованого холоду можна обчислити таким чином:

$$Q_{\text{ак}} = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \cdot \tau_i, \quad (7.58)$$

де  $\tau_i$  – інтервали часу, коли дійсне теплове навантаження вище  $\bar{Q}_0$ .

Додаткове зниження температури холодоносія щодо його робочої температури становить в більшості випадків:  $\Delta t_{ак} = 2...4$  °С для води,  $\Delta t_{ак}=4...8$  °С для розсолів.

Чим менше  $\Delta t_{ак}$  тим більше місткість бака акумулятора, але чим менше  $\Delta t_{ак}$ , тим менше додаткові витрати енергії на виробництво холоду.

Чим більше питома теплоємність холодоносія, тим менше витрати на його перекачування.

Крижані акумулятори холоду являють собою заглибні панельні випарники типу ИП (з площею поверхні, що передає теплоту, від 20 до 320 м<sup>2</sup>) зі збільшеним у два рази кроком панелей (від 80 до 160 мм). У період падіння теплового навантаження холодильної установки на них наморозується лід товщиною 20...40 мм.

Температура вихідної з акумулятора холодної води при таненні льоду дорівнює 1...1,5 °С.

Якщо відомо кількість акумуляованого холоду [див. формулу (7.58)], то мінімальний об'єм льоду, що наморозується:

$$V_{л} = \frac{Q_{ак}}{\rho_{л} \cdot r_{л}}, \quad (7.59)$$

де  $\rho_{л}$  – густина льоду, що наморозується, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{л} = 920$  кг/м<sup>3</sup>;

$r_{л}$  – питома теплота перетворення води в лід, кДж/кг;

$r_{л} = 334$  кДж/кг.

Переваги крижаних акумуляторів:

- велика акумуляційна здатність у невеликому об'ємі;
- мала займана площа (приблизно в 5...10 разів менше, ніж у рідинних акумуляторів холоду);
- можливість повного заводського виготовлення.

Недоліки крижаних акумуляторів:

- неможливість акумуляувати холод при негативних температурах;
- обмежена площа крижаної поверхні не дозволяє здійснити танення значної кількості льоду в короткий час, тобто крижані акумулятори мало пристосовані до зняття пікових навантажень.

Переваги акумуляції холоду на холодильних установках:

- зменшується встановлена холодопродуктивність компресорів, а також розміри холодильного обладнання і трубопроводів машинного відділення;
- скорочуються капітальні витрати;
- скорочуються експлуатаційні витрати, тому що акумуляція холоду йде, в основному, у нічний час доби, коли температура конденсації значно знижується і може діяти пільговий тариф на використання електроенергії;
- підвищується коефіцієнт використання обладнання машинного відділення;

- полегшується експлуатація холодильної установки і збільшується термін служби компресорів, тому що зменшується кількість пускових режимів;
- підвищується надійність автоматизації холодильної установки.

Недоліками установок з акумуляцією холоду є додаткові витрати, пов'язані з виготовленням і монтажем акумуляторів, а також насосів для циркуляції холодоносія.

В даний час акумуляція холоду доцільна, якщо термін окупності додаткових витрат досить короткий 1...2 роки. Адже збільшення доходів підприємства з акумуляційною холодильною установкою повинне бути більшим, ніж якщо додаткові гроші на створення акумуляції холоду здати в банк під відсотки.

В Україні введений пільговий тариф на електроенергію в нічний час, як це зроблено на Заході. У цих умовах холодильні установки з акумуляцією холоду виявляються економічно вигідними не тільки для підприємств із різко перемінним тепловим навантаженням протягом доби, але в ряді випадків, для промислових та комерційних холодильників.



## 8. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Технологічне холодильне обладнання (ТХО) за своїми конструктивними особливостями та сферами застосування – це величезне різноманіття пристроїв з виробництва штучного холоду, яке відрізняється галузями та способами застосування, холодопродуктивністю, потужністю, діапазоном низьких температур, фізичними явищами, на яких заснований принцип роботи холодильної машини, дизайном, і різними іншими критеріями.

Універсальної методики для проектування усього спектру ТХО не існує, тому в даному навчальному посібнику авторами було обрано як приклад методику проектування повітряного морозильного апарату.

Повітряні морозильні апарати дістали поширення для заморожування різноманітних продуктів рослинного та тваринного походження. Заморожування продуктів у повітрі дозволяє зберегти їх високі поживні та смакові властивості, а також гарний товарний вигляд.

Повітря – природне і досить інертне середовище. Його можна використовувати для холодильної обробки будь-яких продуктів у широкому інтервалі значень температур, швидкості руху та типу. Ці позитивні якості повітря зумовлюють універсальність його застосування і простоту конструкції повітряних морозильних апаратів. Недоліками повітря є низька здатність до акумулювання теплоти та схильність до поглинання вологи.

Повітряні морозильні апарати складаються з морозильного відсіку та відсіку повітроохолоджувачів. В вантажному відсіку застосовують тунельну систему розподілу повітря. В вантажному відсіку знаходиться продукт, що заморожується, який пересувається різноманітними транспортними засобами, в відсіках повітроохолоджувачів розташовують секції, які призначені для охолодження повітря, системи подачі повітря (вентиляторна установка) та піддон для збору талої води, який обігрівается.

Вид системи транспортування залежить передусім від цільового призначення апарату (асортимент харчових продуктів, які заморожуються) та його продуктивність. Використовуються візки (етажерки), конвеєри безперервної або періодичної дії, поті повітря (флюїдизаційний шар) або комбінації цих засобів транспортування.

Секції повітроохолоджувачів виконують з гладких або ребристо трубних елементів зі змінним кроком ребрення, який зменшується по ходу руху повітря. Це пов'язано з тим, що волога, яка виділяється з продукту під час холодильної обробки осаджується у вигляді інею на поверхні повітроохолоджувача, причому він випадає нерівномірно, передусім на перших по ходу руху рядах труб, що зменшує площу живого перерізу повітроохолоджувачів. Змінний крок ребрення має забезпечити збереження номінальної площі живого перерізу повітроохолоджувачів по довжині.

Система подачі повітря включає вентилятори (осьові, відцентровані) та розподільники повітря (канали, відбивачі). Будова системи залежить від аеродинамічного опору руху повітря та взаємного розташування

повітроохолоджувача й продукту. Повітря може циркулювати як уздовж, так і поперек об'єму, який займає продукт і система транспортування. Довжина циркуляційного контуру має бути якомога меншою для мінімізації аеродинамічного опору та змінювання швидкості руху і температури повітря. Чим менші ці зміни, тим рівномірніше здійснюється холодильна обробка продукту і тим менше його втрати на випаровування вологи, тому що здатність повітря поглинати вологу збільшується з підвищенням його температури.

### **Основи розрахунку конвеєрних повітряних морозильних апаратів.**

Якщо задані продуктивність апарата, вид продукту та розміри заморожуємого блоку, середня температура повітря, початкові та кінцеві температури продукту, напрям та швидкість руху повітря в апаратах, то при розрахунку конвеєрних морозильних апаратів необхідно визначити:

- об'єм та масу заморожуємого блоку;
- тривалість заморожування;
- ємність апарата та кількість блоків в ньому;
- довжину ланцюга та швидкість руху вантажного конвейєра апарата;
- кількість гілок конвеєра апарату;
- кількість повітря, який рухається;
- теплове навантаження;
- змінєння температури повітря в апараті та середню логарифмічну різницю температур;
- необхідну площу поверхні повітроохолоджувача та його конструктивні розміри;
- аеродинамічний опір циркуляційного кільця апарата;
- потужність електродвигунів вентиляторів.

В конвеєрних морозильних апаратах продукти заморожуються в блок-формах, об'єм замороженого блоку розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{бл}} = l_{\text{бл}} \cdot \text{в}_{\text{бл}} \cdot \delta_{\text{бл}}, \quad (8.1)$$

- де  $V_{\text{бл}}$  – об'єм блоку, який заморожується, м<sup>3</sup>;  
 $l_{\text{бл}}$  – довжина блоку, м;  
 $\text{в}_{\text{бл}}$  – ширина блоку, м;  
 $\delta_{\text{бл}}$  – товщина блоку, м.

Масу блоку, який заморожується, визначають за формулою:

$$g_1 = V_{\text{бл}} \cdot \rho_{\text{нр}}, \quad (8.2)$$

- де  $g_1$  – маса блоку, який заморожується, кг;  
 $V_{\text{бл}}$  – об'єм блоку, який заморожується, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{\text{нр}}$  – густина замороженого блоку, кг/м<sup>3</sup>.

Тривалість заморожування визначають за формулою Р. Планка:

$$\tau = \frac{q_3 \cdot \rho_{np}}{t_{кр} - t_{сер.}} \cdot \delta_{\delta л} \cdot \left[ R \cdot \frac{\delta_{\delta л}}{\lambda_3} + P \left( \frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right], \quad (8.3)$$

- де  $\tau$  – тривалість заморожування, с;  
 $q_3$  – питома теплота заморожування, Дж/кг;  
 $\rho_{np}$  – густина замороженого продукту, кг/м<sup>3</sup>;  
 $t_{кр}$  – криоскопічна температура продукту, °С;  
 $t_{сер.}$  – температура середовища, °С;  
 $\delta_{\delta л}$  – товщина блока, м;  
 $\lambda_3$  – коефіцієнт теплопровідності замороженого продукту,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;  
 $R, P$  – допоміжні коефіцієнти, які залежать від форми та співвідношення розмірів заморожуваного продукту;  
 $\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  – сума теплових опорів стінок блок форми та шарів упаковки,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ ;  
 $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Коефіцієнт тепловіддачі від блок-форми при примусовому русі повітря можна розрахувати за формулою:

$$\alpha = 0,032 \cdot \frac{\omega^{0,8} \cdot \lambda_{нов}}{l_x^{0,2} \cdot \nu_{нов}^{0,8}}, \quad (8.4)$$

- де  $\omega$  – швидкість руху повітря біля блок-форм, м/с;  
 $l_x$  – лінійний розмір блок-форми в напрямку руху повітря, м;  
 $\lambda_{нов}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ;  
 $\nu_{нов}$  – кінематична в'язкість повітря, м<sup>2</sup>/с.

Ємність апарату, тобто масу продукту, який знаходиться на конвеєрі апарату, визначають за формулою:

$$G = G' \cdot \tau, \quad (8.5)$$

- де  $G'$  – продуктивність апарату, кг/с;  
 $\tau$  – тривалість заморожування, с.

Кількість блоків в апараті розраховуємо за рівнянням:

$$Z_{\delta} = \frac{G}{g}, \quad (8.6)$$

- де  $Z_{\delta}$  – кількість блоків в апараті, шт.;  
 $G$  – ємність апарату, кг;  
 $g$  – маса блоку, який заморожується, кг.

Довжину ланцюга вантажного конвеєра апарата знаходять за формулою:

$$L_{\text{Л}} = e_{\phi} \cdot Z_{\phi}, \quad (8.7)$$

де  $L_{\text{Л}}$  – довжина ланцюга вантажного конвеєра апарата, м;  
 $e_{\phi}$  – відстань між осями блок-форм, м.

Швидкість руху вантажного конвеєра визначають за рівнянням:

$$\omega_k = \frac{L_{\text{Л}}}{\tau}, \quad (8.8)$$

де  $\omega_k$  – швидкість руху вантажного конвеєра, м/с.

Кількість гілок конвеєра розраховуємо за формулою:

$$Z_{\Gamma} = \frac{L_{\text{Л}}}{L_{\text{К}}}, \quad (8.9)$$

де  $Z_{\Gamma}$  – кількість гілок конвеєра, шт.;  
 $L_{\text{К}}$  – довжина гілок конвеєра, м.

Виходячи з конструктивних міркувань довжину гілки конвеєра  $L_{\text{К}}$  приймають рівною 5...8 м, для того щоб морозильні апарати розміщувалися в холодильниках з сіткою колон 6 м х 6 м та 6 м х 12 м.

Якщо передбачена завантаження апарата продуктом та вивантаження заморожених блоків з апарату з торцевої стінки, то кількість гілок повинна бути парною.

Кількість повітря, яке рухається, визначають за рівнянням:

$$V'_{\text{нов}} = F_{\text{жс}} \cdot w, \quad (8.10)$$

де  $V'_{\text{нов}}$  – кількість повітря, яке рухається, м<sup>3</sup>/с;  
 $F_{\text{жс}}$  – площа живого перерізу для проходу повітря, м<sup>2</sup>;  
 $w$  – швидкість руху повітря, м/с.

Площа живого перерізу за умов поперечного руху повітря дорівнює:

$$F_{\text{жс}} = [(L_{\text{К}} + 2e_1) \cdot l_1 \cdot (Z_{\Gamma} + 1)], \quad (8.11)$$

де  $e_1$  – проміжок між зірочкою вантажного конвеєра та ізольованою торцевою стінкою апарата, м;  
 $l_1$  – проміжок між блок-формами по висоті, який передбачено для циркуляції повітря, м.

За умов подовжнього руху повітря

$$F_{жс} = [(l + 2e_2) \cdot l_1 \cdot (Z_T + 1)], \quad (8.12)$$

де  $e_2$  – проміжок між блок-формою та боковими ізольованими стінками апарата, м.

Теплове навантаження на обладнання визначають за формулою:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_{CT} + Q_\Phi + Q_4, \quad (8.13)$$

де  $Q_1$  – теплоприплив крізь огородження апарата, Вт;  
 $Q_2$  – теплоприплив від продукту, Вт;  
 $Q_{CT}$  – теплоприплив від сталевих деталей конвеєра, Вт;  
 $Q_\Phi$  – теплоприплив від блок-форм, Вт;  
 $Q_4$  – теплоприплив від двигунів вентилятора, Вт.

Теплоприплив від сталевих деталей конвеєра знаходять за формулою:

$$Q_{CT} = m_{CT} \cdot c_{CT} \cdot \omega_K \cdot (t_1 - t_2), \quad (8.14)$$

де  $m_{CT}$  – маса  $l$  м вантажного конвеєра, кг;  
 $c_{CT}$  – питома теплоємність сталі, Дж/(кг · К);  
 $\omega_K$  – швидкість руху вантажного конвеєра апарата, м/с;  
 $t_1$  – температура сталевих елементів вантажного конвеєра, нагрітих за межами вантажного відсіку, °С;  
 $t_2$  – температура сталевих елементів вантажного конвеєра після їхнього охолодження в вантажному відсіку апарата, °С.

Теплоприплив від блок-форм знаходять за формулою:

$$Q_\Phi = m_\Phi \cdot c_\Phi \cdot \omega_K \cdot (t_1 - t_2), \quad (8.15)$$

де  $m_\Phi$  – маса блок-форми, яка приходить на  $l$  м вантажного конвеєра, кг;  
 $c_\Phi$  – питома теплоємність матеріалу блок-форми, Дж/(кг · К);  
 $\omega_K$  – швидкість руху вантажного конвеєра апарата, м/с;  
 $t_1$  – температура блок-форми, нагрітої за межами вантажного відсіку, °С;  
 $t_2$  – температура блок-форми після їх охолодження в апараті, °С.

Теплоприплив від двигунів вентилятора орієнтовано приймають (0,15...0,2) від  $Q_2$ .

Змінення температури повітря в апараті розраховуємо за рівнянням:

$$\theta = \frac{\theta_0}{V'_{нов} \cdot \rho_{нов} \cdot c'_{нов}}, \quad (8.16)$$

де  $\theta$  – змінення температури повітря в апараті за умов заморожування продукту, °С;  
 $V'_{нов}$  – кількість повітря, яке рухається в апараті, м<sup>3</sup>/с;  
 $\rho_{нов}$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  
 $c'_{нов}$  – питома теплоємність повітря, Дж/(кг · К).

Середню логарифмічну різницю температур між повітрям та киплячим холодильним агентом визначаємо за формулою:

$$\Delta t = \frac{\theta}{2,3 \lg \frac{t'_{нов} - t_0}{t_{нов} - t_0}}, \quad (8.17)$$

де  $t'_{нов}$  – температура повітря перед повітроохолоджувачем, °С;  
 $t''_{нов}$  – температура повітря після повітроохолоджувача, °С;  
 $t_0$  – температура кипіння холодоагенту, °С.

Температуру повітря перед повітроохолоджувачем розраховуємо за формулою:

$$t'_{нов} = t_{нов} + \frac{\theta}{2}, \quad (8.18)$$

де  $t_{нов}$  – температура охолоджуючого повітря, °С;

Температуру повітря після повітроохолоджувача розраховуємо за формулою:

$$t''_{нов} = t_{нов} - \frac{\theta}{2}, \quad (8.19)$$

Площу поверхні повітроохолоджувача знаходимо за формулою:

$$F_{ПО} = \frac{Q_0}{k_0 \cdot \Delta t_m}, \quad (8.20)$$

де  $Q_0$  – сумарне теплове навантаження на обладнання, Вт;  
 $k_0$  – коефіцієнт теплопередачі повітроохолоджувачів,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ;  
 $\Delta t_m$  – середня логарифмічна різниця між повітрям та киплячим холодильним агентом, °С.

Якщо не передбачено ніяких інших технічних рішень, то для зменшення шкідливого впливу інію, повітроохолоджувач повинен виконуватись з декілька секцій, кількість яких, як правило, не перевищує трьох.

Довжину труб в окремій секції розраховують за рівнянням:

$$L_{с.х.} = \frac{П_X \cdot F_{ПО}}{f_X}, \quad (8.21)$$

де  $L_{с.х.}$  – довжина труб в секції повітроохолоджувача, м;  
 $П_X$  – частка загальної площі поверхні повітроохолоджувача, який приходить на одну секцію;  
 $f_X$  – площа поверхні 1м оребреної труби з прийнятим кроком оребрення, який характерний для даної секції, м<sup>2</sup>.

Конструктивні розміри повітроохолоджувача визначаються площею живого перерізу каналу, в якому розміщуються секції.

Площа живого перерізу цього каналу розраховується за формулою:

$$F_K = \frac{V'_{нов}}{\omega_H}, \quad (8.22)$$

де  $F_K$  – площа живого перерізу каналу, м<sup>2</sup>;  
 $V'_{нов}$  – кількість повітря, циркулюючого в апараті, м<sup>3</sup>/с;  
 $\omega_H$  – швидкість набігаючого потоку, або швидкість в каналі за умов відсутності секцій, м/с (2,5...3 м/с).

Секції повітроохолоджувачів компонуються з відрізків труб, які з'єднані колекторами або калачами. Довжиною відрізка труби  $l_{ТР}$  задаються, виходячи з конструктивних міркувань, тоді ширина каналу обчислюється за формулою:

$$B_K = l_{ТР} + 2 \cdot l_{ПР}, \quad (8.23)$$

де  $B_K$  – ширина каналу, м;  
 $l_{ТР}$  – довжина труби, м;  
 $l_{ПР}$  – проміжок між трубами секцій та боковими стінками каналу, м.

Висоту каналу визначають за формулою:

$$H_K = \frac{F_K}{B_K}, \quad (8.24)$$

де  $H_K$  – висота каналу, м;  
 $F_K$  – площа живого перерізу каналу, м<sup>2</sup>;  
 $B_K$  – ширина каналу, м.

Після визначення висоти каналу розраховують кількість труб по висоті каналу за формулою:

$$n_1 = \frac{H_K}{S_1} - 1, \quad (8.25)$$

де  $n_1$  – кількість труб по висоті каналу, шт.;  
 $S_1$  – відстань між трубами по висоті, м.

Довжину труб в одному вертикальному ряді розраховують за рівнянням:

$$L_{TP} = n_1 \cdot l_{TP}, \quad (8.26)$$

де  $L_{TP}$  – довжина труб в вертикальному ряді, м;  
 $n_1$  – кількість труб по висоті каналу, шт.;  
 $l_{TP}$  – довжина труби, м.

Кількість вертикальних рядів труб в кожній секції знаходять, виходячи з залежності:

$$m_X = \frac{L_{C.X.}}{L_{TP}}, \quad (8.27)$$

де  $m_X$  – кількість вертикальних рядів труб в окремій секції;  
 $L_{C.X.}$  – довжина труб в секції повітроохолоджувача, м;  
 $L_{TP}$  – довжина труб в вертикальному ряді, м.

Значення  $m_X$  в кожній секції повинно бути кратним одиниці.

Аеродинамічний опір в циркуляційному кільці апарата визначають за формулою:

$$\Delta p = (\Delta p_{ПО} + \Delta p_{ГВ} + \Delta p_{ПОВ} + \Delta p_{ДИФ} + \Delta p_{КОНФ} + \Delta p_{ВХ}) \cdot 1,1, \quad (8.28)$$

де  $\Delta p$  – аеродинамічний опір в циркуляційному кільці апарата, Па;  
 $\Delta p_{ПО}, \Delta p_{ГВ}, \Delta p_{ПОВ}, \Delta p_{ДИФ}, \Delta p_{КОНФ}, \Delta p_{ВХ}$  – аеродинамічний опір секцій повітроохолоджувача, у вантажному відсіку апарата, поворотів, дифузора, конфузора при вході повітря в вентилятор, Па;  
 $1,1$  – коефіцієнт, який враховує аеродинамічний опір тертя повітря в каналах.

Аеродинамічний опір секції повітроохолоджувача визначається за умов знаходження снігової шуби на площі поверхні повітроохолоджувача. Товщину снігової шуби приймають на першій секції 3 мм, на другій 2 мм, на третій 1 мм.



Аеродинамічний опір однієї секції за умов шахового розташування труб з навивними ребрами знаходять за формулою:

$$\Delta p_x = 1,35 \cdot m_x \cdot \left(\frac{h}{d_{зобн}}\right)^{0,45} \cdot \left(\frac{U_x}{d_{зобн}}\right)^{-0,72} \cdot Re^{-0,24} \cdot \frac{(\omega'_x)^2}{2} \cdot \rho_{ПОВ}, \quad (8.29)$$

де  $\Delta p_x$  – аеродинамічний опір секції, Па;  
 $h$  – висота ребра, м;  
 $d_{зобн}$  – зовнішній діаметр труби, м;  
 $U_x$  – відстань між ребрами з врахуванням снігової шуби, м;  
 $\omega'_x$  – швидкість руху повітря в живому перерізі секції, м/с.

Число Рейнольдса розраховують за формулою:

$$Re_x = \frac{\omega'_x \cdot d_{зобн}}{v_{ПОВ}}, \quad (8.30)$$

де  $\omega'_x$  – швидкість руху повітря в живому перерізі секції, м/с;  
 $d_{зобн}$  – зовнішній діаметр труби, м;  
 $v_{ПОВ}$  – кінематична в'язкість повітря, м<sup>2</sup>/с.

Кінематичну в'язкість повітря визначають при температурі кипіння холодильного агента в трубах повітроохолоджувача.

Швидкість руху повітря в живому перерізі секції знаходять з залежності:

$$\omega'_x = \phi_x \cdot \omega_H, \quad (8.31)$$

де  $\omega'_x$  – швидкість руху повітря в живому перерізі секції, м/с;  
 $\phi_x$  – коефіцієнт стиснення, який враховує розташування в перерізі каналу оребрених труб;  
 $\omega_H$  – швидкість набігаючого потоку, або швидкість в каналі за умов відсутності секції, м/с.

Коефіцієнт стиснення, який враховує розташування в перерізі каналу оребрених труб розраховують за формулою:

$$\phi_x = \frac{\frac{S_1}{d_{зобн}} \cdot \left(1 - \frac{\delta_p}{U_x}\right)}{\frac{S_1}{d_{зобн}} - 1 + \left(\frac{S_1}{d_{зобн}} - 1 - \frac{2h}{d_{зобн}}\right) \cdot \frac{\delta_p}{U_x}}, \quad (8.32)$$

де  $S_1$  – відстань між трубами по висоті, м;  
 $d_{зобн}$  – зовнішній діаметр труби, м;  
 $\delta_p$  – товщина ребра, м;  
 $U_x$  – відстань між ребрами з урахуванням снігової шуби, м;  
 $h$  – висота ребра, м.

Відстань між ребрами з урахуванням снігової шуби розраховуємо за формулою:

$$U_X = t - \delta_P - 2 \cdot \delta_{CX}, \quad (8.33)$$

де  $t$  – крок між ребрами, м;  
 $\delta_{CX}$  – товщина снігової шуби, яка випала на секцію, м;  
 $\omega_H$  – швидкість руху набігаючого потоку повітря, м/с.

Аеродинамічний опір секції повітроохолоджувача складе:

$$\Delta p_{ПО} = \sum \Delta p_X, \quad (8.34)$$

де  $\Delta p_{ПО}$  – аеродинамічний опір секції повітроохолоджувача, Па;  
 $\sum \Delta p_X$  – сумарний аеродинамічний опір секцій повітроохолоджувача, Па.

Аеродинамічний опір блок-форми в вантажному відсіку апарата розраховуємо за формулою:

$$\Delta p_{ТВ} = \xi_{\Phi} \cdot n_{\Phi} \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho_{ПОВ}, \quad (8.35)$$

де  $\xi_{\Phi}$  – коефіцієнт місцевого опору блок-форми;  
 $n_{\Phi}$  – кількість форм, яку омиває повітря (за умов поперечного руху повітря – 1...2 форми, за умов поздовжнього руху повітря –  $n_{\Phi} = \frac{L_K}{e}$ ).

Аеродинамічний опір поворотів складе:

$$\Delta p_{ПОВ} = n_{ПОВ} \cdot \xi_{ПОВ} \cdot \frac{\omega_{ПОВ}^2}{2} \cdot \rho_{ПОВ}, \quad (8.36)$$

де  $n_{ПОВ}$  – кількість поворотів, які виконує повітря в циркуляційному кільці апарату;  
 $\xi_{ПОВ}$  – коефіцієнт місцевого опору повороту;  
 $\omega_{ПОВ}$  – швидкість руху повітря в перерізі повороту, м/с.

Аеродинамічний опір дифузора визначають за формулою:

$$\Delta p_{ДИФ} = \xi_{ДИФ} \cdot \frac{\omega_{ДИФ}^2}{2} \cdot \rho_{ПОВ}, \quad (8.37)$$

де  $\xi_{ДИФ}$  – коефіцієнт місцевого опору дифузора;  
 $\omega_{ДИФ}$  – швидкість руху повітря в стисненому перерізі дифузора, м/с.

Аеродинамічний опір конфузора розраховуємо за рівнянням:

$$\Delta p_{\text{КОНФ}} = \xi_{\text{КОНФ}} \cdot \frac{\omega_{\text{КОНФ}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{ПОВ}}, \quad (8.38)$$

де  $\xi_{\text{КОНФ}}$  – коефіцієнт місцевого опору конфузора;  
 $\omega_{\text{КОНФ}}$  – швидкість руху повітря в стисненому перерізі конфузора, м/с.

Аеродинамічний опір при вході повітря в вентилятор знаходять за формулою:

$$\Delta p_{\text{ВХ}} = \xi_{\text{ВХ}} \cdot \frac{\omega_{\text{ВХ}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{ПОВ}}, \quad (8.39)$$

де  $\xi_{\text{ВХ}}$  – коефіцієнт місцевого опору при вході повітря в вентилятор;  
 $\omega_{\text{ВХ}}$  – швидкість руху повітря за умов всмоктування повітря вікном вентилятора, м/с.

Швидкість руху повітря за умов всмоктування повітря вікном вентилятора розраховують за формулою:

$$\omega_{\text{ВХ}} = \frac{4V_{\text{ПОВ}}}{\pi \cdot d_B^2 \cdot n_B}, \quad (8.40)$$

де  $d_B$  – діаметр вікна всмоктування вентилятора, м;  
 $n_B$  – кількість вентиляторів, шт.;  
 $V_{\text{ПОВ}}$  – кількість циркулюючого повітря, м<sup>3</sup>/с.

Для обчислення швидкості руху повітря за умов всмоктування повітря вікном вентилятора потрібно підібрати вентилятор або вентилятори. Підбір вентиляторів виконується в залежності від кількості повітря, яке рухається, та приблизного аеродинамічного опору в циркуляційному кільці апарата (без урахувань опору повітря в вентилятор).

Для вентилятора, який підібрали, знаходять діаметр всмоктуючого вікна. Потім визначають  $\Delta p_{\text{ВХ}}$  та уточнюють аеродинамічний опір в циркуляційному кільці апарата.

Потужність електродвигунів вентиляторів знаходять за формулою:

$$Ne = \frac{V_0 \cdot \Delta P}{\eta_B}, \quad (8.41)$$

де  $Ne$  – потужність електродвигунів вентиляторів, кВт;  
 $V_0$  – об'єм повітря, який подається в апарат, м<sup>3</sup>/с;  
 $\Delta P$  – аеродинамічний опір за умов руху повітря в циркуляційному кільці апарата, Па;  
 $\eta_B$  – ККД вентилятора.

Уточнення теплового навантаження виконується з урахуванням дійсного теплоприпливу від роботи вентиляторів.

## 9. МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ПОБУТОВОГО ХОЛОДИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 9.1. Теплове навантаження на холодильну установку

При проведенні теплового розрахунку холодильних машин побутового призначення загальне теплове навантаження  $Q$  розбивають на ряд складових: теплонадходження з оточуючого середовища через стінки та теплоізоляцію  $Q_{oc}$ , теплонадходження від повітрообміну  $Q_{нов}$ , теплонадходження від продуктів  $Q_{np}$  і додаткові теплонадходження  $Q_0$ :

$$Q = Q_{oc} + Q_{нов} + Q_{np} + Q_0. \quad (9.1)$$

*9.1.1. Теплонадходження з навколишнього середовища* становлять значну частину загального теплового навантаження холодильної установки. Тепловий потік з оточуючого середовища постійно проникає в камери холодильника за рахунок теплопровідності.

Кількість теплоти, переданої через поверхні зовнішньої, внутрішньої шафи та шар теплоізоляції в камери холодильника  $Q_{1i}$ , є функцією трьох факторів: коефіцієнта теплопередачі  $k_i$ , площі відповідної зовнішньої поверхні  $F_i$  і різниці температур навколишнього повітря та повітря усередині відповідної камери  $\Delta t_i$ :

$$Q_{oc} = \sum_{i=1}^n Q_{oc_i}, \quad (9.2)$$

де  $n$  – кількість поверхонь холодильної установки, що передають теплоту.

$$Q_{oc_i} = k_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i. \quad (9.3)$$

Розрахунок коефіцієнта теплопередачі проводять за формулою:

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1i}} + \frac{\delta_{2i}}{\lambda_{2i}} + \frac{\delta_{3i}}{\lambda_{3i}} + \frac{\delta_{4i}}{\lambda_{4i}} + \frac{1}{\alpha_{5i}}}, \quad (9.4)$$

де  $\alpha_{1i}, \alpha_{5i}$  – коефіцієнти тепловіддачі відповідно зовнішньої та внутрішньої стінки  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\delta_{2i}, \delta_{4i}$  – товщина стінки відповідно зовнішньої та внутрішньої шафи холодильника, м;

$\lambda_{2i}, \lambda_{4i}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, з якого виготовлена зовнішня та внутрішня шафа холодильника, Вт/(м·К);

$\delta_{3i}$  – товщина шару теплоізоляційного матеріалу, м;

$\lambda_{3i}$  – коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, Вт/(м·К).

Знаменник формули (9.4) являє собою суму термічних опорів пласкої багатошарової стінки, включаючи опір тонкого шару повітря, що безпосередньо прилягає до зовнішньої та внутрішньої поверхні. Термічний опір окремого матеріалу дорівнює відношенню  $\delta/\lambda$ , а опір шару повітря на обох сторонах поверхні, що передає теплоту, являє собою відношення  $1/\alpha$

Розрахунок термічних опорів стін зовнішньої та внутрішньої шафи холодильника проводять з обліком теплофізичних властивостей матеріалу з яких вони виготовлені.

Зовнішні шафи побутових холодильників виготовляють в основному з листової сталі товщиною 0,8...1 мм. Двері зовнішніх шаф виготовляють зі сталевого листа товщиною 0,8 мм, у деяких моделях холодильників їх виконують із деревостружкової плити або ударостійкого полістиролу. Коефіцієнт теплопровідності для сталі в розрахунках можна прийняти рівним 20 Вт/(м·К), для деревостружкової плити – 0,087 Вт/(м·К), для полістиролу – 0,038 Вт/(м·К).

Внутрішні шафи на сьогоднішній час виготовляють в основному з ударостійкого полістиролу методом вакуумного формування, товщина листа становить 2...3 мм. У деяких моделях побутових холодильників застосовують металеві внутрішні шафи зі сталевого листа товщиною 0,7...0,9 мм.

Термічний опір ізоляції розраховується на основі заданої товщини шару теплоізоляції відповідної поверхні, що передає теплоту, та властивостей теплоізоляційного матеріалу, який використовується. Як теплоізоляційний матеріал найбільш, широко застосовується пінополіуретан з коефіцієнтом теплопровідності, рівним 0,029...0,035 Вт/(м·К), та пінополістирол з коефіцієнтом теплопровідності в межах 0,038...0,041 Вт/(м·К).

Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі зовнішніх і внутрішніх стінок поверхонь, що передають теплоту, холодильника проводиться на основі рівняння, теплового балансу:

$$q_i = \alpha_{1i} \cdot (t_{1i} - t'_{1i}) = \frac{\lambda_{3i}}{\delta_{3i}} \cdot (t'_{1i} - t'_{5i}) = \alpha_{5i} \cdot (t'_{5i} - t_{5i}), \quad (9.5)$$

де  $t_{1i}$  – температура навколишнього повітря на відстані 5...10 мм від  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, °С;

$t'_{1i}$  – температура зовнішньої стінки  $i$ -ої поверхні, що передає теплоту, °С;

$t_{5i}$  – температура повітря усередині відповідної камери на відстані 5...10 мм від внутрішньої стінки  $i$ -ої поверхні, °С;

$t'_{5i}$  – температура внутрішньої стінки  $i$ -ої поверхні, що передає теплоту, °С;

$q_i$  – густина теплового потоку через першу поверхню, що передає теплоту, Вт/м<sup>2</sup>.

При проведенні розрахунків температура  $t_{1i}$  приймається рівною заданій температурі навколишнього середовища ( $t_{oc}$ ) для більшості поверхонь побутового холодильника, що передають теплоту. У випадку розташування конденсатора уздовж задньої стінки холодильника при застосуванні природної циркуляції охолодженого повітря в камерах значення температури  $t_{1i}$  для даної поверхні варто приймати, у середньому, на 1...3 градуса вище значення  $t_{oc}$ . Для компресійного відділення прийняте значення  $t_{1i}$  на 2...4 градуса перевищує температуру навколишнього середовища. При розрахунках поверхні дна холодильника температура  $t_{1i}$  задається на 1...3 градуса вище температури  $t_{oc}$ . При застосуванні системи охолодження із примусовою циркуляцією охолодженого повітря («No frost») температура  $t_{1i}$  для задньої стінки холодильника дорівнює температурі навколишнього середовища, значення  $t_{1i}$  для компресійного відділення приймається на 1...3 градуса вище  $t_{oc}$ .

Значення температури повітря усередині відповідної камери  $t_{5i}$  при розрахунках більшості поверхонь, що передають теплоту, приймається рівним заданим температурам усередині відповідних камер ( $t_{нтк}$ ,  $t_{мк}$ ,  $t_{хк}$ ).

У випадку, якщо поверхня випарника безпосередньо прилягає до внутрішньої стінки поверхні, що передає теплоту, значення  $t_{5i}$  відповідає температурі повітря на відстані 5...10 мм від поверхні випарника та приймається на 0,5...2 градуса нижче заданої температури усередині камери. При розрахунках холодильної камери  $t_{5i}$  для поверхні дверей на 0,5...1,5 градуса вище  $t_{хк}$ , а при нижньому розташуванні холодильної камери для поверхонь компресійного відділення та дна значення  $t_{5i}$  може на 0,5...1,5 градуса перевищувати величину температури  $t_{хк}$ .

Визначення значень температур зовнішніх і внутрішніх стінок камер холодильника проводиться розрахунковим шляхом з урахуванням опору шару повітря, що прилягає до даних поверхонь. Для цього обчислюються попередні значення термічного опору зовнішнього ( $R_{1i}$ ) і внутрішнього ( $R_{5i}$ ) шару повітря:

$$R_{1i} = \frac{\delta_{1i}}{\lambda_{1i}} ; \quad R_{5i} = \frac{\delta_{5i}}{\lambda_{5i}} , \quad (9.6)$$

де  $\delta_{1i}, \delta_{5i}$  – товщина шару повітря, що прилягає до зовнішньої та внутрішньої стінки  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, м;  
 $\lambda_{1i}, \lambda_{5i}$  – коефіцієнти теплопровідності шару зовнішнього повітря та шару повітря усередині відповідної камери, Вт/(м·К).

При проведенні розрахунків термічних опорів  $R_{1i}$  та  $R_{5i}$  приймається допущення про те, що товщина повітряного прошарку, що прилягає до зовнішньої стінки  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, дорівнює товщині шару повітря, що прилягає до внутрішньої стінки ( $\delta_{1i} = \delta_{5i}$ ), та становить 0,005 м для вертикальних поверхонь і 0,01 м для горизонтально орієнтованих поверхонь.

Значення коефіцієнтів теплопровідності повітря  $\lambda_{1i}$  та  $\lambda_{5i}$  обирається з таблиці (додаток 19) залежно від значень температур  $t_{1i}$ ,  $t_{5i}$  і відносної вологості  $\varphi$  зовнішнього повітря в розрахунках приймається рівною 50...70% для повітря усередині холодильної камери  $\varphi = 70...80\%$ , для низькотемпературної і морозильної, камер  $\varphi = 80...90\%$ .

Сумарний термічний опір ( $R_i$ )  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, з урахуванням прийнятих допущень визначається сумою термічних опорів її елементів:

$$R_i = R_{1i} + R_{2i} + R_{3i} + R_{4i} + R_{5i} = \frac{\delta_{1i}}{\lambda_{1i}} + \frac{\delta_{2i}}{\lambda_{2i}} + \frac{\delta_{3i}}{\lambda_{3i}} + \frac{\delta_{4i}}{\lambda_{4i}} + \frac{\delta_{5i}}{\lambda_{5i}}, \quad (9.7)$$

де  $R_{2i}, R_{3i}, R_{4i}$  – термічний опір відповідно стінки зовнішньої шафи, шару теплоізоляції та стінки внутрішньої шафи  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Різниця температур по обидві сторони кожного з елементів  $i$ -ої поверхні, що передає теплоту, ( $\Delta t_{ji}$ ) пропорційна термічному опору даного елемента ( $R_{ji}$ ):

$$\Delta t_{ji} = \frac{\Delta t_i}{R_i} \cdot R_{ji}; \quad (9.8)$$

$$\Delta t_i = t_{1i} - t_{5i}. \quad (9.9)$$

Температура стінки зовнішньої шафи  $i$ -ої поверхні, що передає теплоту, холодильника ( $t'_{1i}$ ) з урахуванням співвідношення (9.8) визначається в такий спосіб:

$$t'_{1i} = t_{1i} - \Delta t_{1i} = t_{1i} - \frac{\Delta t_i}{R_i} \cdot R_{1i}. \quad (9.10)$$

Температура стінки внутрішньої шафи  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, холодильника ( $t'_{5i}$ ) обчислюється зі співвідношення (9.11):

$$t'_{5i} = t_{5i} - (\Delta t_{2i} + \Delta t_{3i} + \Delta t_{4i}) = t_{5i} - \frac{\Delta t_i}{R_i} \cdot (R_{2i} + R_{3i} + R_{4i}). \quad (9.11)$$

Після обчислення температур  $t'_{1i}$  та  $t'_{5i}$  за рівнянням теплового балансу (9.5) розраховується густина теплового потоку  $i$ -ої поверхні, що передає теплоту:

$$q_i = \frac{\lambda_{3i}}{\delta_{3i}} \cdot (t_{1i} - t_{5i}). \quad (9.12)$$

Значення коефіцієнтів тепловіддачі зовнішньої та внутрішньої стінок  $i$ -ї поверхні, що передає теплоту, також обчислюється з рівняння теплового балансу:

$$\alpha_{1i} = \frac{q_i}{t_{1i} - t_{1i}^*}; \quad \alpha_{5i} = \frac{q_i}{t_{5i}^* - t_{5i}}. \quad (9.13)$$

На основі отриманих значень коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha_{1i}$  та  $\alpha_{5i}$  за допомогою рівняння (9.4) розраховуються значення коефіцієнта теплопередачі для  $i$ -ї поверхні  $k_i$ .

Площі зовнішніх стінок поверхонь, що передають теплоту,  $F_i$  у рівнянні (9.3) обчислюються за заданими геометричними, розмірами зовнішньої шафи холодильника.

Значення різниці температур  $\Delta t_i$  у рівнянні (9.3) визначаються за співвідношенням (9.9).

Після обчислення складові рівняння (9.3) розраховуються значення теплонадходжень  $Q_{oc_i}$  для кожної поверхні, що передає теплоту, холодильника та за співвідношенням (9.2) визначаються сумарні теплонадходження з навколишнього середовища.

*9.1.2. Теплонадходження від повітрообміну.* Повітрообмін в охолоджуваному просторі камер холодильника відбувається за рахунок інфільтрації при відкриванні дверей та через ущільнення дверних прорізів. Кількість зовнішнього повітря, що надходить у камеру в результаті повітрообміну, залежить від внутрішнього обсягу камери, підтримуваної в ній температури, її призначення, просторового розташування, частоти та тривалості відкривання дверей, профілю дверного ущільнювача, щільності його прилягання до поверхні. Точний облік всіх перерахованих факторів при проведенні розрахунків зробити неможливо, тому при обчисленні величини теплового навантаження від повітрообміну використовують експериментальні дані.

Середні теплонадходження від, повітрообміну  $Q_{нов}$  розраховуються зі співвідношення:

$$Q_{нов} = G \cdot (i_{зов} - i_{вс}), \quad (9.14)$$

де  $G$  – масова витрата зовнішнього повітря, що надходить в охолоджувану камеру, кг/с;

$i_{зов}$ ,  $i_{вс}$  – ентальпія відповідно зовнішнього повітря та повітря усередині камери холодильника, кДж/кг.



Орієнтовно середні теплонадходження від повітрообміну, тобто втрати тепла, що обумовлені проникненням холодного повітря через нещільності в огороженні, на підставі експериментальних досліджень, можливо розраховувати залежно від сумарних теплонадходжень крізь огороження, які у середньому становлять 20% теплонадходжень через огороження:

$$Q_{нов} = 0,2Q_{ос} \quad (9.15)$$

9.1.3. *Теплонадходження від продуктів.* Розрахунок теплового навантаження від продуктів проводиться залежно від ряду факторів, у тому числі, й від температури в камері холодильника. У випадку, якщо температура в холодильній камері ( $t_{хк}$ ) підтримується на рівні вище криоскопічної температури продуктів кількість теплоти, що виділяється при охолодженні ( $Q'_{np}$ ), визначається зі співвідношення:

$$Q'_{np} = \frac{m \cdot c' \cdot (t_{ноч} - t_{хк})}{\tau'} = \frac{m \cdot c' \cdot \Delta t'}{\tau'}, \quad (9.16)$$

де  $m$  – маса продуктів, кг;

$c'$  – питома теплоємність продуктів вище криоскопічної температури, кДж/(кг·К);

$t_{ноч}$  – початкова температура продуктів, °С;

$\tau'$  – тривалість охолодження продуктів від початкової температури до температури повітря в камері, год.

Значення коефіцієнтів теплоємності основних груп продуктів наведені в додатку 20.

При розрахунках максимальних теплонадходжень від продуктів необхідно враховувати, що в початковий період охолодження має місце більш висока різниця температур між продуктами та повітрям у камері, тобто, найбільші значення теплових навантажень. Якщо ця обставина не враховується при виборі компресора для холодильника та приймається допущення про рівномірність розподілу теплового навантаження протягом усього циклу охолодження, то в початковий період при максимальному навантаженні відбудеться значне підвищення температури в камері. У тих випадках, коли підвищення температури неприпустимо, необхідно враховувати коефіцієнт швидкості охолодження ( $\omega'$ ), який компенсує нерівномірність розподілу теплового навантаження в циклі охолодження:

$$Q'_{np} = \frac{m \cdot c' \cdot \Delta t'}{\tau' \cdot \omega'}. \quad (9.17)$$

Орієнтовно значення коефіцієнту швидкості охолодження приймають  $\omega' = 1$ .

При заморожуванні та зберіганні продуктів у низькотемпературній і морозильній камерах нижче кріоскопічної температури загальна кількість теплоти, що виділяється, складається із трьох складових: теплоти, що віддається при охолодженні продуктів від початкової температури до температури замерзання; теплоти, що віддається продуктами при їх заморожуванні, і теплоти, що віддається при охолодженні продуктів від кріоскопічної температури до кінцевої температури зберігання.

Питомі теплонадходження при зниженні температури продуктів до кріоскопічної температури ( $q'_{np}$ ) розраховуються за формулою (9.18):

$$q'_{np} = m \cdot c' \cdot (t_{noc} - t_{кр}), \quad (9.18)$$

де  $t_{кр}$  – кріоскопічна температура продуктів, °С.

Значення кріоскопічної температури для груп продуктів наведені в додатку 21.

Питома кількість теплоти, що віддається при заморожуванні продуктів ( $q''_{np}$ ), обчислюється за формулою:

$$q''_{np} = m \cdot r, \quad (9.19)$$

де  $r$  – прихована теплота замерзання продуктів, кДж/кг (додаток 19).

Питома кількість теплоти, що віддається при охолодженні від кріоскопічної температури до температури зберігання в низькотемпературній або морозильній камерах ( $q'''_{np}$ ), розраховується за рівнянням:

$$q'''_{np} = m \cdot c'' \cdot (t_{кр} - t_{зб}), \quad (9.20)$$

де  $c''$  – питома теплоємність заморожених продуктів, кДж/(кг·К), (додаток 19).

$t_{зб}$  – температура зберігання продуктів у низькотемпературній або морозильній камерах, °С.

При одночасному заморожуванні різнорідних продуктів величини питомих теплових навантажень  $q'_{np}$ ,  $q''_{np}$ ,  $q'''_{np}$  визначаються підсумовуванням відповідних теплонадходжень від кожного виду продуктів. Еквівалентне теплове навантаження від продуктів у низькотемпературній або морозильній камерах ( $Q''_{np}$ ) визначається за формулою:

$$Q''_{np} = \frac{q'_{np} + q''_{np} + q'''_{np}}{\tau'' \cdot \omega''}. \quad (9.21)$$

Загальне теплове навантаження від продуктів для холодильників або комбінованих холодильників-морозильників визначається як сума теплонадходжень у холодильну та низькотемпературну або морозильну камери:

$$Q_{np} = Q'_{np} + Q''_{np}. \quad (9.22)$$

*9.1.4. Додаткове теплонадходження.* Джерелами додаткового теплового навантаження в побутових холодильниках і морозильниках є лампи освітлення, електродвигуни привода вентиляторів для циркуляції охолодженого повітря в системах «No frost», електронагрівачі для відтавання «снігової шуби» з поверхні випарників та електронагрівачі для обігріву дверних прорізів низькотемпературних і морозильних камер.

При проведенні розрахунків теплоти, що виділяється лампами освітлення, можна знехтувати, тому що потужність ламп не перевищує 15 Вт, а їх включення відбувається тільки на час відкриття дверей.

Теплонадходження від електродвигунів вентиляторів, електронагрівачів для відтавання «снігової шуби» та обігріву дверних прорізів розраховуються за формулою:

$$Q_{\partial_i} = N_i \cdot z_i \cdot \gamma_i, \quad (9.23)$$

де  $N_i$  – споживана потужність, електродвигуном або електронагрівачем, Вт;  
 $z_i$  – коефіцієнт трансформації потужності в теплову енергію;  
 $\gamma_i$  – коефіцієнт робочого часу електродвигуна або електронагрівача;

$$\gamma_i = \frac{\tau_{pi}}{\tau_{\partial}}, \quad (9.24)$$

де  $\tau_{pi}$  – тривалість роботи електродвигуна конденсатора в годинах за одну добу, орієнтовно можна прийняти від 12 год до 17 год; тривалість роботи електродвигуна випарника – від 7 год до 12 год; нагрівача для обігріву дверних прорізів – 24 год.

$$\tau_{\partial} = 24 \text{ год.}$$

Значення коефіцієнта трансформації потужності в теплову енергію залежить від розташування та призначення електродвигуна або електронагрівача.

Для електродвигунів вентиляторів, що здійснюють циркуляцію охолодженого повітря в камери, і електронагрівачів дверних прорізів низькотемпературних і морозильних камер значення коефіцієнта  $z_i$ , у

середньому, перебувають у межах 0,3...0,5. Рекомендовані значення коефіцієнта трансформації потужності електронагрівачів для відтавання снігового покриву з поверхні випарників, які розташовані безпосередньо в камерах, перебувають у межах 0,6...0,8, у випадку розташування випарника поза камерами (у системах «No frost») – у межах 0,4...0,6.

При наявності декількох додаткових джерел теплоти проводиться розрахунок теплонадходжень від кожного з них і потім визначається сумарне значення додаткового теплового навантаження.

*9.1.5. Спрощений розрахунок експлуатаційного теплового навантаження.* Теплонадходження від продуктів, повітрообміну та додаткові теплонадходження в сумі являють собою експлуатаційне теплове навантаження. При проведенні теплових розрахунків морозильників і морозильних камер комбінованих холодильників – морозильників задається значення потужності заморожування, тому обчислення всіх складових експлуатаційного навантаження за методикою, що наведено вище, не викликає труднощів.

У випадку теплового розрахунку холодильних і низькотемпературних камер холодильників неможливо з достатнім ступенем точності визначити теплонадходження від продуктів, тому що їх асортимент, маса та тривалість зберігання змінюється в широких межах. У зв'язку зі складністю обліку перерахованих вище факторів для холодильних і низькотемпературних камер доцільне застосування спрощеного способу розрахунку експлуатаційного теплового навантаження.

При застосуванні спрощеного способу, експлуатаційне теплове навантаження обчислюється за наступним рівнянням:

$$Q_{експ} = V_{к} \cdot q_{експ} \cdot \Delta T, \quad (9.25)$$

де  $V_{к}$  – внутрішній об'єм холодильної або низькотемпературної камери, м<sup>3</sup>;  
 $q_{експ}$  – питома об'ємна експлуатаційна теплова навантаження;  
 $\Delta T$  – різниця температур між температурою навколишнього середовища та температурою всередині відповідної камери, К.

Питома об'ємна експлуатаційна теплова навантаження ( $q_{експ}$ ) для низькотемпературних і морозильних камер орієнтовно приймають – 4,528, середньотемпературних та плюсових – 4,04.

Загальне теплове навантаження відповідної камери визначається сумою теплонадходжень з навколишнього середовища та експлуатаційного теплового навантаження.

*9.1.6. Вибір холодопродуктивності холодильного агрегату та компресора.* Отримане в результаті розрахунків за формулою (9.1) значення сумарних теплонадходжень є тепловим навантаженням випарника. При розрахунках двокамерних холодильників із двохвипарниковою системою охолодження та комбінованих холодильників – морозильників проводиться

розрахунок теплонадходжень у кожному з камер і отримане значення є тепловим навантаженням випарника відповідної камери.

Визначення холодопродуктивності холодильного агрегату ( $Q_{xa}$ ) проводиться на основі розрахункового значення сумарного теплового навантаження з обліком циклічного режиму роботи холодильника:

$$Q_{xa} = \frac{Q}{\Omega}, \quad (9.26)$$

де  $\Omega$  – коефіцієнт робочого часу холодильника, середнє значення  $\Omega = 0,5 \dots 0,7$ .

Необхідна холодопродуктивність компресора розраховується, виходячи з того, що втрати холодопродуктивності в холодильному агрегаті становлять, у середньому, 20%:

$$Q_0 = 1,2 \cdot Q_{xa}. \quad (9.27)$$

Після розрахунку необхідної холодопродуктивності герметичного компресора за каталогами виробників компресорів проводиться підбір компресора для холодильника або морозильника залежно від отриманого значення  $Q_0$  та заданої температури кипіння холодоагенту  $t_0$ .

## 9.2. Розрахунок циклу холодильного агрегату

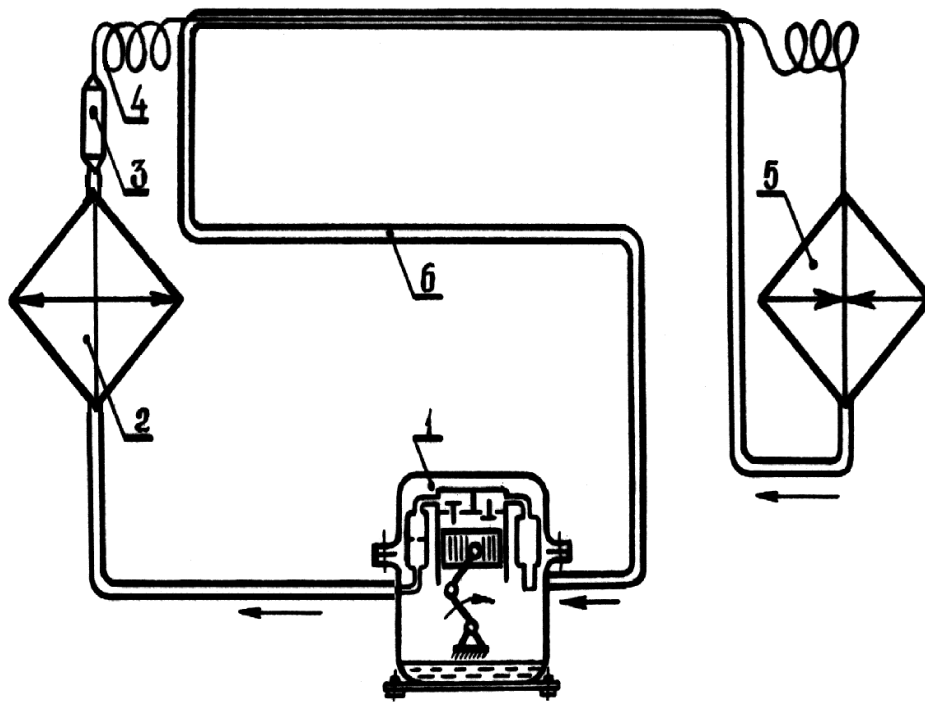
Цикл парової холодильної машини являє собою замкнуту послідовність процесів, що відбуваються в її окремих елементах. Схема холодильного агрегату компресійного побутового холодильника з однотемпературним рівнем кипіння холодоагенту представлена на рис. 9.1.

На рис. 9.2 наведено цикл компресійного холодильного агрегату в діаграмах температура – ентропія ( $T - S$ ) і тиск – ентальпія ( $\lg P - i$ ).

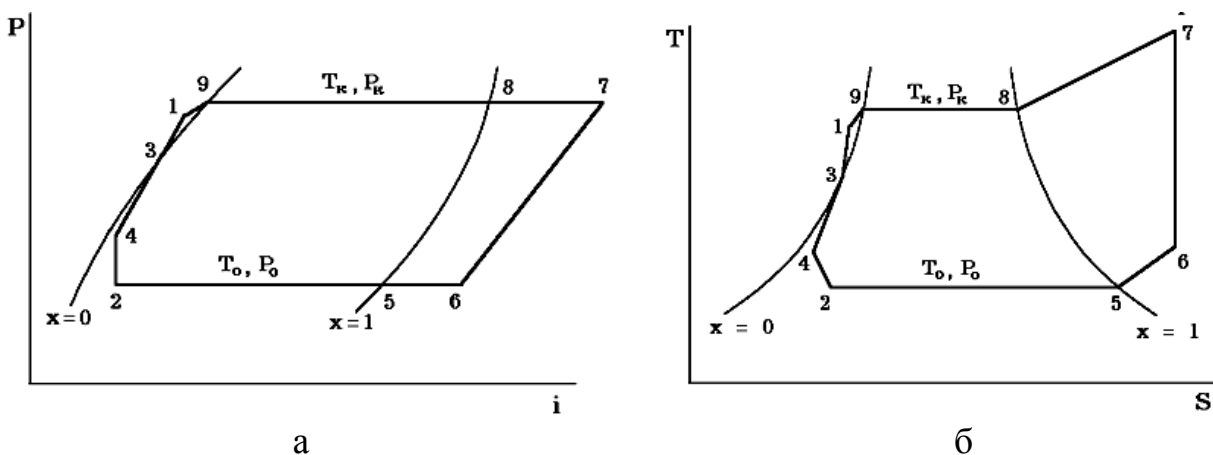
На діаграмах зображені наступні процеси, що протікають в холодильному агрегаті:

– лінія 2–5 – ізотермічний ( $t = \text{const}$ ) і ізобаричний ( $P = \text{const}$ ) процес кипіння холодоагенту у випарнику. Масовий видатковий паровміст холодоагенту в області вологої пари змінюється від  $x = x_2$  (точка 2) до  $x = 1$  (права прикордонна крива). Точка 2 характеризує початок, а точка 5 – закінчення процесу кипіння, тобто в точці 5 – 100% пари;

– лінія 5–6 – процес перегріву усмоктуваної пари у трубці регенеративного теплообмінника, що відсмоктує, при проходженні холодильного агента з випарника в компресор. Процес протікає при постійному тиску ( $P = \text{const}$ ) і підвищенні температури. Перегрів пари відбувається за рахунок теплообміну з рідким холодоагентом у капілярній трубці (лінія 3–4);



**Рисунок 9.1 – Принципова схема холодильного агрегату побутового компресійного холодильника:** 1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – цеолітовий патрон; 4 – капілярна трубка; 5 – випарник; 6 – всмоктувальний трубопровід; 1 – 6 – вузлові точки зображені на  $T - S$  і  $\lg P - i$  діаграмах



**Рисунок 9.2 – Теоретичний цикл роботи холодильного агрегату побутового холодильника на діаграмах:** а – у координатах  $T - S$ ; б – у координатах  $\lg P - i$ .  
**Процеси:** 2–5 – кипіння; 5–6 – перегрів пари; 6–7 – стиск; 7–8 – відведення теплоти; 8–9 – конденсація; 9–1 – переохолодження рідини; 1–3 – дроселювання при теплообміні з навколишнім середовищем; 3–4 – дроселювання при регенеративному теплообміні; 4–2 – адіабатичні дроселювання

– лінія 6–7 – процес адіабатичного (ізоентропного) стиску в циліндрі компресора. У процесі ізоентропічного стиску постійною є ентропія ( $S = \text{const}$ ), всі інші параметри змінюються. Адіабатичним є процес, що проходить без теплообміну з навколишнім середовищем;

– лінія 7–8 – процес відводу теплоти від перегрітої пари холодоагенту, що починається від нагнітального клапана компресора та закінчується в конденсаторі, коли температура холодоагенту знижується до температури конденсації при даному тиску. У цьому процесі постійним залишається тиск ( $P = \text{const}$ );

– лінія 8–9 – процес конденсації, що відбувається в конденсаторі при постійних значеннях тиску ( $P = \text{const}$ ) і температури ( $t = \text{const}$ ). У процесі конденсації знижується паровміст від  $x = 1$  до  $x = 0$ . Точка 9 характеризує закінчення процесу, коли повністю закінчений фазовий перехід холодоагенту з пароподібного стану в рідкий;

– лінія 9–1 – процес переохолодження рідини на виході з конденсатора та у фільтрі-осушувачі, тобто зниження її температури нижче значення температури конденсації;

– лінія 1–3 – процес дроселювання рідкого холодоагенту в капілярній трубці при теплообміні з навколишнім середовищем. Процес відбувається при зниженні температури та тиску холодоагенту;

– лінія 3–4 – процес дроселювання холодоагенту в капілярній трубці при регенеративному теплообміні з парами в усмоктувальному трубопроводі. У процесі знижується температура та тиск холодоагенту, відбувається утворення незначної кількості пари;

– лінія 4–2 – ізоентальпійний процес дроселювання ( $i = \text{const}$ ) у капілярній трубці безпосередньо перед входом у випарник. Відбувається зниження тиску та температури холодоагенту до значень температури та тиску кипіння.

Для розрахунку теоретичного циклу холодильного агрегату задаються наступні основні параметри:

$t_o$  – температура кипіння холодоагенту у випарнику,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_k$  – температура конденсації холодоагенту в конденсаторі,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_n$  – температура переохолодження рідини після регенеративного теплообмінника,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{np}$  – температура перегріву пари, що усмоктується у циліндр компресора,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{oc}$  – температура навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

Розрахунок теоретичного циклу за вихідними даними проводиться шляхом визначення параметрів робочої речовини в вузлових точках за допомогою таблиць та діаграм термодинамічних властивостей холодоагенту (додаток 22 та 23).

У таблицях термодинамічних властивостей холодоагенту термодинамічні параметри насиченої рідини позначаються буквами з одним штрихом ( $v', s', i'$ ), а параметри насиченого (вологої пари) із двома штрихами ( $v'', s'', i''$ ). Залежно від фазового стану холодоагенту в процесах циклу холодильного агрегату з таблиці вибираються відповідні термодинамічні параметри реперних точок.

Розрахунок циклу зручно починати з визначення основних параметрів точок, які перебувають на лініях насичення, тобто точок 5, 8, 9, 3. Параметри цих точок можливо визначити з термодинамічної діаграми або таблиці термодинамічних властивостей холодоагенту на лінії насичення.

Параметри точки 5 ( $P_o, v_5, i_5, S_5$ ) знаходять з термодинамічної діаграми або з таблиці – за заданою температурою кипіння  $t_o$ .

Термодинамічні характеристики точки 8 ( $P_k, v_8, i_8, S_8$ ), що відповідає початку процесу конденсації, визначають з термодинамічної діаграми або з таблиці – за заданою температурою конденсації  $t_k$  для насиченої пари холодоагенту.

Параметри точки 9 ( $P_k, v_9, i_9, S_9$ ) визначаються таким же чином, але якщо використовується таблиця – за температурою  $t_k$ , але для рідкої фази холодоагенту.

Термодинамічні параметри точки 3 ( $P_3, v_3, i_3, S_3$ ) визначаються за заданою температурою  $t_3 = t_{oc}$  для насиченої рідини.

Термодинамічні характеристики точки 1, що відповідає початку процесу дроселювання та перебуває в області переохолодженої рідини ( $v_1, i_1, S_1$ ), визначаються за заданою температурою переохолодження  $t_1 = t_n$  для рідкої фази холодоагенту. У випадку, якщо температура  $t_n$  не задана, її значення розраховується зі співвідношення:

$$t_1 = t_k - (2...4). \quad (9.28)$$

Як видно з рис. 9.2, точка 1 розташована в зоні переохолодженої рідини, тиск холодоагенту не відповідає тиску насичення при температурі  $t_1$  і обчислення необхідно проводити залежно від тиску  $P_k$ :

$$P_1 = P_k - (0,03 - 0,05) \cdot 10^5 \text{ Па}. \quad (9.29)$$

Основні параметри точок 6 і 7, що відповідають процесу ізоентропійного стиску, визначаються за допомогою діаграм або з таблиці термодинамічних властивостей пари холодоагенту.

Значення питомого об'єму, ентальпії та ентропії перегрітої пари у точці 6 ( $v_6, i_6, S_6$ ) визначаються за тиском  $P_o$  та температурою перегріву  $t_{np} = t_6$ .

Термодинамічні параметри точки 7, що відповідає закінченню процесу стиску в циліндрі компресора, визначають за тиском  $P_k$ . Другим вихідним параметром є ентропія, що в ізоентропійному процесі постійна:  $S_7 = S_6$ .

Точки 4 і 2 циклу холодильного агрегату відповідають процесу дроселювання, що супроводжується утворенням деякої кількості пари холодоагенту. Дані точки розташовані на діаграмі в області паровологої суміші холодоагенту, тому питомий об'єм, ентальпія та ентропія не можуть бути визначені безпосередньо з діаграм та таблиць. Перераховані параметри стану залежать від температури, тиску та масового витратного паровмісту та визначаються розрахунковим шляхом з використанням даних, що отримані графічним шляхом або з таблиць.



Температура та ентальпія холодоагенту в точці 4 ( $t_4, i_4$ ) розраховується з рівняння теплового балансу регенеративного теплообмінника [4; 10]:

$$t_4 = t_3 - \frac{c_{(5-6)} \cdot (t_6 - t_5)}{c_{(3-4)}}; \quad (9.30)$$

$$i_4 = i_3 - (i_6 - i_5); \quad (9.31)$$

де  $c_{(3-4)}, c_{(5-6)}$  – середня питома теплоємність холодоагенту, кДж/(кг·К), відповідно в капілярній трубці та усмоктувальному трубопроводі:

$$c_{(3-4)} = \frac{c_3 + c_4}{2}; \quad c_{(5-6)} = \frac{c_5 + c_6}{2}, \quad (9.32)$$

де  $c_3, c_4$  – питома теплоємність рідкого холодоагенту в капілярній трубці, кДж/(кг·К);  
 $c_5, c_6$  – питома теплоємність пар холодоагенту в усмоктувальному трубопроводі, кДж/(кг·К).

Значення питомої теплоємності в точці 3 визначається з таблиці додатка 24 за температурою  $t_{oc}$ , у точках 5 і 6 – з таблиці додатка 25 за температурами  $t_o$  та  $t_{np}$ . Питома теплоємність у точці 4 задається залежно від температури навколишнього середовища в такий спосіб:

- при  $t_{oc}=20$  °С питома теплоємність  $c_4$  вибирається за температурою мінус 15 °С,
- при  $t_{oc}=25$  °С питома теплоємність  $c_4$  вибирається за температурою мінус 13 °С,
- при  $t_{oc}=32$  °С питома теплоємність  $c_4$  вибирається за температурою мінус 10 °С,
- при  $t_{oc}=43$  °С питома теплоємність  $c_4$  вибирається за температурою мінус 5 °С.

За розрахованим значенням температури  $t_4$  з таблиці додатка 25 визначається тиск  $P_4$ . Масовий витратний паровміст у точці 4 ( $x_4$ ) обчислюється зі співвідношення:

$$x_4 = \frac{i_4 - i_4''}{i_4'' - i_4'}, \quad (9.33)$$

де  $i_4', i_4''$  – ентальпія рідкої та парової фази холодоагенту, кДж/кг, при температурі  $t_4$  (додаток 22 або 23).

Значення питомого об'єму та ентропії обчислюються за допомогою табличних даних додатку 22 і паровмісту  $x_4$ :

$$v_4 = v_4' + x_4 \cdot (v_4'' - v_4'); \quad (9.34)$$

$$S_4 = S'_4 + x_4 \cdot (S''_4 - S'_4), \quad (9.35)$$

де  $v'_4, v''_4$  – питомий об'єм рідкого та пароподібного холодоагенту, м<sup>3</sup>/кг, при температурі  $t_4$ ;  
 $S'_4, S''_4$  – ентропія рідкого та пароподібного холодоагенту, кДж/(кг·К), при температурі  $t_4$ .

У точці 2 циклу холодильного агрегату задані значення температури холодоагенту  $t_2 = t_0$ , тиску  $P_2 = P_0$  та відоме значення ентальпії  $i_2 = i_4$ , тому що процес дроселювання 4 – 2 є ізоентальпійним. Масовий витратний паровміст  $x_2$  обчислюється зі співвідношення:

$$x_2 = \frac{i_2 - i'_2}{i''_2 - i'_2}, \quad (9.36)$$

де  $i'_2, i''_2$  – ентальпія рідкої та парової фази холодоагенту, кДж/кг, при температурі  $t_2 = t_0$  (додаток 22 або 23).

Значення питомого об'єму та ентропії розраховуються за табличним даними додатка 22 і паровмісту  $x_2$ :

$$v_2 = v'_2 + x_2 \cdot (v''_2 - v'_2); \quad (9.37)$$

$$S_2 = S'_2 + x_2 \cdot (S''_2 - S'_2), \quad (9.38)$$

де  $v'_2, v''_2$  – питомий об'єм рідкої та парової фази холодоагенту, м<sup>3</sup>/кг, при температурі  $t_0$ ;  
 $S'_2, S''_2$  – ентропія рідкого та пароподібного холодоагенту, кДж/(кг·К), при температурі  $t_0$ .

Результати визначення параметрів холодильного агента заносяться в таку таблицю:

Таблиця

**Параметри холодильного агента у вузлових точках**

Номер точки	Параметри					
	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{МПа}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$i, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж/кг}\cdot\text{К}$	стан

На основі розрахунку термодинамічних параметрів вузлових точок проводиться обчислення наведених нижче основних характеристик циклу холодильного агрегату.

1. Питома масова холодопродуктивність, кДж/кг:

$$q_0 = i_5 - i_2. \quad (9.39)$$

2. Питома ізоентропійна робота компресора, кДж/кг:

$$l_s = i_7 - i_6. \quad (9.40)$$

3. Питома кількість теплоти, що відводиться через конденсатор, кДж/кг:

$$q_\kappa = i_8 - i_9. \quad (9.41)$$

4. Холодильний коефіцієнт теоретичного циклу:

$$\varepsilon = q_0 / l_s. \quad (9.42)$$

5. Масова витрата холодоагенту, що циркулює в контурі холодильного агрегату, кг/с:

$$G_a = Q_0 / q_0. \quad (9.43)$$

6. Ізоентропійна потужність компресора, кВт:

$$N_s = G_a \cdot l_s. \quad (9.44)$$

7. Дійсна об'ємна продуктивність компресора, м<sup>3</sup>/с:

$$V_\partial = G_a \cdot v_6. \quad (9.45)$$

### 9.3. Розрахунок процесу кипіння холодоагенту у випарнику

Необхідна площа поверхні випарника, що передає теплоту, розраховується з рівняння [7]:

$$F_B = \frac{Q_B}{k_B \cdot \Delta T}, \quad (9.46)$$

де  $Q_B$  – теплове навантаження на випарник, Вт;

$k_B$  – коефіцієнт теплопередачі випарника, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta T$  – середня логарифмічна різниця температур, К.

Середня логарифмічна різниця температур розраховується зі співвідношення [2]:

$$\Delta T = \frac{(T_{нов1} - T_0) - (T_{нов2} - T_0)}{\ln \frac{T_{нов1} - T_0}{T_{нов2} - T_0}}, \quad (9.47)$$

де  $T_{нов1}$  – температура повітря в камері холодильника наприкінці робочої частини циклу, К (орієнтовно  $T_{нов1} = 278$  К);  
 $T_{нов2}$  – температура повітря в камері холодильника на початку робочої частини циклу, К (орієнтовно  $T_{нов2} = 283$  К);  
 $T_0$  – температура кипіння холодильного агента, К.

Коефіцієнт теплопередачі випарника обчислюється з рівняння:

$$k_B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1B}} + \frac{\delta_B}{\lambda_B} + \frac{1}{\alpha_{2B} \cdot \psi_B \cdot E_B}}, \quad (9.48)$$

де  $\alpha_{1B}$  – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні каналів випарника, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\alpha_{2B}$  – коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні випарника, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $E_B$  – коефіцієнт ефективності оребрення, ( $E_B = 0,95$ );  
 $\delta_B$  – товщина стінки каналів випарника, м, ( $\delta_B = 0,002$  м);  
 $\lambda_B$  – коефіцієнт теплопровідності стінки випарника, Вт/(м·К);  
 $\psi_B$  – коефіцієнт оребрення випарника, ( $\psi_B = 6$ );

$$\psi_B = \frac{F_B}{F'_B}, \quad (9.49)$$

де  $F'_B$  – площа внутрішньої поверхні каналів випарника.

Значення коефіцієнта теплопровідності стінки для алюмінієвих випарників у діапазоні температур від 263 К до 243 К перебувають у межах  $\lambda_B = 200 \dots 203$  Вт/(м·К).

Коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні випарника розраховується для бульбашкового режиму течії парорідинної суміші холодоагенту в процесі кипіння [8]:

$$\alpha_{1B} = 0,075 \cdot \left[ 1 + 10 \cdot \left[ \frac{\rho_0''}{\rho_0' - \rho_0''} \right]^{\frac{2}{3}} \right] \cdot \left[ \frac{(\lambda_0')^2}{\nu_0' \cdot \sigma_0 \cdot T_0} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot q_{1\epsilon}^{\frac{2}{3}}, \quad (9.50)$$

де  $\rho_0'$ ,  $\rho_0''$  – густина відповідно рідкого та пароподібного холодоагенту при температурі кипіння  $T_0$ , кг/м<sup>3</sup>;  
 $\lambda_0'$  – коефіцієнт теплопровідності рідкого холодоагенту при температурі  $T_0$ , Вт/(м·К);  
 $\nu_0'$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідкого холодоагенту при  $T_0$ , м<sup>2</sup>/с;  
 $\sigma_0$  – коефіцієнт поверхневого натягу рідкого холодоагенту на границі з насиченою парою, Н/м;  
 $q_{1\epsilon}$  – густина теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>.

Значення теплофізичних параметрів холодоагенту при температурі кипіння визначаються з додатків 24, 25. Коефіцієнт поверхневого натягу для холодоагенту R134A наведено в додатках 24, 25.

Густина теплового потоку в процесі кипіння холодоагенту R134A визначається за формулою [5]:

$$q_{1B} = A^{2,5} \cdot \left[ \frac{\omega_B \cdot \rho_0'}{d_{1B}} \right]^{0,5} \cdot [T_{cl} - T_0]^{2,5}, \quad (9.51)$$

де  $\omega_B$  – середня швидкість пароводяної суміші холодоагенту в випарнику, м/с;  
 $d_{1B}$  – внутрішній діаметр каналів випарника, м ( $d_{1B} = 0,006$ м);  
 $T_{cl}$  – температура внутрішньої стінки випарника, К;  
 $A$  – коефіцієнт, що залежить від температури кипіння холодоагенту.

Внаслідок високої теплопровідності матеріалу стінки випарника різницю температур ( $T_{cl} - T_0$ ) рекомендується задавати в межах (0,5...0,8) К.

Середня швидкість потоку холодоагенту визначається з умови нерозривності потоку:

$$\omega_B = \frac{4 \cdot G_a \cdot \nu_\epsilon}{\pi \cdot d_{1B}^2}, \quad (9.52)$$

де  $\nu_\epsilon$  – середній питомий об'єм холодоагенту у випарнику, м<sup>3</sup>/кг.

$$v_6 = v_2 + x_6 \cdot (v_5 - v_2), \quad (9.53)$$

де  $v_2, v_5$  – питомий об'єм холодоагенту в точках 2 і 5 циклу холодильного агрегату, м<sup>3</sup>/кг (див. підрозділ 9.2);  
 $x_6$  – середнє значення масової витрати паровмісту холодоагенту в процесі кипіння у випарнику:

$$x_6 = 0,5 \cdot (1 - x_2), \quad (9.54)$$

де  $x_2$  – масовий витратний паровміст холодоагенту на вході у випарник (підрозділ 9.2).

Коефіцієнт  $A$  для холодоагенту R134A у діапазоні температур кипіння  $T_0 = 243 \dots 263$  К обчислюється зі співвідношення:

$$A = 0,0085 \cdot T_0 - 1,223. \quad (9.55)$$

У зв'язку зі складним характером теплообміну між повітрям і зовнішньою поверхнею випарника, обумовленим процесами конвективного теплообміну та теплообміну випромінюванням, що протікають одночасно, коефіцієнт тепловіддачі на зовнішньої оребреній поверхні випарника складається із двох складових [8]:

$$\alpha_{2B} = \alpha_{2K} + \alpha_{2\text{вн}}, \quad (9.56)$$

де  $\alpha_{2K}$  – коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні випарника, що враховує вплив конвективного теплообміну, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\alpha_{2\text{вн}}$  – коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні випарника, який враховує вплив теплообміну випромінюванням, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Середня величина конвективної складового коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha'_{2K}$  при вільній конвекції повітря в поверхні випарника розраховується за рівнянням [8]:

$$\alpha'_{2K} = \frac{Nu_B \cdot \lambda_{\text{пов}}}{d_{2B}}, \quad (9.57)$$

де  $Nu_B$  – критерій Нуссельта;  
 $d_{2B}$  – зовнішній діаметр каналів випарника, м ( $d_{2B} = 0,008$ м);  
 $\lambda_{\text{пов}}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К), при температурі  $T_w = 0,5 (T_{KM} + T_{c2})$ , (див. додаток 19);  
 $T_{KM}$  – задана температура повітря в камері, К;  
 $T_{c2}$  – температура зовнішньої поверхні випарника, К;

$$Nu_B = 0,8 \cdot [Pr_{нов} \cdot Cr]^{0,25} \cdot \left[ 1 + \left[ 1 + \frac{1}{(Pr_{нов})^{0,5}} \right]^2 \right]^{-0,25}, \quad (9.58)$$

де  $Pr_{нов}$  – число Прандтля для повітря при  $T_w$  (див. додаток 19), що характеризує співвідношення молекулярних властивостей у процесі переносу теплоти;  
 $Cr$  – число Грасгофа, що характеризує ефективність сили, яка піднімає, що викликає вільну конвекцію повітря [11];

$$Cr = \frac{g \cdot \beta \cdot d_{2в}^3 \cdot (T_{км} - T_{с2})}{v_{нов}^2}, \quad (9.59)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м<sup>2</sup>/с;  
 $\beta = 1/T_{км}$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря, 1/К;  
 $v_{нов}^2$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м<sup>2</sup>/с при температурі  $T_w$  (див. додаток 19).

Температура зовнішньої поверхні випарника  $T_{с2}$  залежить від температури кипіння холодоагенту та температури в камері. Для випарника морозильної та низькотемпературної камер  $T_{с2} = T_0 + (1...2)$  К, для випарника холодильної камери  $T_{с2} = T_0 + (2...10)$  К.

У випадку горизонтального розташування випарника при орієнтуванні теплообмінної поверхні лицевою частиною донизу за середнє значення конвективної складової тепловіддачі приймається  $\alpha''_{2к} = 0,5 \cdot \alpha'_{2к}$  [8].

На процес конвективного теплообміну також впливають такі фактори, як термічний опір шару снігового покриву, що утворюється на поверхні випарника, термічний опір контакту оребрення із трубами випарника. З урахуванням впливу перерахованих факторів рівняння для розрахунку конвективної складової коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha'_{2к}$  приймає наступний вигляд [8]:

$$\alpha_{2к} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'_{2к}} + \frac{\delta_{сш}}{\lambda_{сш}} + R_{кн}}, \quad (9.60)$$

де  $\lambda_{сш}$  – коефіцієнт теплопровідності шару снігового покриву,  $\lambda_{сш} = 0,12$  Вт/(м·К);  
 $\delta_{сш}$  – припустима товщина шару снігового покриву на поверхні випарника, у середньому,  $\delta_{сш} = 0,002$  м;  
 $R_{кн}$  – термічний опір контакту оребрення із трубами випарника, у середньому,  $R_{кн} = 4,5 \cdot 10^{-3}$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт.

При розрахунках випарників холодильників із примусовою циркуляцією охолодженого повітря величина термічного опору шару снігового покриву в рівнянні (9.60) розраховується, виходячи з товщини шару інею  $\delta_{сш} = 0,001$  м.

Для випарників холодильних камер у розрахунках враховується вплив води, що утворюється на поверхні за умов циклічної роботи холодильника. У цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_{2к}$  розраховується з рівняння (9.60а):

$$\alpha_{2к} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{2к}} + \frac{\delta'_{вд}}{\lambda'_{вд}} + R_{кн}}, \quad (9.60а)$$

де  $\delta'_{вд}$  – умовна товщина шару води на поверхні випарника, приймається рівною  $\delta'_{вд} = 0,001$  м;  
 $\lambda'_{вд}$  – коефіцієнт теплопровідності води,  $\lambda'_{вд} = 0,56$  Вт/(м·К).

Складова коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням розраховується на основі закону Ньютона-Ріхмана [7]:

$$\alpha_{2вн} = \frac{q_{2В}}{T_{км} - T_{с2}}, \quad (9.61)$$

де  $q_{2В}$  – густина теплового потоку на зовнішній поверхні випарника.

Величина густини теплового потоку обчислюється з рівняння [8]:

$$q_{2л} = \sigma \cdot \frac{T_{км}^4 - T_{с2}^4}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1}, \quad (9.62)$$

де  $\sigma$  – постійна Стефана – Больцмана,  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  
 $\varepsilon_c$  – коефіцієнт повного нормального випромінювання поверхні, в розрахунках приймається рівним  $\varepsilon_c = 0,85 \dots 0,95$ ;  
 $\varepsilon_v$  – коефіцієнт повного нормального випромінювання вологого повітря, приймається, у середньому, рівним  $\varepsilon_v = 0,3$ .

Після розрахунку коефіцієнта тепловіддачі на зовнішній поверхні випарника по рівнянню (9.48) обчислюється значення коефіцієнта теплопередачі  $k_B$ .

Для систем із примусовою циркуляцією охолодженого повітря («No frost») у рівняння (9.46) підставляється значення коефіцієнта теплопередачі  $k_{ВП}$ , зі співвідношення (9.63) [2]:



$$k_{B\Pi} = 1,5 \cdot k_B. \quad (9.63)$$

Площа внутрішньої поверхні каналів випарника обчислюється зі співвідношення  $F'_B = F_B/\Psi_B$ , довжина трубопроводу випарника – з відомої залежності (9.64):

$$l_B = \frac{F'_B}{\pi \cdot d_{1B}}. \quad (9.64)$$

#### 9.4. Розрахунок процесу конденсації холодоагенту в конденсаторі

*9.4.1. Теплова стабілізація.* Зона теплової стабілізації містить у собі нагнітальний патрубок компресора, нагнітальний трубопровід і частину конденсатора. На ділянці теплової стабілізації відбувається відвід теплоти від перегрітих парів холодоагенту за рахунок теплообміну з навколишнім середовищем. Температура пари холодоагенту знижується до температури насичення при даному тиску, тобто до температури конденсації.

Площа поверхні, що передає теплоту ділянки теплової стабілізації розраховується з рівняння [7]:

$$F_T = \frac{Q_T}{k_T \cdot \Delta T_T}, \quad (9.65)$$

де  $Q_T$  – кількість теплоти, що відводиться від холодоагенту на ділянці теплової стабілізації, Вт;  
 $k_T$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\Delta T$  – середня логарифмічна різниця температур, К.

Кількість теплоти, що відводиться від холодоагенту в зоні теплової стабілізації, розраховується зі співвідношення [5]:

$$Q_T = (i_7 - i_8) \cdot G_a, \quad (9.66)$$

де  $i_7, i_8$  – ентальпія відповідно перегрітих і насичених парів холодоагенту, визначена з розрахунку циклу холодильного агрегату (підрозділ 9.2).

Середня логарифмічна різниця температур обчислюється в такий спосіб:

$$\Delta T_T = \frac{(T_{c1} - T_{oc}) - (T_{c2} - T_{oc})}{\ln \frac{(T_{c1} - T_{oc})}{(T_{c2} - T_{oc})}}, \quad (9.67)$$

де  $T_{c1}$  – температура стінки нагнітального патрубку біля виходу з компресора, К;  
 $T_{c2}$  – температура стінки конденсатора наприкінці ділянки теплової стабілізації, К.

При проведенні розрахунків температура  $T_{c1}$ , у середньому, приймається рівною  $T_{c1} = T_7 - 20$  К, температура  $T_{c2}$  задається з умови:  $T_{c2} = T_\kappa - 2$  К.

Коефіцієнт теплопередачі ділянки теплової стабілізації розраховується з рівняння [7]:

$$k_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1T}} + \frac{\delta_c}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_{2T}}}, \quad (9.68)$$

де  $\alpha_{1T}$ ,  $\alpha_{2T}$  – коефіцієнти тепловіддачі відповідно на внутрішній і зовнішній поверхнях;  
 $\lambda_m$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу трубопроводів при температурі  $T_c = 0,5 \cdot (T_{c1} + T_{c2})$ ;  
 $\delta_c$  – товщина стінки трубопроводу, м ( $\delta_c = 0,001$ ).

Коефіцієнт теплопровідності для трубопроводів з міді при  $T = 273$  К становить  $\lambda_m = 393$  Вт/(м·К), при  $T = 373$  К –  $\lambda_m = 385$  Вт/(м·К), для проміжних значень температури обчислюється на основі наведених даних методом лінійної інтерполяції.

Коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні ділянки теплової стабілізації розраховується на основі критеріального рівняння [8]:

$$\alpha_{1T} = \frac{Nu_{1x} \cdot \lambda_x}{d_{1mp}}, \quad (9.69)$$

де  $Nu_{1x}$  – число Нуссельта, що характеризує інтенсивність тепловіддачі від пару холодоагенту [8];  
 $\lambda_x$  – коефіцієнт теплопровідності парів холодоагенту при температурі  $T_x = 0,5 \cdot [(T_7 - 15) + T_\kappa]$ , Вт/(м·К), що визначається з додатка 25;  
 $d_{1mp}$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м ( $d_{1mp} = 0,004$  м).

$$Nu_{1x} = \frac{\xi}{8} \cdot \frac{Re_{1x} \cdot Pr_{1x}}{1 + \frac{900}{Re_{1x}} + 12,7 \cdot \left[ \frac{\xi}{8} \right]^{0,5} \cdot \left[ Pr^{2/3} - 1 \right]}, \quad (9.70)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору,  $\xi = 0,072$ ;  
 $Re_{1x}$  – число Рейнольдса, що характеризує співвідношення сил інерції й сил в'язкості в потоці парів холодоагенту;  
 $Pr_{1x}$  – число Прандтля, що характеризує співвідношення молекулярних властивостей переносу кількості руху та теплоти, який визначається з додатків 24, 25, при температурі  $T_x$ .

$$Re_{1x} = \frac{\omega_{1x} \cdot d_{1mp}}{v_{1x}}, \quad (9.71)$$

де  $v_{1x}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості холодоагенту, м<sup>2</sup>/с, який визначається з додатка 24, 25 при температурі  $T_x$ ;  
 $\omega_{1x}$  – середня швидкість холодоагенту на ділянці теплової стабілізації, м/с;

$$\omega_{1x} = \frac{2 \cdot Ga \cdot (v_7 + v_8)}{\pi \cdot d_{1mp}^2}, \quad (9.72)$$

де  $v_7, v_8$  – питомий об'єм перегрітих і насичених парів холодоагенту, м<sup>3</sup>/кг, який визначається при розрахунку циклу холодильного агрегату (див. підрозділ 9.2).

$$\xi = 0,11 \left[ \frac{\Delta}{d_{1mp}} + \frac{68}{Re_{1x}} \right]^{0,25}, \quad (9.73)$$

де  $\Delta$  – еквівалентна абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу, м (для мідних трубопроводів  $\Delta = 1,5 \cdot 10^{-6}$  м).

Коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні ділянки термічної стабілізації розраховується  $\alpha_{2T}$  як сума двох складових: коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_k$ , що враховує вплив конвективного теплообміну, і коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha_{en}$ , що враховує вплив теплообміну випромінюванням [8]:

$$\alpha_{2T} = \alpha_k + \alpha_{en}; \quad (9.74)$$

$$\alpha_k = \frac{Nu_{2T} \cdot \lambda_{нов}}{d_{2mp}}, \quad (9.75)$$

де  $Nu_{2T}$  – число Нуссельта [5];  
 $\lambda_{нов}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі  $T_{oc}$ , Вт/(м · К) (додаток 19);  
 $d_{2mp}$  – зовнішній діаметр трубопроводу, м ( $d_{2mp} = 0,005$  м).

$$Nu_{2T} = 0,8 \cdot [Pr_{нов} \cdot Cr_k]^{0,25} \cdot \left[ 1 + \left[ 1 + \frac{1}{Pr_{нов}^{0,5}} \right]^2 \right]^{-0,25}, \quad (9.76)$$

де  $Pr_{нов}$  – число Прандтля для повітря при температурі  $T_{oc}$  (додаток 19);  
 $Cr_k$  – число Грасгофа, що характеризує ефективність піднімальної сили, що викликає вільноконвективний рух потоку [11];

$$Cr_k = \frac{g \cdot \beta \cdot d_{2mp}^3 \cdot (T_{cm} - T_{oc})}{\nu_{нов}^2}, \quad (9.77)$$

де  $\beta = 1/T_{oc}$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря, 1/К;  
 $T_{cm} = 0,5 \cdot (T_{c1} + T_{c2})$  – середня температура зовнішньої поверхні ділянки теплової стабілізації, К;  
 $\nu_{нов}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при температурі  $T_{oc}$ , м<sup>2</sup>/с (додаток 19).

Складова коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням розраховується на основі закону Ньютона–Ріхмана [7]:

$$\alpha_{вн} = \frac{q_{вн}}{T_{cm} - T_{oc}}, \quad (9.78)$$

де  $q_{вн}$  – густина теплового потоку, яка визначається з рівняння [8]:

$$q_{вн} = \sigma \cdot \frac{T_{cm}^4 - T_{oc}^4}{\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_v} - 1}, \quad (9.79)$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  – постійна Стефана – Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  
 $\varepsilon_c$  – коефіцієнт повного нормального випромінювання поверхні конденсатора,  $\varepsilon_c = 0,9$ ;  
 $\varepsilon_v$  – коефіцієнт повного нормального випромінювання вологого повітря,  $\varepsilon_v = 0,3$ .

Розрахована за формулою (9.65) площа зовнішньої поверхні ділянки теплової стабілізації є сумою площі гладкого трубопроводу без оребрення  $F_{zmp}$  від компресора до початку конденсатора та оребреного трубопроводу  $F_{omr}$ , що є частиною конденсатора:

$$F_T = F_{zmp} + F_{omr}. \quad (9.80)$$

Довжина трубопроводу без оребрення  $F_{zmp}$  вибирається конструктивно, потім розраховується площа зовнішньої поверхні гладкого та оребреного трубопроводів:

$$F_{zmp} = l_{zmp} \cdot \pi \cdot d_{zmp}; \quad (9.81)$$

$$F_{omr} = F_T - F_{zmp}. \quad (9.82)$$

Площа внутрішньої поверхні оребреної ділянки з коефіцієнтом оребрення, рівним коефіцієнту оребрення конденсатора  $\psi_K = 4$ , визначається відношенням:

$$F'_{omr} = F_{omr} / \psi_K. \quad (9.83)$$

Після розрахунку площі внутрішньої поверхні оребреної ділянки обчислюється довжина оребреного трубопроводу.

9.4.2. *Конденсація холодоагенту.* Площа поверхні, що передає теплоту, основної частини конденсатора, у якій відбувається процес конденсації холодоагенту, обчислюється з рівняння:

$$F_K = \frac{Q_K}{k_K \cdot \Delta T_K}, \quad (9.84)$$

де  $Q_K$  – теплове навантаження конденсатора, Вт;  
 $k_K$  – коефіцієнт теплопередачі конденсатора, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\Delta T_K$  – середня різниця температур, К.

Теплове навантаження конденсатора розраховується в такий спосіб:

$$Q_K = q_K \cdot G_a, \quad (9.84a)$$

де  $q_K$  – питома кількість теплоти, що відводиться від конденсатора, яка визначена в результаті розрахунку циклу холодильного агрегату (див. підрозділ 9.2);  
 $G_a$  – масова витрата холодоагенту, що циркулює в контурі холодильного агрегату, кг/с (див. підрозділ 9.2).

Середня різниця температур являє собою різницю між температурою конденсації холодоагенту та температурою оточуючого середовища:

$$\Delta T_K = T_K - T_{oc}. \quad (9.85)$$

Коефіцієнт теплопередачі конденсатора розраховується з рівняння [8]:

$$k_K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1K}} + \frac{\delta_K}{\lambda_K} + \frac{1}{\alpha_{2K} \cdot \psi_K \cdot E_K}}, \quad (9.86)$$

де  $\alpha_{1K}$  – коефіцієнт тепловіддачі холодоагенту, що конденсується, наведений до внутрішньої поверхні конденсатора, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\alpha_{2K}$  – коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні конденсатора, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\psi_K$  – коефіцієнт оребрення конденсатора ( $\psi_K = 4$ );  
 $E_K$  – коефіцієнт ефективності оребрення ( $E_B = 0,95$ );  
 $\lambda_K$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу конденсатору, Вт/(м·К), ( $\lambda_K = 389,48$  Вт/(м·К));  
 $\delta_K$  – товщина стінки конденсатору, м ( $\delta_K = 0,001$  м).

Коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні при конденсації холодоагенту розраховується з рівняння [1]:

$$\alpha_{1K} = C_K \cdot \left[ \frac{g \cdot \lambda_x^3 \cdot q_K}{\nu_x \cdot \nu_x \cdot l_K \cdot \Delta T_{1K}} \right], \quad (9.87)$$

де  $C_K$  – коефіцієнт, що залежить від просторового розташування каналів: для горизонтального  $C_K=0,07$ ; для вертикального  $C_K=0,11$ ;  
 $\lambda_x$  – коефіцієнт теплопровідності рідкого холодоагенту при температурі  $T_K$ , Вт/(м·К) (додаток 24);  
 $\nu_x$  – питомий об'єм рідкого холодоагенту при температурі  $T_K$ , м<sup>3</sup>/кг (додаток 22);  
 $\nu_x$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідкого холодоагенту при температурі  $T_K$ , м<sup>2</sup>/с (додаток 24);  
 $l_K$  – визначальний розмір конденсатора, м;  
 $\Delta T_{1K}$  – середня різниця між температурою конденсації холодоагенту та температурою внутрішньої стінки, К.

Різниця температур  $\Delta T_{1K}$  у розрахунках приймається рівною 1...2 К.

Визначальний розмір конденсатора залежить від просторового розташування його каналів. Для конденсаторів з вертикальним розташуванням

каналів величина  $l_K$  відповідає висоті конденсатора:  $l_K = 0,8 \dots 1,2$  м. Для конденсаторів з горизонтальним розташуванням каналів за визначальний розмір приймається внутрішній діаметр трубопроводу.

Коефіцієнт тепловіддачі на зовнішній поверхні конденсатора розраховується як сума двох складових: коефіцієнта тепловіддачі, що враховує вплив конвективного теплообміну та коефіцієнта тепловіддачі, що враховує вплив теплообміну випромінюванням [8]:

$$\alpha_{2K} = \alpha_K + \alpha_{gn}. \quad (9.88)$$

Конвективна складова коефіцієнта тепловіддачі розраховується із критеріального рівняння теорії подібності [8]:

$$\alpha_K = \frac{Nu_K \cdot \lambda_{нов}}{d_{2mp}}, \quad (9.89)$$

де  $Nu_K$  – число Нуссельта;  
 $\lambda_{нов}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря при температурі  $T_{oc}$ , Вт/(м·К) (додаток 19);  
 $d_{2mp}$  – зовнішній діаметр трубопроводу, м ( $d_{2mp} = 0,005$ ).

Значення критерію Нуссельта розраховується залежно від розташування каналів конденсатора.

Для конденсаторів з вертикальним розташуванням каналів число Нуссельта обчислюється з рівняння [8]:

$$Nu_K = 0,8 \cdot [Pr_{нов} \cdot Cr_k]^{0,25} \cdot \left[ 1 + \frac{1}{Pr_{нов}^{0,5}} \right]^2 \Bigg]^{-0,25}, \quad (9.90)$$

де  $Pr_{нов}$  – число Прандтля для повітря при температурі  $T_{oc}$  (додаток 19);  
 $Cr_k$  – число Грасгофа, що характеризує ефективність піднімальної сили, що викликає вільноконвективний рух потоку.

Для конденсаторів з горизонтальним розташуванням каналів число Нуссельта розраховується з рівняння [8]:

$$Nu_K = 1,18 \cdot [Pr_{нов} \cdot Cr_k]^{0,125}. \quad (9.90a)$$

Число Грасгофа обчислюється зі співвідношення [11]:

$$Cr_k = \frac{g \cdot \beta \cdot d_{2mp}^3 \cdot (T_{3nK} - T_{oc})}{\nu_{нов}^2}, \quad (9.91)$$

де  $\beta = 1/T_{oc}$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення повітря, 1/К;  
 $T_{3nK} = T_K - (2...3)$  – середня температура зовнішньої поверхні конденсатора, К;  
 $\nu_{нов}$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при температурі  $T_{oc}$ , м<sup>2</sup>/с (додаток 19).

Складова випромінюванням коефіцієнта тепловіддачі розраховується на основі закону Ньютона–Ріхмана [7]:

$$\alpha_{en} = \frac{q_{en}}{T_{3nK} - T_{oc}}, \quad (9.92)$$

де  $q_{en}$  – густина теплового потоку, яка визначається з рівняння (9.79) з урахуванням середньої температури зовнішньої поверхні конденсатора  $T_{3nK}$ .

Отримане в результаті розрахунку за рівнянням (9.84) значення являє собою площу зовнішньої оребреної поверхні конденсатора. Площа внутрішньої поверхні конденсатора визначається з урахуванням коефіцієнта оребрення:

$$F'_K = F_K / \psi_K. \quad (9.93)$$

На основі значення площі внутрішньої поверхні та внутрішнього діаметра трубопроводу розраховується довжина трубопроводу конденсатора, крок змійовика, задається крок ребер для дротяно-трубних конденсаторів і обчислюється кількість ребер.

*9.4.3. Переохолодження рідкого холодоагенту.* Переохолодження рідкого холодоагенту після конденсації дозволяє знизити величину втрат холодопродуктивності в процесі дроселювання та підвищити питому холодопродуктивність холодильного агрегату. Зонаю переохолодження рідини є частина конденсатора, у якій відбувається гідродинамічна та тепла стабілізація потоку рідкого холодоагенту при зниженні його температури від температури конденсації  $T_K$  до температури переохолодження  $T_1$ .

Площа поверхні ділянки переохолодження рідкого холодоагенту, що передає теплоту, розраховується з рівняння:



$$F_{II} = \frac{Q_{II}}{k_{II} \cdot \Delta T_{II}}, \quad (9.94)$$

де  $Q_{II}$  – кількість теплоти, що відводиться на ділянці переохолодження, Вт;  
 $k_{II}$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\Delta T_{II}$  – середня логарифмічна різниця температур між зовнішньою поверхнею ділянки переохолодження та температурою навколишнього середовища, К.

Кількість теплоти, що відводиться від холодоагенту в зоні переохолодження, розраховується з рівняння:

$$Q_{II} = (i_9 - i_1) \cdot G_a, \quad (9.95)$$

де  $i_9, i_1$  – ентальпія рідкого холодоагенту в точках 9 і 1 циклу холодильного агрегату, кДж/кг (див. підрозділ 9.2);  
 $G_a$  – масова витрата холодоагенту, що циркулює в контурі холодильного агрегату, кг/с (див. підрозділ 9.2).

Середня різниця температур обчислюється в такий спосіб:

$$\Delta T_{II} = \frac{(T_{II1} - T_{oc}) - (T_{II2} - T_{oc})}{\ln \frac{T_{II1} - T_{oc}}{T_{II2} - T_{oc}}}, \quad (9.96)$$

де  $T_{II1}$  – температура стінки конденсатора на початку ділянки переохолодження рідкого холодоагенту, К;  
 $T_{II2}$  – температура стінки конденсатора наприкінці ділянки переохолодження, К.

При проведенні розрахунків приймається, що  $T_{II1} = T_K - 1$  К;  $T_{II2} = T_1 - 1$  К.

Коефіцієнт теплопередачі зони переохолодження рідкого холодоагенту  $k_{II}$  обчислюється аналогічно коефіцієнту теплопередачі  $k_T$  ділянки теплової стабілізації (п.р. 9.4.1) за формулами (9.68) – (9.70).

## 9.5. Розрахунок процесу регенеративного теплообміну

Регенеративний теплообмінник являє собою частину капілярної трубки та усмоктувального трубопроводу, які перебувають у тепловому контакті (див. рис. 9.1).

Довжина регенеративного теплообмінника розраховується за рівнянням:

$$L_{PT} = \frac{Q_{5-6}}{\Delta T_{PT} \cdot k_{PT} \cdot \varepsilon_{PT}}, \quad (9.97)$$

де  $Q_{5-6}$  – кількість теплоти, передана від капілярної трубки усмоктувальному трубопроводу, Вт;  
 $\Delta T_{PT}$  – середня логарифмічна різниця температур холодоагенту в регенеративному теплообміннику, К;  
 $k_{PT}$  – коефіцієнт теплопередачі регенеративного теплообмінника, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $\varepsilon_{PT}$  – параметр, що залежить від конструкції регенеративного теплообмінника.

З умови теплового балансу регенеративного теплообмінника, ізольованого від навколишнього середовища, кількість теплоти, переданої від капілярної трубки усмоктувальному трубопроводу, дорівнює кількості теплоти, що поглинається усмоктувальним трубопроводом. Кількість переданої від капілярної трубки теплоти обчислюється зі співвідношення:

$$Q_{5-6} = c_{5-6} \cdot G_a \cdot (t_6 - t_5), \quad (9.98)$$

де  $c_{5-6}$  – середня питома теплоємність холодоагенту в усмоктувальному трубопроводі, кДж/(кг·К) (додаток 24, 25);

$$c_{5-6} = \frac{c_5 + c_6}{2}. \quad (9.99)$$

Середня логарифмічна різниця температур у регенеративному теплообміннику обчислюється за формулою:

$$\Delta T_{PT} = \frac{(T_3 - T_4) - (T_6 - T_5)}{\ln \frac{T_3 - T_4}{T_6 - T_5}}. \quad (9.100)$$

Значення температури холодоагенту в точках 3, 4, 5 і 6 визначаються при проведенні розрахунку циклу холодильного агрегату (підрозділ 9.2). За значеннями температури холодоагенту за допомогою таблиць додатків 24 і 25 визначають необхідні для даного розрахунку теплофізичні параметри.

Параметр  $\varepsilon_{PT}$  обирається залежно від конструкції регенеративного теплообмінника. Для регенеративного теплообмінника типу «труба в трубі» рекомендується задавати  $\varepsilon_{PT} = 1,7 \cdot 10^{-3}$ , для теплообмінника, у якому капілярна

трубка припаяна до усмоктувального трубопроводу,  $\varepsilon_{PT} = 1,2 \cdot 10^{-3}$ .

Коефіцієнт теплопередачі регенеративного теплообмінника, у якому капілярна трубка припаяна до усмоктувального трубопроводу, обчислюється за рівнянням:

$$k_{PT} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{3-4}} + \frac{\delta_1 + \delta_2}{\lambda_{mp}} + \frac{1}{\alpha_{5-6}}}, \quad (9.101)$$

де  $\delta_1, \delta_2$  – товщина стінок капілярної і усмоктувальної трубки відповідно, м ( $\delta_1 = 0,0006$  м;  $\delta_2 = 0,001$  м);

$\lambda_{mp}$  – теплопровідність матеріалу, з якого виготовлені трубопроводи, Вт/(м·К), (для мідних  $\lambda_{mp} = 380$  Вт/(м·К); для латунних  $\lambda_{mp} = 110$  Вт/(м·К));

$\alpha_{3-4}, \alpha_{5-6}$  – середні коефіцієнти тепловіддачі від холодоагенту в капілярній трубці та усмоктувальному трубопроводі, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Середні значення коефіцієнтів тепловіддачі в капілярній трубці та усмоктувальному трубопроводі розраховуються в такий спосіб:

$$\alpha_{3-4} = \frac{\alpha_3 + \alpha_4}{2}; \quad \alpha_{5-6} = \frac{\alpha_5 + \alpha_6}{2}. \quad (9.102)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від капілярної трубки в точці 3 обчислюється на основі теорії подібності:

$$\alpha_3 = Nu_3 \cdot \frac{\lambda_3}{D_1}, \quad (9.103)$$

де  $D_1$  – зовнішній діаметр капілярної трубки, м ( $D_1 = 0,002$  м);

$Nu_3$  – число Нуссельта:

$$Nu_3 = 0,021 \cdot Re_3^{0,8} Pr_3^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_3}{Pr_{3CT}} \right)^{0,25}, \quad (9.104)$$

де  $Re_3$  – число Рейнольдса в точці 3;

$Pr_3$  – число Прандтля в точці 3 (додаток 24);

$Pr_{3CT}$  – число Прандтля, обирається з додатку 10 за значенням  $t_{3CT}$ ;

$$t_{3CT} = \frac{t_1 + t_3}{2}. \quad (9.105)$$

$$\text{Re}_3 = \frac{\omega_3 \cdot D_1}{\nu_3}, \quad (9.106)$$

де  $\nu_3$  – кінематична в'язкість рідкого холодоагенту при температурі навколишнього середовища  $t_3$ , м<sup>2</sup>/с (додаток 24);  
 $\omega_3$  – швидкість потоку рідкого холодоагенту на вході в капілярну трубку, м/с, що обчислюється на основі рівняння безперервності потоку:

$$\omega_3 = \frac{G_a}{F_1} \cdot \nu_3, \quad (9.107)$$

де  $F_1$  – площа поперечного перерізу капілярної трубки, м<sup>2</sup>,  $F_1 \approx 0,5$ .  
 $\nu_3$  – питомий об'єм рідкого холодоагенту при температурі  $t_3$ , м<sup>3</sup>/кг (див. підрозділ 9.2);  
 $G_a$  – масова витрата холодоагенту, що циркулює в контурі холодильного агрегату, кг/с (див. підрозділ 9.2).

Число Прандтля обчислюється зі співвідношення:

$$\text{Pr}_3 = \frac{\nu_3}{a_3}, \quad (9.108)$$

де  $a_3$  – коефіцієнт теплопровідності, м<sup>2</sup>/с, який обирається з таблиць (додаток 24) за температурою  $t_3$ .

Коефіцієнт тепловіддачі від капілярної трубки в точці 4 обчислюється аналогічно точці 3.

Коефіцієнт тепловіддачі від пароподібного холодоагенту в усмоктувальному трубопроводі в точках 5 і 6 розраховується з рівнянь:

$$\alpha_5 = \text{Nu}_5 \cdot \frac{\lambda_5}{D_2}; \quad (9.109),$$

$$\alpha_6 = \text{Nu}_6 \cdot \frac{\lambda_6}{D_2}, \quad (9.110)$$

де  $D_2$  – зовнішній діаметр усмоктувального трубопровода, м ( $D_2 = 0,006$  м).

Значення числа Нуссельта для пароподібного холодоагенту в усмоктувальному трубопроводі обчислюється зі співвідношення:

$$Nu_5 = 0,23 \cdot Re_5^{0,65} \cdot Pr_5^{0,33}. \quad (9.111)$$

Число Нуссельта для парів холодоагенту в точці 6 визначається аналогічно точці 5.

Значення критеріїв Прандтля та Рейнольдса розраховуються для точок 4, 5 і 6 аналогічно точці 3 за формулами (9.106) – (9.108).

При проведенні розрахунків теплофізичні параметри холодоагенту для капілярної трубки (точки 3, 4) визначаються з таблиці додатка 24, для усмоктувального трубопроводу (точки 5, 6) – з додатка 25.

### 9.6. Розрахунок процесу дроселювання в капілярній трубці

Процес дроселювання холодоагенту поділяють на три етапи: дроселювання при теплообміні з навколишнім середовищем, дроселювання при регенеративному теплообміні з усмоктувальним трубопроводом і адіабатичне дроселювання – при проведенні розрахунків капілярна трубка також умовно розділяється на три ділянки. Перша являє собою частину капілярної трубки від виходу з фільтра-осушувача до початку регенеративного теплообмінника, друга – частина капілярної трубки, що входить до складу регенеративного теплообмінника, третя – частина капілярної трубки від виходу з теплообмінника до входу у випарник. Довжина другої ділянки капілярної трубки визначається при розрахунку регенеративного теплообмінника.

Довжина першої ділянки капілярної трубки розраховується з рівняння [6]:

$$L_{KT1} = \frac{Q_{1-3}}{k_1 \cdot \pi \cdot \Delta T_1}, \quad (9.112)$$

де  $Q_{1-3}$  – кількість теплоти, що відводиться від холодоагенту в процесі дроселювання при теплообміні з навколишнім середовищем, Вт;

$k_1$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta T_1$  – середня різниця температур між температурою холодоагенту та температурою навколишнього середовища, К.

Кількість теплоти, що відводиться від капілярної трубки на першій розрахунковій ділянці капілярної трубки, розраховується зі співвідношення:

$$Q_{1-3} = (i_3 - i_1) \cdot G_a, \quad (9.113)$$

де  $i_1, i_3$  – ентальпія холодоагенту в точках 1 і 3, кДж/кг, (див. підрозділ 9.2);

$G_a$  – масова витрата холодоагенту, що циркулює в контурі холодильного агрегату, кг/с (див. підрозділ 9.2).

Середня різниця температур визначається в такий спосіб:

$$\Delta T_1 = 0,5 \cdot (T_1 + T_3) \cdot G_a, \quad (9.114)$$

де  $T_1, T_3$  – температура холодоагенту на початку та кінці першої ділянки капілярної трубки, К (див. підрозділ 9.2).

Коефіцієнт теплопередачі першої ділянки капілярної трубки розраховується з рівняння:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1e} \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{mp}} + \frac{1}{\alpha_{1z} \cdot D_1}}, \quad (9.115)$$

де  $\alpha_{1e}, \alpha_{1z}$  – коефіцієнти тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхнях капілярної трубки, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  
 $D_1, d_1$  – зовнішній і внутрішній діаметри капілярної трубки, м ( $D_1 = 0,002$  м;  $d_1 = 0,0008$  м);  
 $\lambda_{mp}$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, з якого виготовлена капілярна трубка, Вт/(м·К), (для мідних  $\lambda_{mp} = 380$  Вт/(м·К); для латунних  $\lambda_{mp} = 110$  Вт/(м·К)).

Коефіцієнт тепловіддачі, наведений до внутрішньої поверхні капілярної трубки, розраховується із критеріального рівняння теорії подібності:

$$\alpha_{1e} = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{1x}}{d_1}, \quad (9.116)$$

де  $\lambda_{1x}$  – коефіцієнт теплопровідності рідкого холодоагенту, Вт/(м·К), при температурі  $T_{1m} = 0,5 \cdot (T_1 + T_3)$ , визначається з додатка 24.

$$Nu_1 = 0,021 \cdot Re_1^{0,8} \cdot Pr_1^{0,43} \cdot \left[ \frac{Pr_1}{Pr_3} \right]^{0,25}, \quad (9.117)$$

де  $Re_1$  – число Рейнольдса для потоку холодоагенту;  
 $Pr_1$  – число Прандтля для рідкого холодоагенту при температурі  $T_{1m}$  (додаток 24);  
 $Pr_3$  – число Прандтля для рідкого холодоагенту при температурі  $T_3$  (додаток 24).

Число Рейнольдса обчислюється з рівняння:

$$\text{Re}_1 = \frac{\omega_{1-3} \cdot d_1}{\nu_1}, \quad (9.118)$$

де  $\omega_{1-3}$  – середня швидкість потоку холодоагенту на першій ділянці капілярної трубки, м/с;  
 $\nu_1$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідкого холодоагенту, м<sup>2</sup>/с, при температурі  $T_{1m}$  (додаток 24).

Середня швидкість потоку  $\omega_{1-3}$  визначається як середнє арифметичне значень швидкості на початку та кінці першої ділянки капілярної трубки:

$$\omega_{1-3} = 0,5 \cdot (\omega_1 + \omega_3). \quad (9.119)$$

Швидкість потоку на початку та кінці першої ділянки капілярної трубки визначається з умови нерозривності потоку:

$$\omega_1 = \frac{G_a \cdot \nu_1}{f_1}, \quad \omega_3 = \frac{G_a \cdot \nu_3}{f_1}, \quad (9.120)$$

де  $\nu_1, \nu_3$  – питомий об'єм холодоагенту в точках 1 і 3 циклу холодильного агрегату, кг/м<sup>3</sup> (див. підрозділ 9.2);  
 $G_a$  – масова витрата холодоагенту, що циркулює в контурі холодильного агрегату, кг/с (див. підрозділ 9.2);  
 $f_1$  – площа внутрішнього поперечного перерізу капілярної трубки, м ( $f_1 \approx 0,5$ ).

Довжина другої ділянки капілярної трубки  $L_{KT2} = L_{PT}$ , як було зазначено вище, відповідає довжині регенеративного теплообмінника.

Довжина третьої адіабатичної ділянки капілярної трубки обчислюється з рівняння:

$$L_{KT3} = \frac{2 \cdot d_1 \cdot f_1^2}{G_a^2} \cdot \left[ \frac{(P_2 - P_4)}{\nu_2 \cdot \varepsilon_2} + \frac{G_a^2}{f_1^2 \cdot \varepsilon_2} \cdot \ln \frac{\nu_2}{\nu_4} \right], \quad (9.121)$$

де  $P_4, P_2$  – тиск холодоагенту на початку та прикінці адіабатичної ділянки капілярної трубки, МПа (див. підрозділ 9.2);  
 $\nu_4, \nu_2$  – питомий об'єм холодоагенту на початку та прикінці адіабатичної ділянки, м<sup>3</sup>/кг (див. підрозділ 9.2);  
 $\varepsilon_2$  – коефіцієнт гідравлічного опору течії потоку;

$$\varepsilon_2 = 0,11 \cdot \left[ \frac{\Delta}{d_1} + \frac{68}{\text{Re}_2} \right]^{0,25}, \quad (9.122)$$

де  $\Delta$  – еквівалентна абсолютна шорсткість внутрішньої поверхні капілярної трубки, м ( $\Delta = 1,5 \cdot 10^{-6}$ );  
 $\text{Re}_2$  – число Рейнольдса двофазного потоку холодоагенту;

$$\text{Re}_2 = \frac{\omega_{np} \cdot d_1}{\nu_2}, \quad (9.123)$$

де  $\omega_{np}$  – швидкість циркуляції парорідинної суміші холодоагенту в адіабатичній ділянці капілярної трубки, м/с;  
 $\nu_2$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідкого холодоагенту при температурі  $t_{2m} = 0,5 \cdot (t_4 + t_2)$ , (додаток 24);

$$\omega_{np} = 0,5 \cdot (\omega_{c4} + \omega_{c2}), \quad (9.124)$$

де  $\omega_{c4}$ ,  $\omega_{c2}$  – середня швидкість потоку холодоагенту на початку та наприкінці адіабатичної ділянки капілярної трубки;

$$\omega_{c4} = \frac{G_a \cdot \nu_4}{f_1} \cdot \left[ 1 + \left[ \frac{\nu_4''}{\nu_4'} - 1 \right] \cdot x_4 \right], \quad (9.125)$$

$$\omega_{c2} = \frac{G_a \cdot \nu_2}{f_1} \cdot \left[ 1 + \left[ \frac{\nu_2''}{\nu_2'} - 1 \right] \cdot x_2 \right]. \quad (9.126)$$

Довжина капілярної трубки визначається сумою трьох складових:

$$L_{KT} = L_{KT1} + L_{KT2} + L_{KT3}. \quad (9.127)$$



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Семенюк Д. П. Курсове проектування : методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Холодильне обладнання підприємств торгівлі, харчування, малих харчових виробництв» для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» освітньо-кваліфікаційний рівень підготовки – бакалавр / Д. П. Семенюк, О. В. Петренко ; Харк. держ. університет харчування та торгівлі. – Харків, 2010. – 39 с.
2. Холодильні установки : підручник / І. Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський [та ін.] ; за ред. І. Г. Чумака. – 6-е вид., перероб. та доп. – Одеса : Пальміра, 2006. – 552 с.
3. Холодильные машины : учебник для вузов / А. В. Бараненко [и др.] ; под общ. ред. Л. С. Тимофеевского. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Политехника, 2006. – 944 с.
4. Холодильные установки : підручник / Е. С. Курылев, В. В. Оносовский, Ю. Д. Румянцев. – СПб. : Политехника, 2002. – 575 с.
5. Брайдерт Г. Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры / Г. Й. Брайдерт. – М. : Техносфера, 2006. – 336 с.
6. Бараненко А. В. Холодильная технология пищевых продуктов : В 3 ч. Ч. 1. Теплофизические основы / А. Бараненко [и др.] ; – СПб. : Гиорд, 2007. – 224 с.
7. Колач С. Т. Холодильное оборудование для предприятий торговли и общественного питания : учебник для студ. высш. учеб. заведений / С. Т. Колач. – М. : Академия, 2003. – 240 с.
8. Бабакин Б. С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем : монография / Б. С. Бабакин. – Рязань : Узорочье, 2003. – 470 с.
9. Бабакин Б. С. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе / Б. С. Бабакин, В. И. Стефанчук, Е. Е. Ковтунов. – М. : Колос, 2000. – 160 с.
10. Железный В. П. Эколого-энергетические аспекты внедрения альтернативных хладагентов в холодильной технике / В. П. Железный, В. В. Жидков. – Донецк : Донбас, 1996. – 144 с.
11. Корякин-Черняк С. А. Холодильники от А до Я / С. А. Корякин-Черняк. – СПб. : Наука и техника, 2003. – 416 с.
12. Ландик В. И. Современные холодильники NORD / В. И. Ландик, А. Н. Горин. – СПб. : Наука и техника, 2003. – 144 с.

*Харківський державний університет харчування та торгівлі*

(повне найменування вищого навчального закладу)

*Навчально-науковий інститут харчових технологій та бізнесу*

(повне найменування інституту)

*Кафедра підготовки та перепідготовки фахівців  
холодильної та торговельної галузей*

(повна назва кафедри)

Допущено до захисту в ЕК

Директор ННІХТБ

к.т.н., доц. СЕРІК М.І.

(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

Допущено до захисту в ЕК

Зав. кафедри підготовки  
та перепідготовки фахівців  
холодильної та торговельної галузей

д.т.н., проф. ПОТАПОВ В.О.

(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

## ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

*бакалавр*

(освітній ступінь)

на тему

**ПРОЕКТ СИСТЕМИ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ  
РОЗПОДІЛЬНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА**

Виконав: студент 4 курсу, гр. ХМ-35.

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»

Спеціалізація: «Холодильні машини і установки»

(шифр і назва спеціальності та спеціалізації)

**ІВАНОВ А.А.**

(прізвище та ініціали)

Керівник

**Семенюк Д.П.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент

**Тормосов Ю.М.**

(прізвище та ініціали)

Харків – 2019

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ

Навчально-науковий інститут харчових технологій та бізнесу

Кафедра підготовки та перепідготовки фахівців холодильної та торговельної галузей

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»

Спеціалізація: «Холодильні машини та установки»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
д.т.н. професор  
Потапов В.О.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2019 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

**Іванову Андрію Андрійовичу**

1. Тема проекту «ПРОЕКТ СИСТЕМИ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ РОЗПОДІЛЬНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА»

керівник проекту: Семенюк Дмитро Павлович, к.т.н., доцент

затверджена наказом по університету від 03 квітня 2019 р. № 108 С

2. Термін здачі студентом закінченої роботи червень 2019 р.

3. Вихідні дані до проекту: Місце розташування холодильника – м. Харків.

Добове надходження продуктів: Сир – 30т; морозиво – 45т; масло – 45т; фрукти – 45т; консерви – 60т; м'ясо – 45т; риба – 45т. Температурні дані згідно вимог до зберігання відповідних продуктів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

(перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. Аналіз стану будівництва розподільних холодильників.

Планування машинних відділень холодильників. Механічний розділ.

Обслуговування холодильного обладнання.

Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу

(з точним позначенням обов'язкових креслень).

Розподільний холодильник – 1 аркуш А1. Компресорний цех – 1 аркуш А1.

Компресор одноступеневого стиснення – 1 аркуш А1.

Компресор двоступеневого стиснення – 1 аркуш А1.

Градириня – 1 аркуш А1. Повітроохолоджувач – 1 аркуш А1.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04 квітня 2019 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Вступ	04.04.19 – 06.04.19	
2.	Аналіз стану будівництва розподільних холодильників	07.04.19 – 15.04.19	
3.	Планування машинних відділень холодильників	16.04.19 – 25.04.19	
4.	Механічний розділ	26.04.19 – 05.05.19	
5.	Обслуговування холодильного обладнання	06.05.19 – 10.05.19	
6.	Висновки	11.05.19 – 12.05.19	
7.	Список використаних джерел	13.05.19 – 15.05.19	
8.	Оформлення ІЗ	16.05.19 – 20.05.19	
9.	Оформлення графічної частини	21.05.19 – 05.06.19	
10.	Захист	15.06.19	

Студент \_\_\_\_\_ Іванов А.А.  
( підпис )

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Семенюк Д.П.  
( підпис )

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 104 аркуші, 8 рисунків, 33 таблиці, 25 джерел.  
Графічна частина – 5 аркушів формату А1.

Об'єкт проектування – проект системи холодопостачання розподільного холодильника.

Мета проекту – розрахувати та сконструювати систему холодопостачання розподільного холодильника.

У процесі проектування, виходячи з необхідної кількості продуктів, які необхідно буде заморожувати та надалі зберігати в замороженому стані, проведено розрахунок необхідних площ та виконано планування холодильних камер холодильника.

В результаті проведених розрахунків спроектовано систему холодопостачання, яка забезпечить підтримання в усіх камерах холодильника необхідних параметрів.

Область застосування – підприємства харчової та переробної промисловості.

РОЗПОДІЛЬНИЙ ХОЛОДИЛЬНИК, ТЕПЛОПРИТОКИ, ХОЛОДИЛЬНА  
УСТАНОВКА, КОМПРЕСОР, ХОЛОДИЛЬНА ЦЕНТРАЛЬ,  
ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧ, КОНДЕНСАТОР

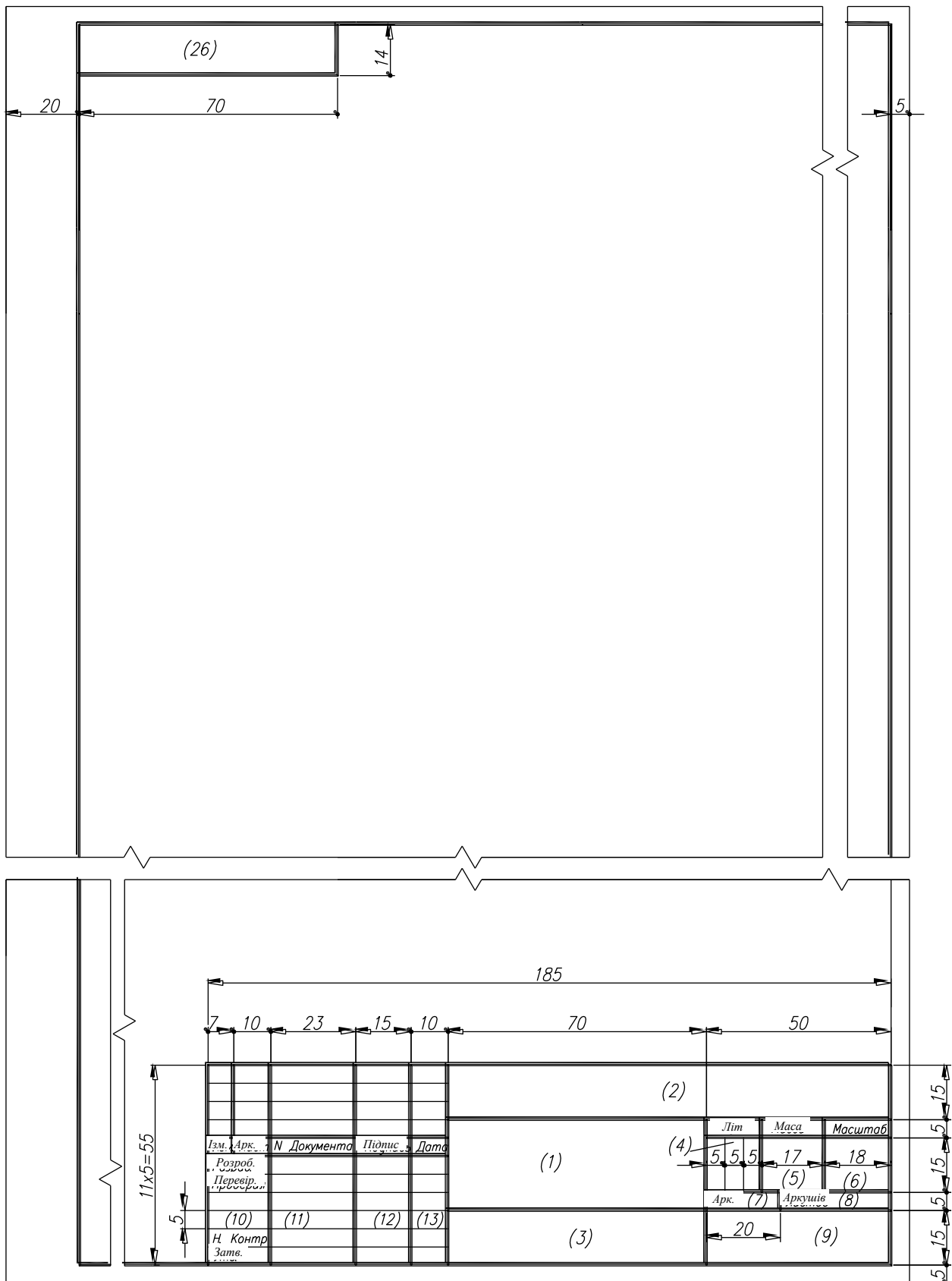
					ДПБ ХМ35.001.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Іванов А.А.					6	104
Перевір.		Семенов Д.П.				ХДУХТ, ХМ-35		
Реценз.								
Н. Контр.		Семенов Д.П.						
Затверд.		Потапов В.О.						

Основний напис для текстових документів

Blank area for the main text of the document.

					<i>ДПБ ХМ35.001.000ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>	<i>ВСТУП</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архівів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Іванов А.А.</i>					6	104
<i>Перевір.</i>		<i>Семенюк</i>				<i>ХДУХТ. ХМ-35</i>		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Семенюк</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Потапов</i>						

Основний напис для креслень та схем



## Заповнення граф основного напису на кресленнях та схемах

- **Графа 1** – найменування виробу, а також найменування документа, якщо документу присвоєно шифр (СК, ВЗ і т. ін.).

Приклади: БЛОК приготування  
Вигляд загальний

ДОЗАТОР  
Складальне креслення

КОРПУС

- **Графа 2** – позначення документа.

Приклади: ДПХМ24.021.001 СК – позначення складального креслення;  
ДПХМ317.002.003 ВЗ – позначення загального вигляду;  
ДПХМ18.011.005 – позначення креслення деталі.

- **Графа 3** – позначення матеріалу деталі (графу заповнюють тільки на кресленнях деталей).

Приклади: Сталь 40Х ГОСТ 4543-71;  
Круг  $\frac{В-50ГОСТ2591-71}{30-2-6ГОСТ1050-74}$ .

- **Графа 4** – літера “У”.
- **Графа 5** – маса виробу.
- **Графа 6** – масштаб (відповідно до ГОСТ 2.302-68).
- **Графа 7** – порядковий номер листа формату А1.
- **Графа 8** – загальна кількість листів формату А1 графічної частини дипломного проекту.
- **Графа 9** – найменування навчального закладу та номер групи

Приклад: ХДУХТ ХМ24

- **Графа 11** – прізвища осіб, що підписують документ. Прізвища розташовуються у такій послідовності:

Рядок “Розроб.” – прізвище розробника дипломного проекту;

Рядок “Перев.” – прізвище керівника проекту;

Рядок “Н.контр.” – прізвище особи, що перевіряє відповідність виконання дипломного проекту діючим нормативним документам та методичним рекомендаціям;

Рядок “Затв.” – прізвище завідуючого кафедрою.

Якщо диплом на одну тему виконується двома студентами, то в основному напису у **графі 10** робиться два рядки “Розроб”, а в **графі 11** записують відповідні прізвища студентів.

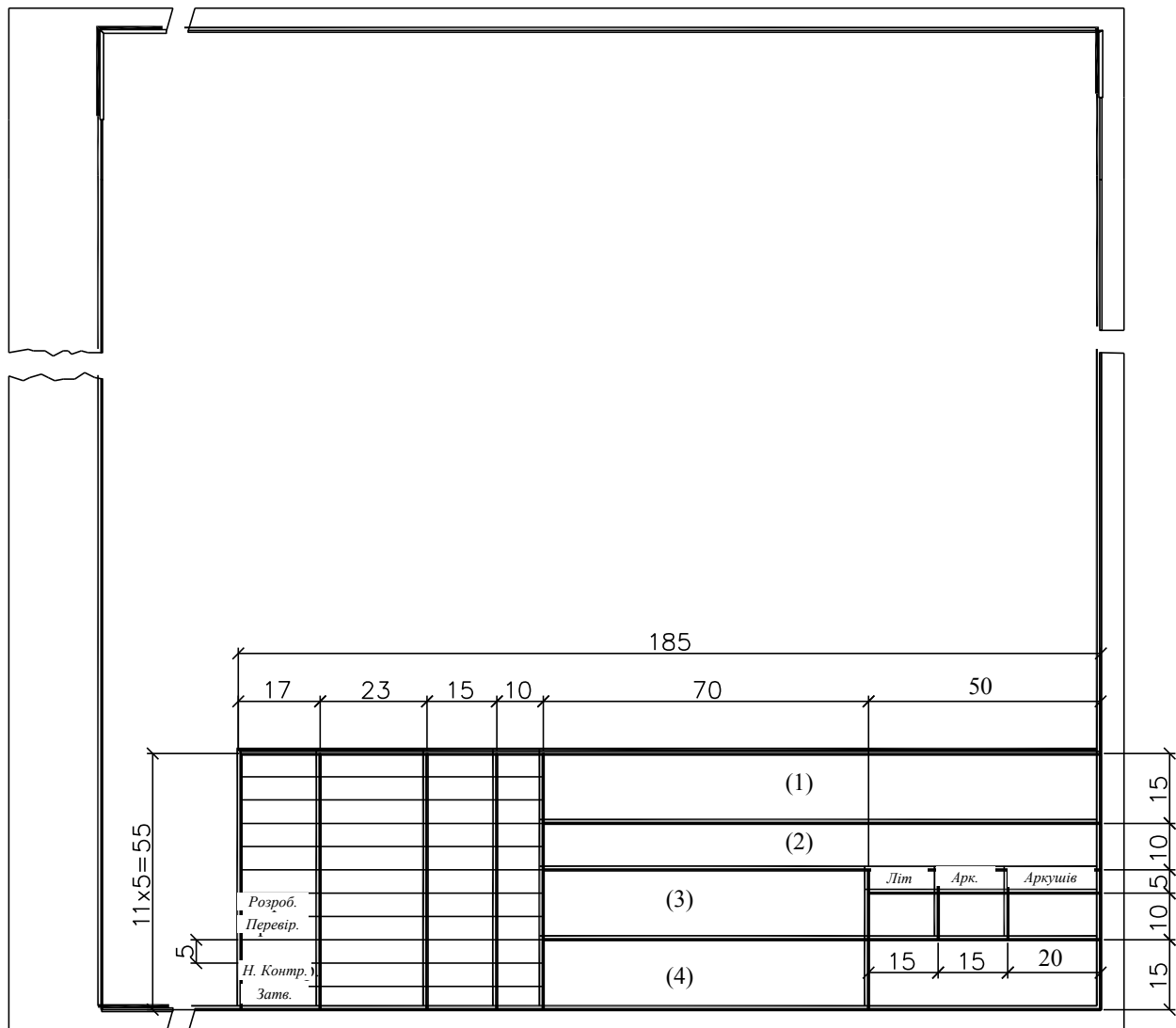
- **Графа 12** – підписи осіб, прізвища яких вказані в **графі 11**.
- **Графа 13** – дату підпису документа.
- **Графа 26** – позначення документа, яке повернено на 180°.







## Основний напис на кресленнях будівельного розділу



## Заповнення граф основного напису на будівельних кресленнях

Заповнення граф основного напису:

- **граф 1** – позначення виду будівельного креслення див. п. 2.3.

*Приклад:* ДПХМ28.002.001 ТХ – креслення технологічного планування;

ДПХМ319.022.005 ВК – креслення водопостачання та каналізації;

- **граф 2** – назва об'єкту, що розробляється у будівельному розділі;
- **граф 3** – “Будівельний розділ” проекту;
- **граф 4** – назва креслень, що розташовані на аркуші

*Приклад:* Технологічне планування цеху;

Водопостачання та каналізація першого поверху магазину



Приклад заповнення основного напису

					ДПМ16.007.005 СБ		
					ДОЗАТОР		
					Літ	Маса	Масштаб
Ізм.	Арк.	N Документа	Підпис	Дата	у		2:1
Розроб.		Врюкало			Складальне креслення		
Перевір.		Сомов			Арк. 6	Аркушів 7	
Н. Контр.		Сомов			ХДАТОХ М-16		
Затв.		Сафонов					

Складальне креслення

					ДПМ16.007.007		
					КЛАПАН		
					Літ	Маса	Масштаб
Ізм.	Арк.	N Документа	Підпис	Дата	у		2:1
Розроб.		Врюкало			Сталь 20Х ГОСТ4543-71		
Перевір.		Сомов			Арк. 6	Аркушів 7	
Н. Контр.		Сомов			ХДАТОХ М-16		
Затв.		Сафонов					

Креслення деталі

					ДПМ24.005.001		
					м. Купянск АООТ "Молокозавод"		
					Літ	Арк.	Аркушів
Розроб.		Петренко			у	1	7
Керівник		Сомов			КОМПРЕСОРНА		
Консульт.		Панченко			План на відзначці 0,00		
Н. Контр.		Панченко			ХДАТОХ М-24		
Затв.		Сафонов					

Будівельне креслення

Приклад заповнення специфікації складальних або креслень загального вигляду

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	При-мітки
				<u>Документація</u>		
A1			ДПМ24.004.001 СБ	Складальне креслення		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A1	1		ДПМ24.004.002 СБ	Корпус	1	
A1	2		ДПМ24.004.003 СБ	Поршень	1	
				<u>Деталі</u>		
A4	3		ДПМ24.004.004 СБ	Фланець	2	
A4	4		ДПМ24.004.005 СБ	Вісь	1	
A4	5		ДПМ24.004.005 СБ	Пружина	1	
БК	6			Шайба	2	
				<u>Стандартні вироби</u>		
	15			Болт М6-6h x 16. 6. 6 ГОСТ 7808-70	8	
	16			Болт М8-6g x 35. 6. 8 ГОСТ 7795-70	4	
<b>ДПМ24.004.001 СБ</b>						
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Петренко			Лит	Арк.
Перевір.		Сомов			У	Аркушів
Н. Контр.		Сомов			ХДАТОХ М24	
Затв.		Сафонов				
<b>Блок приготування</b>						





**ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧУВАННЯ ТА ТОРГІВЛІ**  
Навчально-науковий інститут харчових технологій та бізнесу  
Кафедра підготовки та перепідготовки фахівців  
холодильної та торговельної галузей

**Дипломний проект бакалавра на тему:**  
**«ПРОЕКТ СИСТЕМИ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ  
РОЗПОДІЛЬНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА»**

Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»

Спеціалізація «Холодильні машини і установки»

Виконавець: ст. 4 курсу, гр. ХМ-35.,  
Іванов А.А.

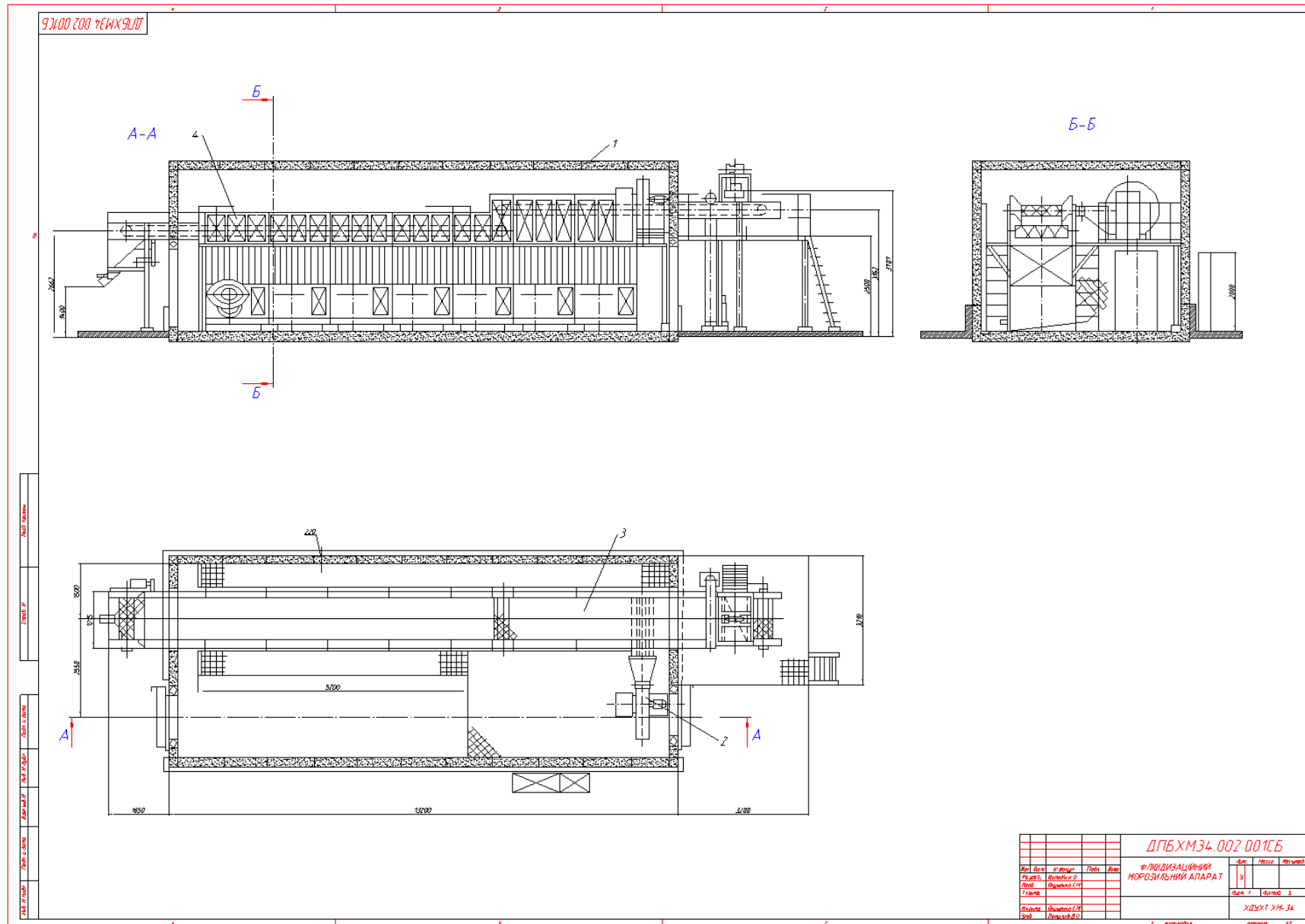
Керівник: к.т.н., доцент Семенюк Д.П.

Рецензент: д.т.н., професор Тормосов Ю.М.

2019 р.

1







## Основні положення дипломного проекту бакалавра

**Пояснювальна записка:** 83 стор., 13 рис., 2 табл., 16 джерел.  
Графічна частина – 5 аркушів формату А1.

**Об'єкт проектування** – апарат для швидкого заморожування харчової сировини.

**Мета проекту** – імпортозаміщення продукції закордонних виробників – вітчизняною, отримання високоякісної готової продукції, яка відповідає сучасним вимогам Міжнародного інституту холоду, проектування апарата високої продуктивності та надійності.

**Область використання** – переробні підприємства харчової промисловості.

Пропонований швидкоморозильний апарат для заморожування харчової сировини відповідає технічним характеристикам та надійності на рівні світових зразків сучасних інженерних рішень.

«БЕЗПЕРЕРВНИЙ ХОЛОДИЛЬНИЙ ЛАНЦЮГ», ХАРЧОВА СИРОВИНА, ЗАМОРОЖУВАННЯ, МОРОЗИЛЬНИЙ АПАРАТ, ФЛЮЇДИЗАЦІЯ, ЗОНАЛЬНА ОБРОБКА, КАСКАДНІ КОНВЕЄРИ, ЗБЕРІГАННЯ

## Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Місто	Географічна широта, град.	Розрахункова температура, °С			Відносна вологість, %	
		середньо-річна	літня	зимова	літня	зимова
Вінниця	49	6,7	30	- 21	70	86
Дніпропетровськ	48,5	8,5	33	-24	60	89
Донецьк	48	7,5	33	-24	57	90
Житомир	50	6,8	30	-21	70	86
Запоріжжя	48	9,0	34	-23	56	89
Івано-Франківськ	49	7,3	30	-20	73	84
Київ	50,5	7,2	31	-21	66	86
Керч	48,5	11,1	32	-15	68	86
Кіровоград	48	7,5	32	-21	63	88
Кривий Ріг	47,5	8,5	33	-32	59	87
Луганськ	50,5	8,0	34	-25	55	86
Луцьк	50	7,2	30	-20	72	86
Львів	47	6,7	29	-20	74	84
Мелітополь	47	9,4	34	-19	56	87
Миколаїв	46,5	9,6	33	-19	60	87
Одеса	49,5	9,9	32	-18	60	86
Полтава	50,5	7,0	31	-22	63	87
Рівне	44	6,9	30	-21	72	87
Севастополь	45	12,0	32	-11	69	79
Сімферополь	51	10,2	31	-16	62	86
Суми	49,5	6,0	31	-24	70	86
Тернопіль	48,5	6,9	30	-21	73	85
Ужгород	50	9,6	32	-18	66	81
Харків	46,5	6,9	32	-23	62	86
Херсон	49,5	9,8	33	-18	59	88
Хмельницький	49,5	6,8	29	-21	71	86
Черкаси	49,5	7,2	31	-21	66	88
Чернігів	51,5	6,5	31	-22	68	87
Чернівці	48	7,8	31	-20	71	84
Ялта	44	13,0	33	-6	56	72

Приклад використання аналітичного методу розрахунок товщини пароізоляційного шару для зовнішньої стіни камери зберігання заморожених продуктів, що розташована в м. Одесі.

Як приклад використання аналітичного методу розглянемо розрахунок товщини пароізоляційного шару для зовнішньої стіни камери зберігання заморожених продуктів ( $t_{вн} = \text{мінус } 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{вн} = 0,95$ ), розташованої в м. Одесі ( $t_{зов} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\varphi_{зов} = 0,66$ ).

Конструкція зовнішньої стіни: силовий шар виконаний з цегли, як теплоізоляцію використані плити тверді мінераловатні,  $\lambda_{i3} = 0,08 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  $\mu_{i3} = 94,1 \cdot 10^{-12} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ . Як пароізоляцію прийнятий руберойд,  $\mu_n = 0,376 \cdot 10^{-12} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$ . Розрахункова товщина теплоізоляційного шару огороження  $\delta_{i3} = 0,325 \text{ м}$ . Огороження з боку камери облицьовано шаром штукатурки ( $\delta_{вн} = 0,02 \text{ м}$ ,  $\lambda_{вн} = 0,98 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ). Коефіцієнт теплопередачі огороження  $k = 0,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ; коефіцієнти тепловіддачі з боку повітря  $\alpha_{зов} = 23,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,  $\alpha_{вн} = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Температури зовнішньої та внутрішньої поверхонь шару теплової ізоляції визначаємо з виразів 4.22 і 4.23:

$$t_{i.зов} = t_{i.вн} + k(t_{зов} - t_{вн}) \left( \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{вн}}{\lambda_{вн}} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} \right), \quad (4.22)$$

$$t_{i.зов} = -20 + 0,21 \cdot (32 + 20) \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,98} + \frac{0,325}{0,08} \right) = 25,95 \approx 26 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$t_{i.вн} = t_{i.вн} + k(t_{зов} - t_{вн}) \left( \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_{вн}}{\lambda_{вн}} \right), \quad (4.23)$$

$$t_{i.вн} = -20 + 0,21 \cdot (32 + 20) \cdot \left( \frac{1}{8} + \frac{0,02}{0,98} \right) = -18,4 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Товщину пароізоляційного шару розраховуємо за формулою (4.21):

$$\delta_n = \delta_{i3} \frac{\mu_n}{\mu_{i3}} \left( \frac{\frac{m}{n} e^{bt_{i.зов} - ct_{i.вн}} - 1}{c(t_{i.зов} - t_{i.вн})} - 1 \right), \quad (4.21)$$

$$\delta_n = 0,325 \cdot \frac{0,376 \cdot 10^{-12}}{94,1 \cdot 10^{-12}} \cdot \left( \frac{\frac{630}{640} \cdot e^{0,0646 \cdot 26 + 0,0930 \cdot 18,4} - 1}{0,0930 \cdot (26 + 18,4)} \cdot (-1) \right) = 7,576 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

## Ентальпії харчових продуктів при різних температурах, кДж/кг

Продукти \ °С	-25	-20	-15	-10	-5	-3	-2	-1	0	1	2	4	8	10	15	20
М'ясо яловиче, птиця	-10,8	0	13,0	30,2	57,3	75,3	98,8	185,5	235,5	235,5	238,2	245,5	248,2	264,5	280,4	296,8
Свинина	-10,5	0	12,2	28,9	54,4	73,3	91,6	170,0	211,8	314,7	217,8	224,0	235,8	241,7	256,8	272,5
Субпродукти м'ясні	-11,7	0	13,8	33,2	62,8	87,9	109,6	204,0	261,0	264,5	268,3	274,3	289,2	296,2	312,8	330,6
Риба худа	-12,2	0	14,3	33,6	64,0	88,4	111,9	212,2	265,8	269,5	272,9	280,0	293,9	301,3	314,4	336,0
Риба жирна	-12,2	0	14,3	32,7	62,5	85,5	106,2	199,8	249,0	252,8	256,0	262,6	277,0	283,0	300,4	317,4
Олія вершкова	-9,2	0	10,1	23,5	40,6	50,5	60,4	91,6	95,0	98,0	101,4	106,5	121,4	129,8	155,3	182,8
Молоко цільне	-12,6	0	14,3	32,7	62,8	88,7	111,2	184,2	317,8	322,3	326,0	334,4	350,7	358,5	378,0	398,0
Сир	-	-	-	-	5,5	11,3	14,3	16,7	19,7	22,2	25,2	31,0	42,3	47,7	61,5	75,7
Виноград, абри- коси, вишня	-17,2	0	20,6	49,8	116,0	202,2	229,0	232,6	235,8	239,5	242,9	250,2	264,5	271,8	289,6	307,0
Фрукти і плоди інших видів	-14,2	0	17,2	38,5	82,9	139,0	211,0	267,9	271,7	274,7	279,0	286,7	302,0	308,8	328,0	346,5
Морозиво вершкове	-16,2	0	19,7	46,9	105,3	178,8	221,0	224,4	227,4	230,8	234,0	240,9	254,4	264,0	277,8	294,3

Загальні температурні напори і практичні коефіцієнти теплопередачі  
теплообмінних апаратів холодильних установок

Найменування та особливості апарата	$\theta, K$	$k_{зоб}, Вт/(м^2 \cdot K)$
Батареї аміачні і розсольні гладкотрубні	8...10	7...12
~ ~ ~ оребровані	8...10	3...4,5
~ ~ ~ листотрубні	8...10	4...5
~ фреонові оребровані	12...15	3,5...5
Повітроохолоджувачі:		
аміачні і розсольні гладкотрубні	8...10	30...40
~ ~ оребровані	8...10	12...16
фреонові оребровані	12...15	15...20
Випарники:		
кожухотрубні аміачні (охолодження води)	4...6	700...900
~ ~ (охолодження розсолу)	4...6	450...650
~ низькотемпературні	4...6	100...150
~ із внутрішньотрубним кипінням	6...8	1000...1400
~ зрошувальні	4...6	500...700
заглибні (охолодження води)	3...5	500...700
~ (охолодження розсолу)	3...5	400...500
Випарники-конденсатори	6...10	200...250
Конденсатори:		
кожухотрубні горизонтальні аміачні	4...6	700...1000
~ вертикальні аміачні	4...6	700...900
~ фреонові	4...6	500...700
випарні	10...12*	250...450
повітряні	10...15	20...45
Переохолоджувачі води	3...5	500...700
Теплообмінники фреонові	30...50	100...200
Змійовики проміжних посудин	3...5**	350...450

\* – різниця температур конденсації і повітря за мокрим термометром;

\*\* – температурний напір на виході аміаку зі змійовика.

Таблиця фізичних властивостей повітря

Температура $t, ^\circ\text{C}$	Густина $\rho, \text{кг/м}^3$	Теплоємність $c, \text{КДж/кг} \cdot \text{К}$	Теплопро- відність $\lambda, \text{Вт/м} \cdot \text{К}$	Кінематична в'язкість $\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	Коефіцієнт об'ємного розширення $\beta \cdot 10^{-3}, 1/\text{К}$	Число Прандтля $\text{Pr}$
-150	2,793	1,026	0,0116	3,08	8,21	0,76
-100	1,980	1,009	0,0160	5,95	5,82	0,74
-50	1,534	1,005	0,0204	9,55	4,51	0,725
0	1,293	1,005	0,0243	13,30	3,67	0,715
20	1,205	1,005	0,0257	15,11	3,43	0,713
40	1,127	1,005	0,0271	16,97	3,20	0,711
60	1,067	1,009	0,0285	18,90	3,00	0,709
80	1,000	1,009	0,0299	20,94	2,83	0,708
100	0,946	1,009	0,0314	23,06	2,68	0,703
120	0,898	1,013	0,0328	25,23	2,55	0,70
140	0,854	1,013	0,0343	27,55	2,43	0,695
160	0,815	1,017	0,0358	29,85	2,32	0,69
180	0,779	1,022	0,0372	32,29	2,21	0,69
200	0,746	1,026	0,0386	34,63	2,11	0,685
250	0,675	1,034	0,0421	41,17	1,91	0,68
300	0,616	1,047	0,0454	47,85	1,75	0,68
350	0,566	1,055	0,0485	55,05	1,61	0,68
400	0,524	1,068	0,0515	62,53	1,49	0,68

Вологовміст, теплоємність та прихована теплота заморожування  
основних груп продуктів

Назва продукту	Вологовміст, W %	Теплоємність, с				Прихована теплота заморожування, r	
		вище точки заморожування		нижче точки заморожування			
		кДж/ (кг · К)	ккал/ (кг · град)	кДж/ (кг · К)	ккал/ (кг · град)	кДж/(кг)	ккал/(кг)
1	2	3	4	5	6	7	8
Яблука	83	3,85	0,92	1,76	0,42	280,52	67
Банани	75	3,35	0,80	–	–	251,21	60
Птиця	173	2,93- 3,18	0,70- 0,76	1,68	0,40	247,02	59
Віно	–	3,77	0,90	–	–	–	–
Картопля	74	3,35	0,80	1,76	0,42	242,83	58
Лимони	83-89	3,85	0,92	1,93	0,46	276-297	66-71
Цукор	0,1	–	–	1,26	0,30	–	–
Черешня	82	3,64	0,87	1,84	0,44	276,33	66
Горіхи	7,2	1,05	0,25	0,92	0,22	37,68	9
Агрус	90	3,85	0,92	1,93	0,46	301,45	72
Морозиво	40-65	3,27	0,78	1,88	0,45	217,71	52
Часник	91	3,89	0,93	2,01	0,48	305,64	73
Кавун	89	3,85	0,92	1,93	0,46	297,26	71
Риба:							
жирна	60	2,85	0,68	1,59	0,38	209,34	50
нежирна	73	3,43	0,82	1,80	0,43	255,34	61
Телятина	63	2,95	0,70	1,60	0,40	209,34	50
Яловичина							
нежирна	72	3,25	0,78	1,76	0,42	234,46	56
жирна	51	2,55	0,61	1,49	0,36	171,66	41
Свинина жирна	39-46	2,13	0,51	1,34	0,32	129-154	31-37
Бобові	89	3,85	0,92	1,97	0,47	297,26	71
Савойська капуста	91	3,89	0,93	3,01	0,48	305,64	73
Груші	83	3,85	0,92	1,76	0,42	280,52	67
Маргарин	18-18	2,72- 2,93	0,65- 0,70	1,47	0,35	–	–
Апельсини	84	3,85	0,92	1,84	0,44	284,70	68
Персики	87	3,85	0,92	1,72	0,41	293,08	70



## Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8
Томати	94	3,89	0,93	2,05	0,49	314,01	75
Сир твердий:							
нежирний	53	2,85	0,68	1,68	0,40	175,85	42
жирний	35-50	1,88- 2,51	0,45- 0,60	1,26	0,30	108-155	26-37
Морква	83	3,64	0,87	1,88	0,45	276,33	66
Пиво	89-91	3,77	0,90	–	–	301,45	72
Спаржа	94	3,89	0,93	1,97	0,47	314,01	75
Сало	–	2,30	0,55	1,30	0,31	71,18	17
Ожина	90	3,85	0,92	1,97	0,47	299,78	72
Виноград	81	3,68	0,88	1,88	0,45	263,77	63
Молоко	88	3,94	0,94	2,51	0,60	293,08	70
Вершки, сметана	59	3,56	0,85	1,51	0,36	196,78	47
Морські раки	77	3,39	0,81	1,80	0,43	259,58	62
Тісто	–	1,88	0,45	–	–	–	–
Яйця	70	3,18	0,76	1,68	0,40	234,46	56
Сир м'який	80	2,93	0,70	1,88	0,45	–	–

## Значення кріоскопічної температури для окремих груп продуктів

Назва продукту	Кріоскопічна температура, $t_{кр}$ , °С
Яловичина	-0,6...-1,3
Телятина	-0,8...-0,9
Птиця	-2,0
Риба	-0,5
Яйця	-0,5
Ковбаси копчені	-4,0...-7,8
Ковбаси варені	-1,2...-3,3
М'ясні консерви	-1,6...-2,5
Сир твердий	-5,3...-9,8
Молоко коров'яче	-0,55
Яблука	-1,4...-2,1
Груші	-1,8...-2,8
Виноград	-1,4...-3,5
Картопля	-0,94...-4,7
Морква	-1,0...-3,3
Капуста	-0,4...-1,4
Цибуля	-0,9...-3,0
Томати	-0,5...-0,9
Зелений горошок	-1,0...-1,2

Таблиця термодинамічних властивостей холодоагенту R 134 А  
на лінії насичення

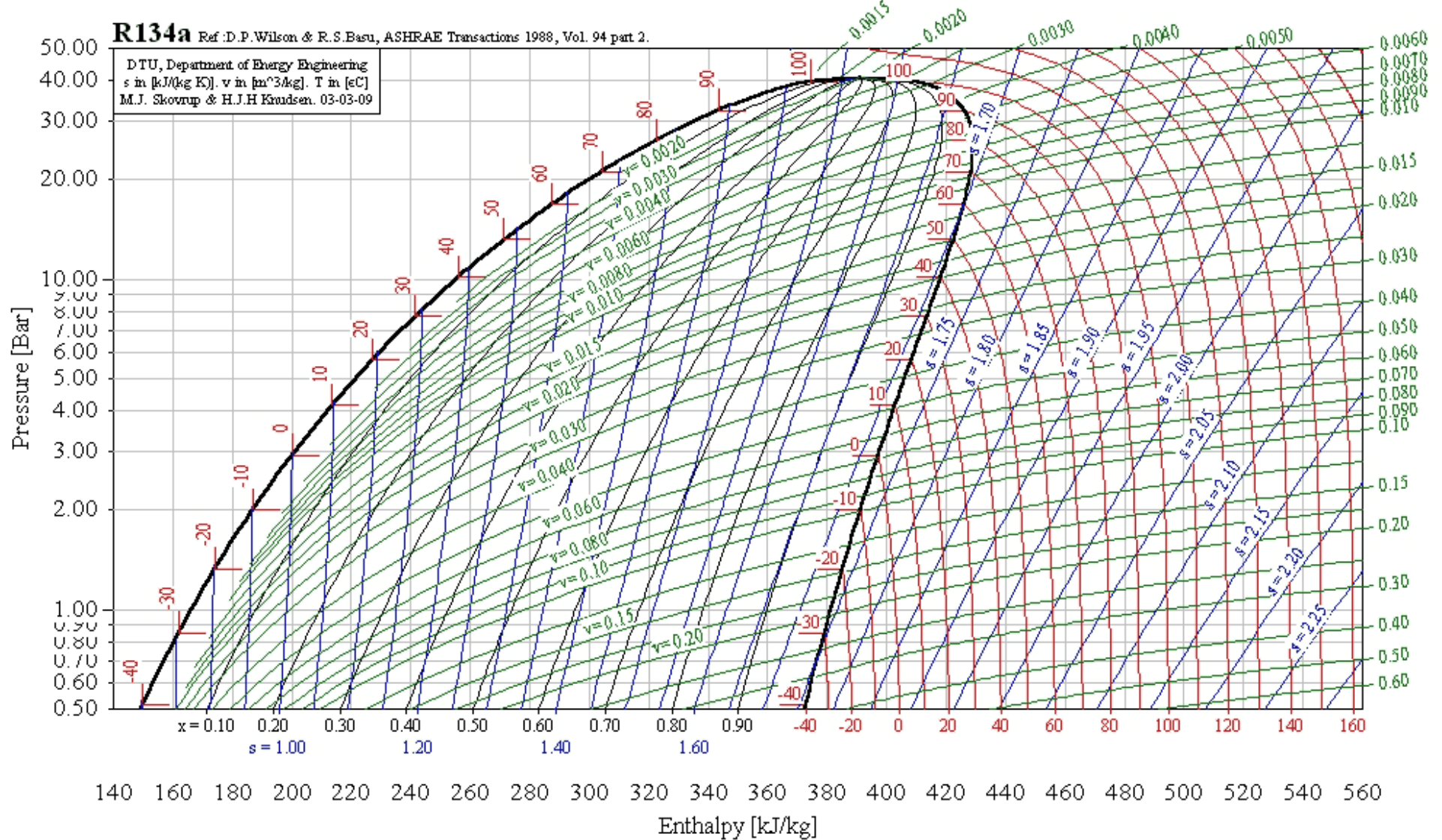
Температура $T$ , К	Тиск $P$ , МПа	Питомий об'єм холодоагенту $v$ , м <sup>3</sup> /кг		Ентальпія $i$ , КДж/кг		Ентропія $S$ , кДж/(кг · К)	
		$v'$	$v''$	$i'$	$i''$	$S'$	$S''$
1	2	3	4	5	6	7	8
180	0.00113	1563.7	0.077	83.383	340.73	0.4812	1.9109
185	0.00181	1550.2	0.120	89.283	343.72	0.5135	1.8888
190	0.00282	1536.7	0.183	95.278	346.75	0.5454	1.8690
195	0.00427	1523.2	0.270	101.19	349.81	0.5762	1.8511
200	0.00631	1509.6	0.390	107.22	352.90	0.6066	1.8351
205	0.00912	1495.9	0.550	113.20	356.02	0.6362	1.8207
210	0.01291	1482.2	0.762	119.27	359.16	0.6654	1.8078
215	0.01792	1468.4	1.036	125.39	362.32	0.6942	1.7962
220	0.02443	1454.5	1.385	131.58	365.49	0.7226	1.7859
225	0.03277	1440.5	1.824	137.81	368.67	0.7506	1.7766
230	0.04330	1426.3	2.367	43.96	371.85	0.7776	1.7684
235	0.05640	1412.0	3.032	150.27	375.02	0.8047	1.7611
240	0.07251	1397.5	3.838	156.62	378.19	0.8314	1.7546
245	0.09210	1382.8	4.806	163.02	381.34	0.8577	1.7489
250	0.11566	1367.9	5.958	169.47	384.47	0.8837	1.7437
255	0.14374	1352.8	7.317	175.99	387.58	0.9094	1.7392
260	0.17690	1337.3	8.910	182.56	390.65	0.9349	1.7352
265	0.21574	1321.5	10.766	189.19	393.68	0.9600	1.7317
270	0.26087	1305.5	12.909	195.77	396.68	0.9845	1.7286
275	0.31297	1289.0	15.383	202.50	399.61	1.0090	1.7258
280	0.37270	1272.2	18.223	209.29	402.49	1.0333	1.7234
285	0.44078	1254.9	21.471	216.15	405.31	1.0574	1.7211
290	0.51794	1237.2	25.174	223.08	408.05	1.0813	1.7191
295	0.60494	1218.9	29.385	230.09	410.70	1.1050	1.7173

## Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8
300	0.70256	1200.1	34.169	237.19	413.26	1.1286	1.7155
305	0.81163	1180.5	39.596	244.39	415.71	1.1521	1.7138
310	0.93299	1160.3	45.754	251.70	418.04	1.1755	1.7121
315	1.06752	1139.2	52.711	259.04	420.25	1.1987	1.7104
320	1.21614	1117.1	60.642	266.59	422.28	1.2220	1.7086
325	1.37982	1094.0	69.680	274.31	424.12	1.2455	1.7065
330	1.55956	1069.5	80.025	282.20	425.75	1.2691	1.7041
335	1.75645	1043.5	91.937	290.31	427.10	1.2929	1.7012
340	1.97163	1015.5	105.67	298.59	428.16	1.3168	1.6979
345	2.20633	985.2	121.87	307.26	428.78	1.3414	1.6937
350	2.46193	951.8	141.07	316.25	428.91	1.3666	1.6885
355	2.73998	914.1	164.64	325.82	428.30	1.3928	1.6815
360	3.04227	870.1	194.37	336.04	426.69	1.4205	1.6723
365	3.37106	815.6	234.60	347.39	423.41	1.4507	1.6590
370	3.72953	738.6	297.63	361.03	416.68	1.4866	1.6370

**R134a, CH<sub>2</sub>FCF<sub>3</sub>, 1,1,1,2-tetrafluoroethane**

T critical = 101.10 °C, p critical = 40.67000 Bar, v critical = 0.00195 m<sup>3</sup>/kg



## Теплофізичні властивості холодоагенту R 134 А (рідина) на лінії насичення

Температура $t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Тиск $P, \text{ МПа}$	Густина $\rho', \text{ кг/м}^3$	Теплоємність $c, \text{ КДж/кг} \cdot \text{ К}$	Теплопровідність $\lambda, \text{ Вт/м} \cdot \text{ К}$	Температуропровідність $a \cdot 10^8, \text{ м}^2/\text{с}$	Динамічна в'язкість $\mu \cdot 10^4, \text{ Па}\cdot\text{с}$	Кінематична в'язкість $\nu \cdot 10^7, \text{ м}^2/\text{с}$	Поверхневий натяг $\sigma \cdot 10^3, \text{ Н/м}$	Коефіцієнт об'ємного розширення $\beta \cdot 10^{-3}, \text{ К}^{-1}$	Число Прандтля $Pr$
-35	0,063	1419,6	1,301	0,1095	5,929	3,09	2,174	16,72	-	3,67
-30	0,081	1396,9	1,308	0,1072	5,867	2,79	1,997	15,98	2,20	3,40
-20	0,129	1369,2	1,323	0,1027	5,694	2,26	1,658	14,54	2,30	2,91
-10	0,196	1331,3	1,339	0,0983	5,514	1,99	1,495	13,10	2,45	2,71
0	0,289	1298,7	1,358	0,0942	5,341	1,69	1,301	11,69	2,60	2,44
10	0,412	1264,6	1,380	0,0901	5,163	1,50	1,186	10,30	2,80	2,30
20	0,571	1228,4	11,406	0,0860	4,979	1,35	1,099	8,94	3,05	2,21
30	0,772	1190,1	1,439	0,0820	4,788	1,22	1,025	7,61	3,35	2,14
40	1,019	1149,0	1,482	0,781	4,586	1,09	0,949	6,31	3,75	2,07
50	1,321	1104,5	1,537	0,0742	4,371	0,95	0,860	5,06	4,25	1,94
60	1,684	1055,3	1,618	0,0704	4,123	0,80	0,758	3,86	5,00	1,84
70	2,118	998,8	1,747	0,0665	3,811	0,69	1,687	2,74	6,20	1,80

## Теплофізичні властивості сухої насиченої пари холодоагенту R 134 А

Температура $t$ , °C	Тиск $P$ , бар	Густина $\rho$ " , кг/м <sup>3</sup>	Прихована теплота заморожування $r$ , КДж/кг	Теплоємність $c$ " , КДж/кг · К	Теплопровідність $\lambda$ , Вт/м · К	Температуропровідність $a$ · 10 <sup>6</sup> , м <sup>2</sup> /с	Динамічна в'язкість $\mu$ · 10 <sup>6</sup> , Па·с	Кінематична в'язкість $\nu$ · 10 <sup>6</sup> , м <sup>2</sup> /с	Число Прандтля Pr
-35	0,63	3,44	225,4	0,753	0,0093	3,59	9,495	2,76	0,77
-30	0,81	4,35	220,4	0,767	0,0096	2,877	9,74	2,24	0,78
-20	1,29	6,71	213,7	0,796	0,0103	1,928	10,2	1,52	0,79
-10	1,96	9,97	207,8	0,829	0,0110	1,331	10,7	1,07	0,81
0	2,89	4,39	201,0	0,864	0,0117	0,941	11,2	0,778	0,83
10	4,12	0,28	192,7	0,904	0,0124	0,676	11,7	0,577	0,85
20	5,71	7,96	183,2	0,949	0,0131	0,4937	12,2	0,436	0,88
30	7,72	37,89	172,8	1,002	0,0139	0,3661	12,7	0,335	0,92
40	10,19	50,64	161,6	1,066	0,0147	0,2723	13,2	0,261	0,96
50	13,21	67,05	149,7	1,149	0,0156	0,2025	13,8	0,206	1,02
60	16,84	88,48	136,9	1,262	0,0165	0,1478	14,5	0,164	1,14
70	21,18	117,25	122,3	1,438	0,0177	0,1050	15,3	0,130	1,24
80	26,35	158,06	104,3	1,773	0,0193	0,06887	16,5	0,104	1,52
90	32,48	223,23	79,5	2,747	0,0224	0,0365	18,4	0,0824	2,26
100	39,76	393,85	28,6	-	-	-	-	-	-

Навчальне електронне видання  
комбінованого використання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

ПЕТРЕНКО Олена Володимирівна  
ПОТАПОВ Володимир Олексійович  
СЕМЕНЮК Дмитро Павлович  
ЯКУШЕНКО Євген Миколайович

# ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ ТА УСТАНОВКИ. ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск зав. кафедри енергетичного машинобудування,  
інженерних та фізико-математичних дисциплін  
д-р техн. наук, проф. Потапов В.О.

Технічний редактор Н.А. Кобилко

План 2019р., поз. \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Підп. до друку \_\_\_\_\_ . 2019р. Один електронний оптичний диск (CD-ROM);  
супровідна документація. Об'єм даних \_\_\_\_\_ Мб. Тираж \_\_\_\_\_ прим.

Видавець і виготівник  
Харківський державний університет харчування та торгівлі  
вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4417 від 10.10.2012 р.