

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

Кафедри загальноінженерних дисциплін та обладнання

В.П. Хорольський, Д.П. Заїкіна

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Методичні рекомендації з вивчення дисципліни

Ступінь: бакалавр

Кривий Ріг
2020р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

Кафедри загальноінженерних дисциплін та обладнання

В.П. Хорольський, Д.П. Заїкіна

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Методичні рекомендації з вивчення дисципліни

Ступінь: бакалавр

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

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

Кривий Ріг
2020р.

УДК
3 76

Хорольський, В.П., Заїкіна, Д.П.

З 76 Теоретичні основи холодильної техніки [Текст] : метод. рек. до вивч. дисц. / В.П. Хорольський, Д.П. Заїкіна; Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання. – Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2020. – 47.

Методичні рекомендації розроблені для надання допомоги студентам до вивчення дисципліни «Теоретичні основи холодильної техніки». У методичних рекомендаціях сформульовано мету та задачі дисципліни, представлено зміст семінарських/практичних занять, наведено питання для обговорення та самостійну роботу студентів з описом методу її опрацювання.

© В.П. Хорольський, Д.П. Заїкіна, 2020

© Донецький національний університет економіки й торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, 2020

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| ВСТУП..... | 5 |
| ЧАСТИНА 1. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ..... | 6 |
| ЧАСТИНА 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ | 12 |
| Змістовий модуль 1. Теоретичні основи моделювання процесів одержання холоду холодильної техніки | 13 |
| Змістовий модуль 2. Процеси теплообміну, конденсації та випарювання в холодильній техніці. Основи кріогенної техніки | 25 |
| ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ..... | 32 |
| Змістовий модуль 1. Теоретичні основи моделювання процесів одержання холоду холодильної техніки | 33 |
| Змістовий модуль 2. Процеси теплообміну, конденсації та випарювання в холодильній техніці. Основи кріогенної техніки | 39 |

ВСТУП

Основною метою вивчення дисципліни є формування у студентів професійних компетентностей щодо теоретичних основ холодильної техніки і надання знань, що охоплює принцип роботи, основи розрахунку і практичне застосування холодильної техніки.

Завданнями дисципліни є ознайомлення з:

- основними методами отримання низьких температур;
- принципами побудови та роботи холодильних машин;
- методикою складання рівнянь теплових і матеріальних балансів із врахуванням особливостей їх застосування для описання процесів, що відбуваються при використанні холодильних машин;
- принципами роботи устаткування і визначення оптимальних варіантів конструкції та режимами роботи, що забезпечують необхідну якість виробів тощо.

Предмет: процеси і установки холодильної техніки.

ЧАСТИНА 1.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Опис дисципліни

| Найменування показників | Характеристика дисципліни |
|--|--|
| Обов'язкова (для студентів спеціальності "назва спеціальності") / вибіркова дисципліна | Обов'язкова для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» |
| Семестр (осінній / весняний) | осінній |
| Кількість кредитів | 7 |
| Загальна кількість годин | 210 |
| Кількість змістових модулів | 2 |
| Лекції, годин | 70 |
| Практичні / семінарські, годин | 14 |
| Лабораторні, годин | 14 |
| Самостійна робота, годин | 112 |
| Вид контролю | екзамен |

2. Програма дисципліни

Ціль – формування у студентів професійних компетентностей щодо теоретичних основ холодильної техніки і надання знань, що охоплює принцип роботи, основи розрахунку і практичне застосування холодильної техніки.

Завданнями дисципліни є ознайомлення з:

- основними методами отримання низьких температур;
- принципами побудови та роботи холодильних машин;
- методикою складання рівнянь теплових і матеріальних балансів із врахуванням особливостей їх застосування для описання процесів, що відбуваються при використанні холодильних машин;
- принципами роботи устаткування і визначення оптимальних варіантів конструкції та режимами роботи, що забезпечують необхідну якість виробів тощо.

Зміст дисципліни розкривається в темах:

Тема 1. Загальні відомості про холодильні процеси та створення низьких температур.

Тема 2. Історія розвитку холодильної техніки та низьких температур

Тема 3. Теоретичний аналіз фізичних і математичних моделей процесів холодильної техніки.

Тема 4. Основні способи отримання низьких та наднизьких температур.

Тема 5. Методи перевірки адекватності моделей.

Тема 6. Загальні положення щодо роботи теплообмінних апаратів.

Тема 7. Ефективність криогенних систем.

Тема 8. Властивості технічних матеріалів при низьких температурах.

Тема 9. Оцінка балансів теплообмінної апаратури холодильної техніки.

Тема 10. Розрахунок температурного перепаду в повітроохолоднику морозильного апарату.

- Тема.11. Властивості криогенних рідин. Системи зрідження газів. Еквівалентність систем зрідження. Системи зрідження водню гелію та неону.
Тема 12. Розрахунок процесів тепло – й – масообміну в ізоляції.
Тема 13. Розрахунок зони конденсації.
Тема 14. Розрахунок зони випарювання
Тема 15. Зберігання і транспортування криорідин.
Тема 16. Використання криогенних технологій в промисловості.
Розділення газових сумішей та одержання криорідин.
Тема 17. Використання криогенних технологій в харчовій промисловості.

3. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем | Кількість годин (денна форма навчання) | | | | |
|---|--|--------------|----------|----------|-----------|
| | усього | у тому числі | | | |
| | | лекц. | пр./сем. | лаб. | СРС |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Змістовий модуль 1. Теоретичні основи моделювання процесів одержання холоду холодильної техніки. | | | | | |
| Тема 1. Загальні відомості про моделювання робочих процесів холодильної техніки. | 12 | 4 | 2 | - | 6 |
| Тема 2. Історія розвитку холодильної техніки та низьких температур | 6 | 4 | - | - | 4 |
| Тема 3. Теоретичний аналіз фізичних і математичних моделей процесів холодильної техніки. | 10 | 4 | - | - | 6 |
| Тема 4. Основні способи отримання низьких та наднизьких температур. | 16 | 4 | 2 | 4 | 8 |
| Тема 5. Методи перевірки адекватності моделей. | 10 | 4 | - | - | 6 |
| Тема 6. Загальні положення щодо роботи теплообмінних апаратів. | 12 | 4 | - | - | 6 |
| Тема 7. Ефективність криогенних систем. | 10 | 4 | - | - | 6 |
| Тема 8. Властивості технічних матеріалів при низьких температурах. | 14 | 6 | 2 | 4 | 6 |
| Разом за змістовим модулем 1 | 90 | 34 | 6 | 8 | 48 |
| Змістовий модуль 2. Процеси теплообміну, конденсації та випарювання в холодильній техніці. Основи криогенної техніки. | | | | | |
| Тема 9. Оцінка балансів теплообмінної апаратури холодильної техніки. | 14 | 4 | 2 | - | 6 |
| Тема 10. Розрахунок температурного перепаду в повітряохолоднику морозильного апарату. | 14 | 4 | - | - | 6 |
| Тема 11. Властивості криогенних рідин. Системи зрідження газів. Еквівалентність систем зрідження. Системи зрідження водню гелію та неону. | 12 | 4 | - | - | 6 |
| Тема 12. Розрахунок процесів тепло – й – масообміну в ізоляції. | 16 | 4 | 2 | - | 8 |

| | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Тема 13. Розрахунок зони конденсації. | 12 | 4 | - | - | 8 |
| Тема 14. Розрахунок зони випарювання | 14 | 4 | 2 | - | 8 |
| Тема 15. Зберігання і транспортування кріорідин. | 12 | 4 | - | - | 8 |
| Тема 16. Використання кріогенних технологій в промисловості. Розділення газових сумішей та одержання кріорідин | 14 | 4 | - | - | 8 |
| Тема 17. Використання кріогенних технологій в харчовій промисловості. | 12 | 4 | 2 | 6 | 6 |
| Разом за змістовим модулем 2 | 120 | 36 | 8 | 6 | 64 |
| Усього годин | 210 | 70 | 14 | 14 | 112 |

4. Теми практичних/лабораторних занять

| № з/п | Вид та тема практичних/лабораторних занять | Години |
|--------------------------------------|---|-----------|
| Змістовий модуль 1 | | |
| 1. | Практичне заняття № 1: «Загальні відомості про моделювання робочих процесів холодильної техніки». | 2 |
| 2. | Практичне заняття № 2: «Основні способи отримання низьких та наднизьких температур». | 2 |
| 3. | Лабораторне заняття № 1 «Побудова T-s та lgp- h діаграм для холодильного агента в програмі CoolPack» | 4 |
| 4. | Практичне заняття № 3: «Властивості технічних матеріалів при низьких температурах». | 2 |
| 5. | Лабораторне заняття № 2 «Визначення параметрів холодоагента в характерних точках циклу за допомогою комп'ютерної програми CoolPack» | 4 |
| Змістовий модуль 2 | | |
| 6. | Практичне заняття № 4: «Оцінка балансів теплообмінної апаратури холодильної техніки». | 2 |
| 7. | Практичне заняття № 5: «Розрахунок процесів тепло – й – масообміну в ізоляції». | 2 |
| 8. | Практичне заняття № 6: «Розрахунок зони випарювання». | 2 |
| 9. | Практичне заняття № 7: «Використання кріогенних технологій в харчовій промисловості». | 2 |
| 10. | Лабораторне заняття № 3 «Проектування холодильної системи за допомогою комп'ютерних програм Solkane та CoolPack» | 6 |
| Всього (Практичне заняття): | | 14 |
| Всього (Лабораторне заняття): | | 14 |

5. Розподіл балів, які отримують студенти

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

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

| № теми практичного/лабораторного заняття | Аудиторна робота | | | | | Позааудиторна робота | Сума балів |
|--|------------------|-----------------------------|---|---------------------------|----------|-------------------------------------|------------|
| | Тестові завдання | Ситуаційні завдання, задачі | Обговорення теоретичних питань теми практичного заняття | Захист лабораторних робіт | ПКМ | Завдання для самостійного виконання | |
| Змістовий модуль 1 | | | | | | | |
| П.р 1 | | 2 | 1 | - | | 1 | 4 |
| П.р. 2 | | 2 | 1 | - | | 1 | 4 |
| Лаб.р. 1 (I Ч) | | - | - | - | | - | - |
| Лаб.р. 1 (II Ч) | | - | - | 4 | | 1 | 5 |
| П.р. 3 | | 2 | 1 | - | | 1 | 4 |
| Лаб.р. 2 (I Ч) | | - | - | - | | - | - |
| Лаб.р. 2 (II Ч) | | - | - | 4 | 3 | 1 | 8 |
| Разом змістовий модуль 1 | | 6 | 3 | 8 | 3 | 5 | 25 |
| Змістовий модуль 2 | | | | | | | |
| П.р. 4 | | 2 | 1 | - | | 1 | 4 |
| П.р. 5 | | 2 | 1 | - | | 1 | 4 |
| П.р. 6 | | 2 | 1 | - | | 1 | 4 |
| П.р. 7 | | 2 | 1 | - | | 1 | 4 |
| Лаб.р. 3 (I Ч) | | - | - | - | | - | - |
| Лаб.р. 3 (II Ч) | | - | - | - | | 1 | 2 |
| Лаб.р. 3 (III Ч) | | - | - | 5 | 3 | - | 7 |
| Разом змістовий модуль 2 | | 8 | 4 | 5 | 3 | 5 | 25 |
| Усього | | 14 | 7 | 10 | 6 | 13 | 50 |

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

| Поточне тестування та самостійна робота | | | Підсумковий тест (екзамен) | Сума в балах |
|---|--------------------|------------------------|----------------------------|--------------|
| Змістовий модуль 1 | Змістовий модуль 2 | Індивідуальне завдання | | |
| 25 | 35 | 40 | 50 | 100 |

Загальне оцінювання результатів вивчення дисципліни

| Оцінка | | |
|-------------------------|-------------------|--------------------------|
| 100-бальна шкала | Шкала ECTS | Національна шкала |
| 90-100 | A | 5, «відмінно» |
| 80-89 | B | 4, «добре» |

| | | |
|-------|----|-------------------|
| 75-79 | C | |
| 70-74 | D | 3, «задовільно» |
| 60-69 | E | |
| 35-59 | FX | 2, «незадовільно» |
| 0-34 | F | |

**ЧАСТИНА 2.
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПІДГОТОВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОДЕРЖАННЯ ХОЛОДУ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.

Тема 1. Загальні відомості про моделювання робочих процесів холодильної техніки.

План заняття:

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Які параметри стану є основними.
2. Назвіть одиницю виміру тиску, прийняту в системі одиниць СИ.
3. Які є співвідношення між одиницями тиску 1 кг/см^2 , 1 мм. рт. ст. , 1 мм. вод. ст. , 1 Па .
4. Що таке розрідження.
5. Які співвідношення між температурами, виражені у Кельвінах та градусах Цельсія.
6. Що таке питомий об'єм тіла і його щільність. Яке співвідношення між ними.
7. Що таке теплоємність.
8. Що таке ентальпія.
9. Що таке ентропія.

2. Опитування.

3. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 1: «Загальні відомості про моделювання робочих процесів холодильної техніки».

Задача: Визначити будівельну площу камери, холодопродуктивність приладів охолодження та гладкотрубну поверхню холодильної техніки.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Дані для розрахунку

| Номер розрахункового варіанта | Камера схову | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------|---|---------------|--|-------------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| | Вантаж | $g_v, \text{ м}^3/\text{м}^3$ | Параметри повітря в камері | | Сумарний питомий теплоприплив $\frac{q_{\Sigma} \dot{A} \delta}{i^2 \gamma^3 \ddot{a} \ddot{a} \ddot{e}}$ | Номер розрахункового варіанта | Ємність камери | Робоча речовина у межах охолодження | |
| | | | $t_{\text{кам}}, \text{ } ^\circ\text{C}$ | $\varphi, \%$ | | | | Вар. А багатореї | Вар. Б ПО (повітроохолоджувачів) |
| 10 | Птиця охолодж. | 0,38 | -5 | 85 | 46 | 0 | 20 | R717 | R404A |
| 1 | Свинина морожена | 0,45 | -20 | 76 | 77 | 1 | 35 | Е/ГЛ | R717 |
| 2 | Картопля | 0,35 | 2 | 85 | 40 | 2 | 50 | П/ГЛ | R134a |
| 3 | Сир | 0,5 | 0 | 90 | 85 | 3 | 60 | R717 | R407C |
| 4 | Яблука | 0,35 | 4 | 90 | 48 | 4 | 80 | R717 | R22 |

| | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|------|-----|----|-----|---|-----|------|-------|
| 5 | Риба мороже- на | 0,45 | -24 | 85 | 105 | 5 | 110 | Е/ГЛ | R410A |
| 6 | М'ясо в блоках | 0,6 | -22 | 79 | 100 | 6 | 95 | R717 | R507 |

Тема 2. Основні способи отримання низьких та наднизьких температур.

План заняття:

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Природне і штучне охолодження. Яка між ними різниця?
 2. Який закон і термодинамічний цикл лежать в основі передачі тепла з визначеного температурного рівня на більш високий?
 3. В чому полягає принцип передачі тепла від об'єкта, що охолоджується в навколишнє середовище?
 4. Що в холодильній техніці використовується в якості робочих тіл? Охарактеризуйте їх основні властивості.
 5. Чому практично неможливо реалізувати цикл Карно (ідеальний цикл Карно) в холодильних установках.
 6. Застосовується чи ні на практиці процес регенерації тепла в холодильній установці, якщо теоретичний розрахунок показує, що з енергетичної точки зору він недоцільний.
 7. Від чого залежить температура поверхневого переохолодження хладагенту в конденсаторі. Як досягається таке переохолодження.
 8. Від чого залежить температура перегріву пара хладагенту в регенеративному теплообміннику
- 2. Опитування.*
- 3. Розв'язання практичних та лабораторних задач.*
- 3.1. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 2: «Основні способи отримання низьких та наднизьких температур».*

Задача: Побудувати цикли ПКХМ, при цьому, визначити параметри вузлових точок циклів, провести розрахунки енергетичних показників та порівняти їх.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Дані для розрахунку

| Номер розрахункового варіанта | Тип Х/А | Цикл 1 | | Цикл 2 | | Холодопродуктивність кВт |
|-------------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | $t_{н.с.}, ^\circ\text{C}$ | $t_{кам.}, ^\circ\text{C}$ | $t_{н.с.}, ^\circ\text{C}$ | $t_{кам.}, ^\circ\text{C}$ | |
| 1 | R600a | 45 | -20 | 30 | 7 | 3 |
| 2 | R507 | 35 | -18 | 22 | 5 | 6 |
| 3 | R134a | 45 | -25 | 35 | -5 | 9 |
| 4 | R600a | 40 | -22 | 25 | 0 | 8 |

| | | | | | | |
|----|-------|----|-----|----|-----|----|
| 5 | R22 | 35 | -30 | 20 | -10 | 11 |
| 6 | R134a | 50 | -20 | 40 | 0 | 5 |
| 7 | R410a | 15 | -40 | 10 | -5 | 7 |
| 8 | R22 | 30 | -35 | 25 | -15 | 13 |
| 9 | R507 | 40 | -24 | 28 | 2 | 4 |
| 10 | R410a | 10 | -50 | 0 | -10 | 10 |

3.2. *Лабораторне заняття № 1 «Побудова T-s та lgr- h діаграм для холодильного агента в програмі CoolPack».*

Мета роботи: Оволодіти методами побудови T-s та lgr- h діаграм для холодильного агента в програмі CoolPack

Теоретична частина

Пакет комп'ютерних програм CoolPack – це зібрання програм моделювання, які використовуються для проектування, аналізу та оптимізації систем охолодження.

Всі програми в пакеті CoolPack розділені на 6 груп:

1. Refrigeration Utilities – властивості холодильних агентів.
2. Cool Tools: Cycle analysis – аналіз циклів систем охолодження.
3. Cool Tools: Design – проектування систем охолодження.
4. Cool Tools: Evaluation – енергетичний аналіз системи охолодження, та розрахунок шляхів збереження енергії.
5. Cool Tools: Auxiliary – допоміжні засоби для аналізу та розрахунку систем охолодження.

6. Dynamic – динаміка зміни температури холодоагента.

Кожну з вище перелічених груп можна побачити на панелі інструментів (рис. 1).

При виконанні лабораторної роботи ми будемо використовувати першу групу програм пакету CoolPack, а саме – Refrigeration Utilities.

Refrigeration Utilities – група програм, яка може використовуватись для аналізу і обчислення термодинамічних і фізичних властивостей різних холодильних агентів. Також вона дає можливість виконувати прості обчислення для стандартних циклів охолодження.

Група програм Refrigeration Utilities має наступні особливості:

- можливість побудови lgr- h, T-s та i-s діаграм для ряду холодильних агентів;
- обчислення стандартного циклу охолодження;
- таблиці насиченості холодильних агентів та термодинамічних і фізичних властивостей холодильних агентів;
- можливість побудови i-x діаграми (ентальпія – ступінь вологості) для вологого повітря при тиску в межах від 0,014 до 50 бар. Група програм Refrigeration Utilities включає в себе три програми (рис. 1), а саме: безпосередньо Refrigeration Utilities, Refrigerant calculator та Secondary fluids

for heat transfer, які використовуються для визначення окремих точкових характеристик холодоагентів.

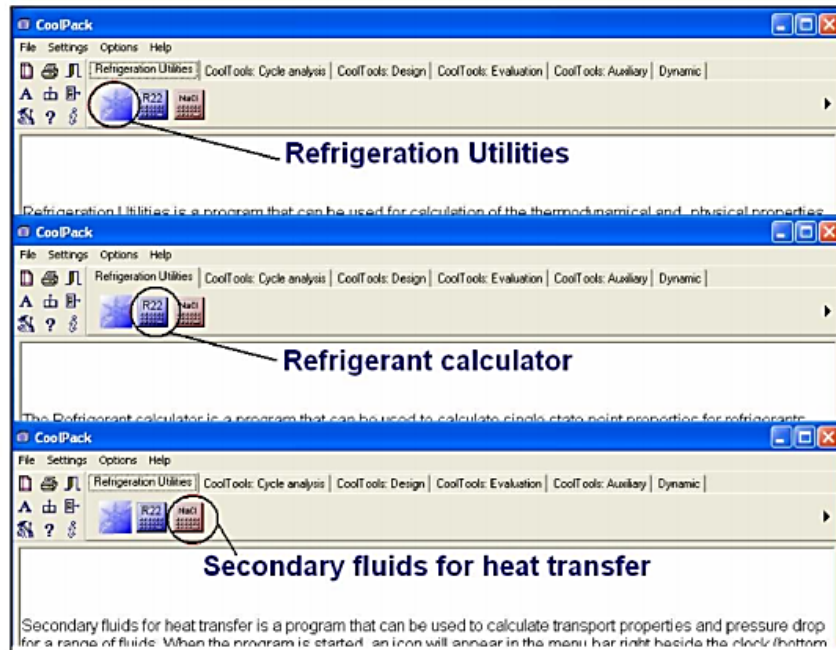


Рис. 1 – Три вкладки робочого вікна пакету програм CoolPack

В даній лабораторній роботі безпосередньо будемо працювати з програмою Refrigeration Utilities.

Щоб активувати пакет програм CoolPack необхідно знайти файл на «Робочому столі» CoolPack.exe та запустити його. Далі у вікні програми (рис. 1) обираємо необхідну нам програму – Refrigeration Utilities. Робоче вікно програми має вигляд представлений на рис. 2.

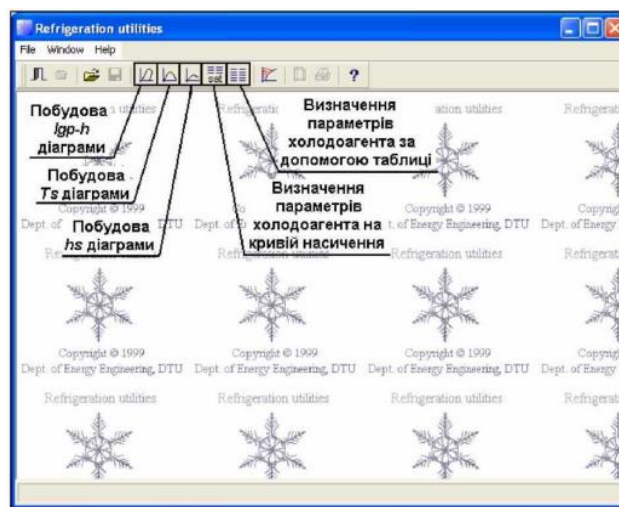



Рис. 2 – Вигляд робочого вікна програми Refrigeration Utilities

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

Розглянемо принцип побудови T-s та Igr- h діаграм для відповідного холодинного агента в програмі CoolPack:

1. Побудова T-s діаграми. Щоб побудувати T-s діаграму для певного холодоагента, знаходимо на панелі інструментів кнопку, що відповідає даній команді –  (рис. 2), і натискаємо на неї. Після натиснення на екрані з'явиться вікно (рис. 3), в якому необхідно задати параметри для побудови T-s діаграми.

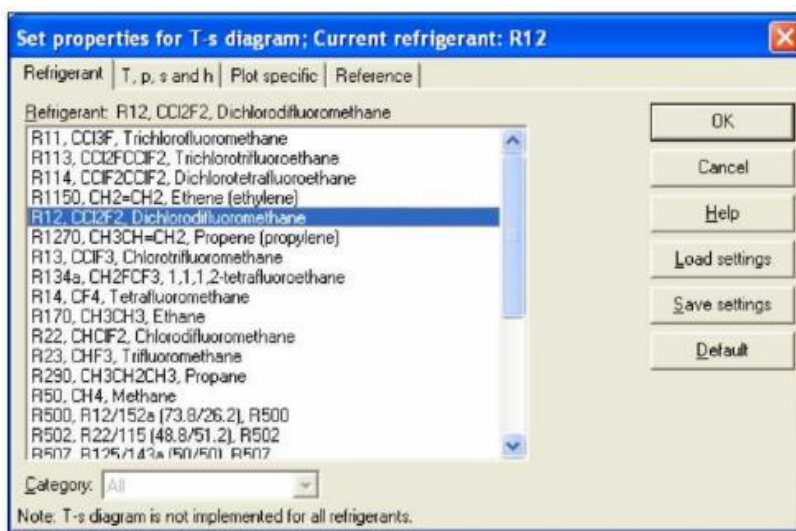


Рис.3 – Допоміжне вікно для побудови T-s діаграми: вкладка для вибору холодоагента

Спочатку необхідно обрати потрібний нам холодинний агент з представленого списку (рис. 3). Нехай це буде, наприклад, фреон–12 (R12). Далі необхідно задати параметри для побудови діаграми (рис. 4).

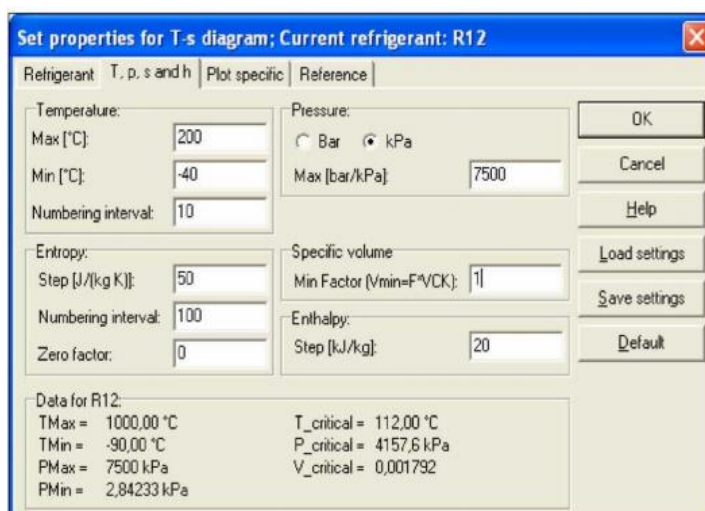


Рис.4 – Допоміжне вікно для побудови T-s діаграми: вкладка для введення параметрів побудови

Також програма дає можливість налаштувати густоту побудови ізохор та ізобар на діаграмі (вкладка Plot specific, рис. 2 (рис. 3)). Задавши всі необхідні параметри, тиснемо на «ОК» і програма будує T-s діаграму для заданого холодоагента (рис. 5).

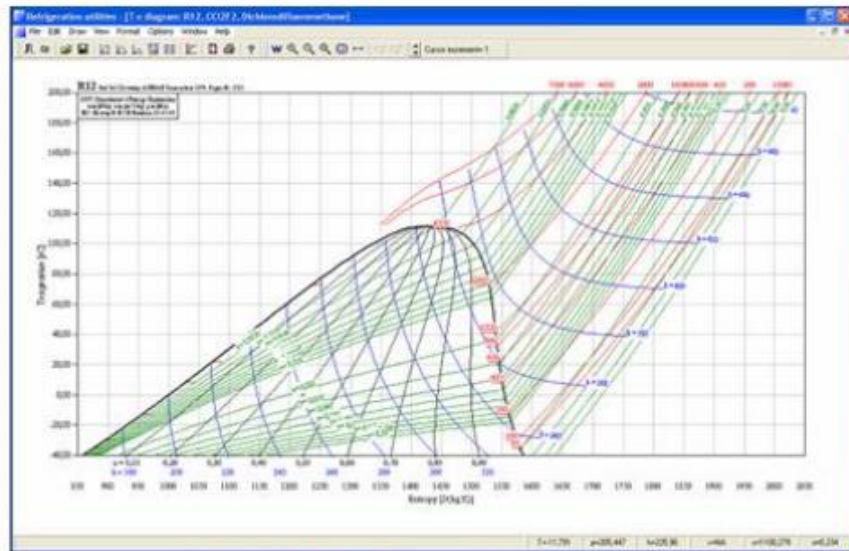



Рис. 5 –T-s діаграми для холодильного агента, побудована в програмі CoolPack

Побудова lgr-h діаграми. Щоб побудувати lgr- h діаграму для певного холодоагента, натискаємо на кнопку  на панелі інструментів (рис. 2). Далі, аналогічно як і для T-s діаграми, задаємо необхідні параметри для побудови, і отримуємо в результаті потрібну нам lgr-і діаграму (рис. 6).

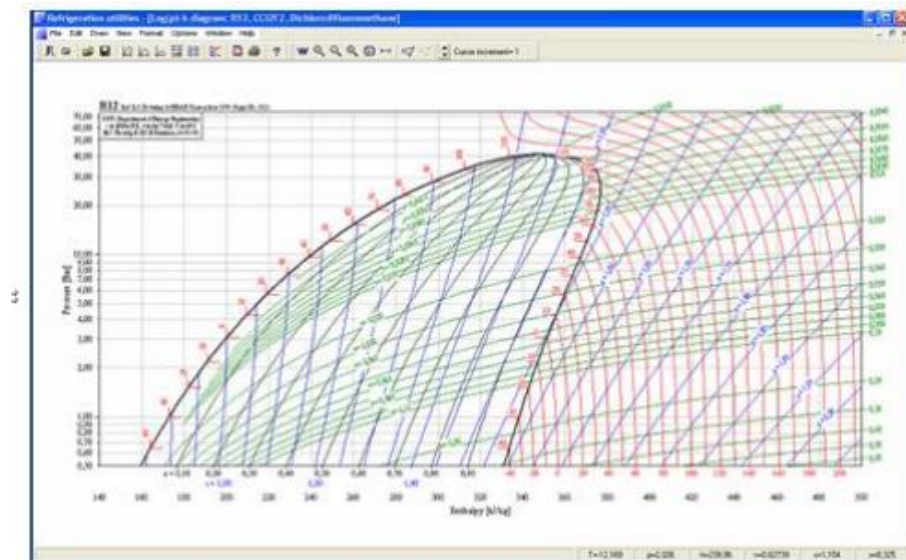


Рис. 5 –T-s діаграми для холодильного агента, побудована в програмі CoolPack

Тема 3. Властивості технічних матеріалів при низьких температурах.

План заняття:

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Крайові умови рівняння Фур'є.
2. На які групи поділяються технічні матеріали за призначенням?
3. В чому різниця між інструментальними та конструкційними матеріалами?
4. Який зв'язок існує між температурою і середньою кінетичною енергією молекулярного руху молекул газу?
5. Якими властивостями характеризується газоподібний стан?
6. Які особливості має іонно-електронна структура?
7. Чим відрізняються фрикційні і антифрикційні матеріали?

2. Опитування.

3. Розв'язання практичних та лабораторних задач.

3.1. Розв'язання практичних задач практичного заняття № 3: «Властивості технічних матеріалів при низьких температурах».

Задача: Визначити температуру за заданих умов. Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Дані для розрахунку

| Номер розрахункового варіанта | Температура приміщення, t_1 | Температура стіни, t_2 | | Номер розрахункового варіанта | Температура приміщення, t_1 | Температура стіни, t_2 |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1,11,21 | 18 | 10 | | 6,16,26 | 23 | 8 |
| 2,12,22 | 19 | 9 | | 7,17,27 | 24 | 12 |
| 3,13,23 | 20 | 18 | | 8,18,28 | 25 | 11 |
| 4,14,24 | 21 | 13 | | 9,19,29 | 26 | 16 |
| 5,15,25 | 22 | 16 | | 10,20,30 | 27 | 13 |

3.2. Лабораторне заняття № 2 «Визначення параметрів холодоагента в характерних точках циклу за допомогою комп'ютерної програми CoolPack».

Мета роботи: Оволодіти методами визначення параметрів холодоагенту в характерних точках циклу в програмі CoolPack

Теоретична частина

Пакет комп'ютерних програм CoolPack – це зібрання програм моделювання, які використовуються для проектування, аналізу та оптимізації систем охолодження.

Всі програми в пакеті CoolPack розділені на 6 груп (рис. 1).

При виконанні лабораторної роботи, тобто визначення параметрів холодоагента в характерних точках циклу, скористаємося першою групою програм пакету CoolPack, а саме – Refrigeration Utilities.

Refrigeration Utilities – група програм, яка може використовуватись для аналізу і обчислення термодинамічних і фізичних властивостей різних холодильних агентів.

Також вона дає можливість виконувати прості обчислення для стандартних циклів охолодження.

Група програм Refrigeration Utilities має наступні особливості:

- обчислення стандартного циклу охолодження;
- таблиці насиченості холодильних агентів та термодинамічних і фізичних властивостей холодильних агентів.

Група програм Refrigeration Utilities включає в себе три програми (рис. 1), а саме: безпосередньо Refrigeration Utilities, Refrigerant calculator та Secondary fluids for heat transfer, які використовуються для визначення окремих точкових характеристик холодоагентів.

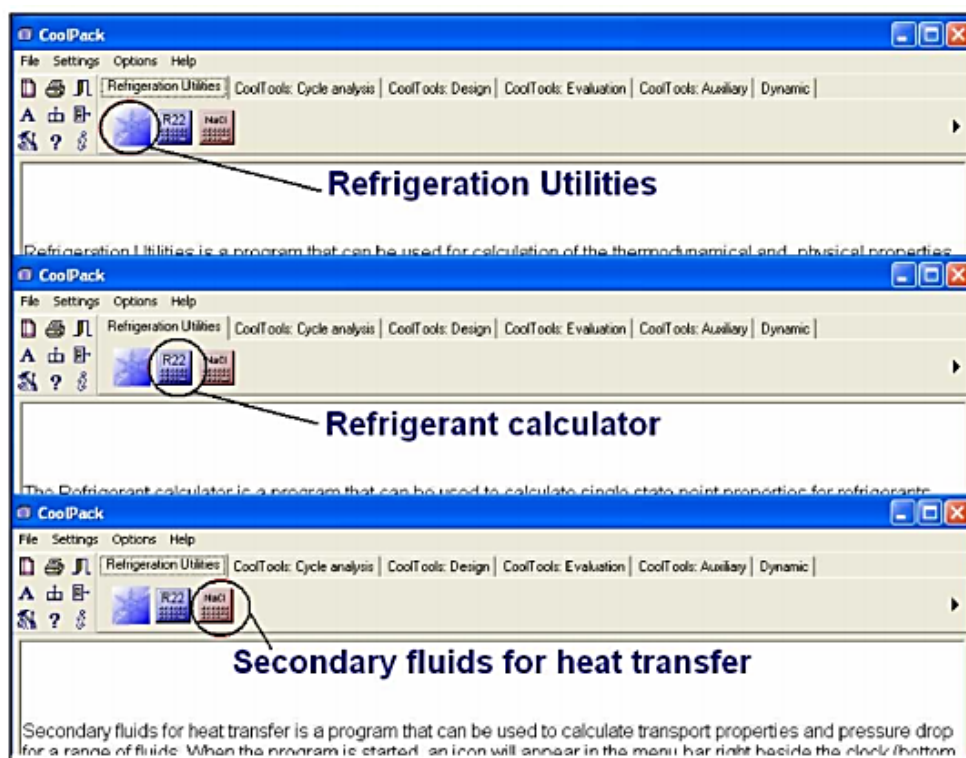


Рис. 1 – Три вкладки робочого вікна пакету програм CoolPack

Щоб активувати пакет програм CoolPack необхідно знайти файл на «Робочому столі» CoolPack.exe та запустити його.

Далі у вікні програми (рис. 1) обираємо необхідну нам програму – Refrigeration Utilities.

Робоче вікно програми має вигляд представлений на рис. 2.

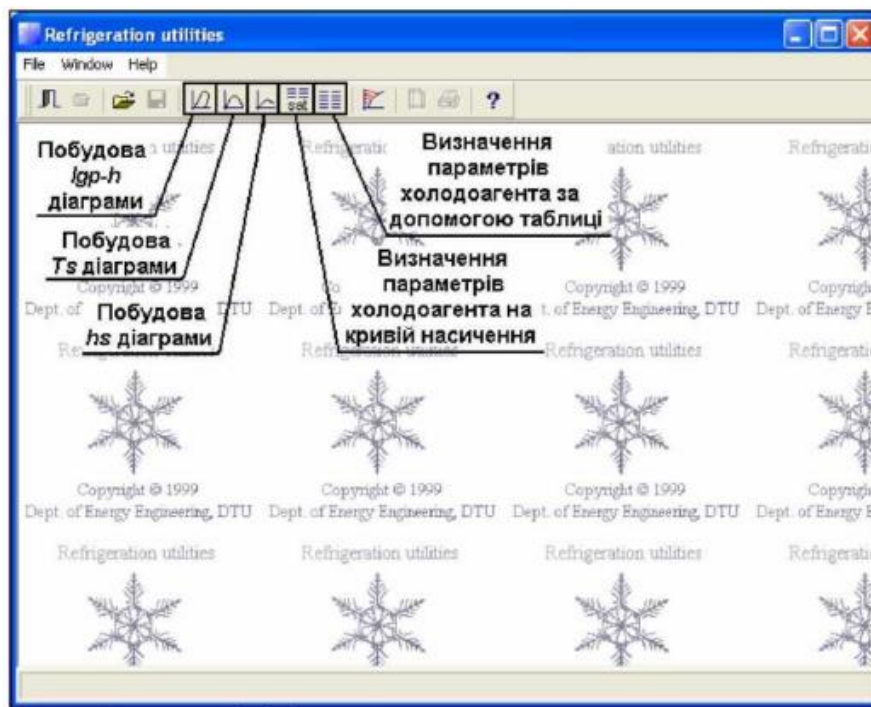


Рис. 2 – Вигляд робочого вікна програми Refrigeration Utilities

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

Для визначення параметрів холодильного агента програма CoolPack надає декілька можливостей. Визначення параметрів за допомогою діаграм та за допомогою таблиць.

1) Розглянемо визначення параметрів холодильного агента за допомогою діаграм.


Для цього встановлюємо курсор в характерну точку на площині діаграми й в правому нижньому куті робочого вікна відображаються параметри холодильного агента, які відповідають цій точці (рис. 3):

- температура (T);
- тиск (P);
- ентальпія (h) ;
- питомий об'єм (v);
- ентропія (s);
- ступінь вологості (x).



Рис. 3 – Відображення параметрів, що відповідають положенню курсору в характерній точці на площині діаграми

2) Розглянемо визначення параметрів холодильного агента за допомогою таблиць.

Натиснувши на кнопку  (рис. 2), що розташована на панелі інструментів, на екрані з'явиться робоче вікно, в якому необхідно обрати холодоагент, та задати необхідні параметри (якщо вони відрізняються від тих, що подані).

Після чого на екран буде виведено таблицю значень параметрів холодильного агента на кривій насичення (рис. 4 та 5).

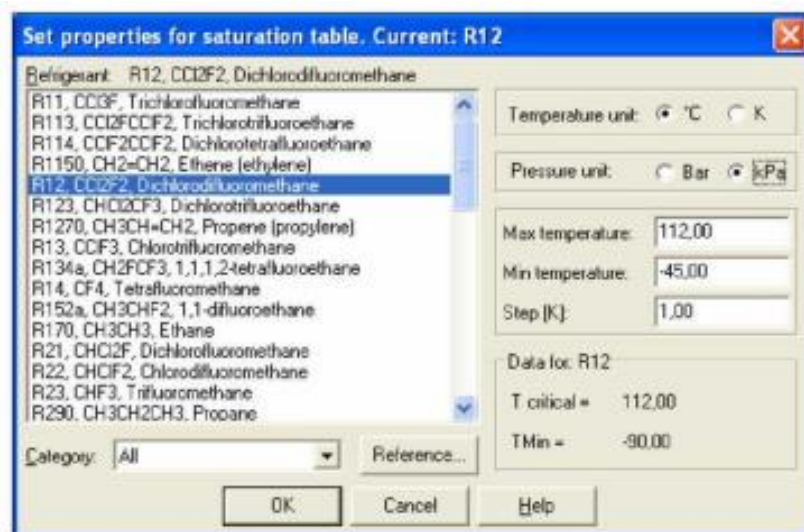



Рис. 4 – Допоміжне вікно для побудови таблиці значень параметрів певного холодильного агента на кривій насичення

| T | p | v ₁ | v ₂ | h ₁ | h ₂ | R | s ₁ | s ₂ |
|--------|-------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|--------|----------------|----------------|
| °C | kPa | dm ³ /kg | m ³ /kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/kg | kJ/(kg K) | kJ/(kg K) |
| -45,00 | 50,44 | 0,6535 | 0,30273 | 159,54 | 331,23 | 171,69 | 0,8390 | 1,5915 |
| -44,00 | 52,98 | 0,6547 | 0,28920 | 160,42 | 331,69 | 171,27 | 0,8429 | 1,5902 |
| -43,00 | 55,62 | 0,6559 | 0,27640 | 161,30 | 332,16 | 170,86 | 0,8468 | 1,5890 |
| -42,00 | 58,36 | 0,6571 | 0,26429 | 162,18 | 332,62 | 170,44 | 0,8504 | 1,5878 |
| -41,00 | 61,21 | 0,6583 | 0,25282 | 163,06 | 333,08 | 170,02 | 0,8542 | 1,5866 |
| -40,00 | 64,17 | 0,6595 | 0,24195 | 163,94 | 333,55 | 169,61 | 0,8580 | 1,5855 |
| -39,00 | 67,24 | 0,6607 | 0,23164 | 164,82 | 334,01 | 169,19 | 0,8618 | 1,5843 |

Рис. 5 – Таблиця значень параметрів певного холодильного агенту на кривій насичення

Також можна побудувати таблицю параметрів холодильного агенту в будь-якій потрібній точці (а не лише на кривій насичення), натиснувши на кнопку  (рис. 2). У допоміжному вікні, що з'явиться після натискання, необхідно вказати холодоагент, а також два незалежні параметри та їх граничні значення (рис. 6).

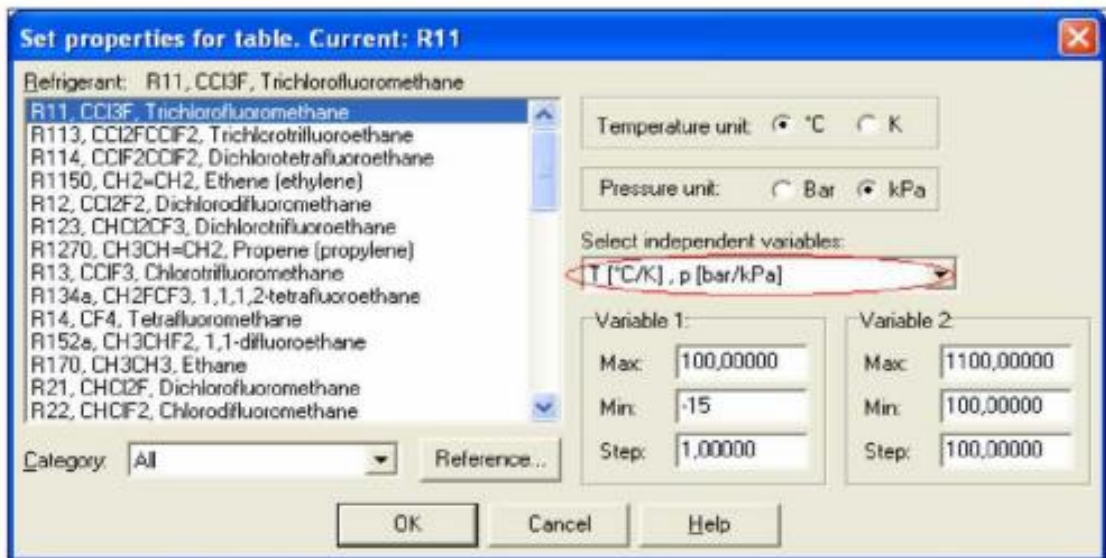


Рисунок 6 – Допоміжне вікно для побудови таблиці для визначення залежного параметра при відомих двох незалежних параметрах

Наприклад, необхідно при певній температурі і тиску знайти третій параметр, то тоді температура і тиск – незалежні параметри. Далі на екран буде виведено таблицю, в якій потрібно вказати третій, залежний параметр, значення якого необхідно знайти (рис. 7).

Refrigeration utilities - [Table of properties for: R11, CCl3F, Trichlorofluoromethane]

File Options Window Help

| T | p | H gas |
|---------|----------|-------------|
| °C | kPa | kJ/kg |
| -15,000 | 100,000 | 378,5099111 |
| -15,000 | 200,000 | 374,4528805 |
| -15,000 | 300,000 | 369,4244253 |
| -15,000 | 400,000 | 361,8416379 |
| -15,000 | 500,000 | N/A |
| -15,000 | 600,000 | N/A |
| -15,000 | 700,000 | N/A |
| -15,000 | 800,000 | N/A |
| -15,000 | 900,000 | N/A |
| -15,000 | 1000,000 | N/A |
| -15,000 | 1100,000 | N/A |
| -14,000 | 100,000 | 379,0773257 |
| -14,000 | 200,000 | 375,071862 |

Click on a column to select property

Рис. 7 – Таблица для визначення залежного параметра при відомих двох незалежних параметрах

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ПРОЦЕСИ ТЕПЛООБМІНУ, КОНДЕНСАЦІЇ ТА ВИПАРЮВАННЯ В ХОЛОДИЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ. ОСНОВИ КРІОГЕННОЇ ТЕХНІКИ.

Тема 4. Оцінка балансів теплообмінної апаратури холодильної техніки.

План заняття:

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Термодинамічні основи циклів холодильної техніки.
2. Рівняння теплового балансу холодильної техніки.
3. Регенеративний теплообмін.
4. Основне призначення теплообмінних апаратів холодильної техніки.

2. Опитування.

3. Розв'язання задач практичного заняття № 4: «Оцінка балансів теплообмінної апаратури холодильної техніки».

Задача: Побудувати графічні залежності компонентів теплового балансу $\dot{Q}_1, \dot{Q}_2, \dot{Q}_3, \dot{Q}_4$ залежно від часу (за місяцями).

Вихідні дані розрахункового режиму:

- ємність камери умовного вантажу, $\epsilon_{ум} = 150 \text{ т}$;
- вантаж – птиця заморожена в пластмасових ящиках;
- температура, що надходить, $t_{ност} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура повітря в камері, $t_{кам} = -30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- площа підлоги камери $F_{підл} = 144 \text{ м}^2$.

Розрахункові параметри при:

- навколишній температурі $t_n = -30 \text{ }^\circ\text{C}$;
- вантажообігу через камеру $G_{ван} = 0,08 \cdot E, \text{ т/добу}$;
- коефіцієнтом маси тари $a_T = 0,1$;
- сумарному теплоприпливі через огороження $\dot{Q}_1 = 5,91 \text{ кВт}$;
- зміні питомої ентальпії продукту $\Delta i_{i \text{ до } a} = 30,2 \text{ кДж/кг}$ у процесі його доморожування в камері;
- зміні питомої ентальпії тари $\Delta i_{i \text{ до } e} = 26,8 \text{ кДж/кг}$;

– Питомі навантаження експлуатаційних теплоприпливів:

- від освітлення $q_{осв} = 2 \text{ Вт/м}^2$;
- від відкриття дверей $q_{дв} = 9,3 \text{ Вт/м}^2$;
- від теплоприпливу:

– від теплоприпливу працюючого обладнання обчислюється за виразом

$$\dot{Q}_4'' = 0,1(\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3);$$

- кількість працюючих людей $n_l = 3$.

Тема 5. Розрахунок процесів тепло – й – масообміну в ізоляції.

План заняття:

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Диференціальні рівняння тепло- і масообміну.
2. Тепло- і масовіддача.
3. Потрійна аналогія.
4. Тепло- і масовіддача при конденсації пари з парогазової суміші.
2. Опитування.
3. Розв'язання задач практичного заняття № 5: «Розрахунок процесів тепло – й – масообміну в ізоляції».

Задача: Визначити тривалість охолодження й кількість теплоти, що відводиться при охолодженні продукту.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 6.

Таблиця 6

Дані для розрахунку

| Номер розрахункового варіанта | Вид продукту | Кількість продукту, кг | Умовна форма продукту | Початкова температура продукту | Температура повітря в камері | Швидкість руху повітря | Товщина продукту, м |
|-------------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | Яловичина | 180 | Циліндр | 25 | 0 | 3,0 | 0,20 |
| 2 | Телятина | 150 | Пластина | 27 | 0 | 2,8 | 0,17 |
| 3 | Свинина | 120 | Куля | 26 | 2 | 2,5 | 0,15 |
| 4 | Птах | 200 | Циліндр | 23 | 0 | 2,7 | 0,10 |
| 5 | Тріску | 170 | Пластина | 7 | -1 | 3,0 | 0,10 |
| 6 | Судак | 200 | Пластина | 8 | -2 | 2,9 | 0,15 |
| 7 | Ляц | 250 | Пластина | 8 | -1,5 | 2,7 | 0,20 |
| 8 | Яловичина | 320 | Циліндр | 20 | 1 | 2,9 | 0,20 |
| 9 | Свинина | 370 | Пластина | 21 | 0 | 2,6 | 0,16 |
| 10 | Птах | 250 | Циліндр | 22 | 0 | 2,8 | 0,10 |

Тема 6. Розрахунок зони випарювання.

План заняття:

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

- 1 Загальна характеристика процесу випарювання

- 2 Фізико-хімічна сутність процесу випарювання
- 3 Деякі властивості водно-сольових розчинів. Температурні втрати і температура кипіння водно-сольових розчинів
4. Класифікація випарних апаратів.
5. Що таке вторинна пара? Що таке екстра-пара?
6. Що таке корисна різниця температур?
2. *Опитування.*
3. *Розв'язання задач практичного заняття № 6: «Розрахунок зони випарювання».*

Задача: Визначити площу поверхні нагріву гріючих камер двокорпусної випарної установки.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 7.

Таблиця 7

Дані для розрахунку

| Номер розрахункового варіанта | P_0 , кгс/см ² | $G_{\text{поч}}$, т/год | Номер розрахункового варіанта | K_1 | K_2 |
|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|-------|-------|
| 1. | 0,3 | 10 | 1. | 1000 | 900 |
| 2. | 0,4 | 9 | 2. | 1100 | 1000 |
| 3. | 0,5 | 8 | 3. | 1200 | 1100 |
| 4. | 0,6 | 7 | 4. | 1300 | 1200 |
| 5. | 0,7 | 6 | 5. | 1400 | 1300 |
| 6. | 0,55 | 15 | 6. | 1500 | 1400 |
| 7. | 0,65 | 14 | 7. | 1600 | 1500 |
| 8. | 0,45 | 13 | 8. | 1650 | 1550 |
| 9. | 0,35 | 12 | 9. | 1250 | 1150 |
| 10. | 0,25 | 11 | 10. | 1350 | 1250 |

Тема 7. Використання кріогенних технологій в харчовій промисловості.

План заняття:

1. Обговорення основних положень теми та питань самостійного вивчення:

1. Кріогенне охолодження та заморожування за допомогою CO₂.
2. Мікрокріогенні системи охолодження, їхні характерні риси.
3. Дросельні мікрокріогенні системи на сумішах речовин.

2. Опитування.

3. Розв'язання практичних та лабораторних задач.

3.1. Розв'язання задач практичного заняття № 7: «Використання кріогенних технологій в харчовій промисловості».

Задача: Знайти об'єм рідкого азоту, необхідного для заморожування продукту.

Числові значення вихідних даних для розрахунку наведені в таблиці 9.

Таблиця 9

Дані для розрахунку

| Номер розрахункового варіанта | Маса продукту, що заморожується, т | Початкова температура, °С | Питома вага рідкого азоту, кг/м ³ | Теплота кипіння азоту, кДж/кг | Температура кипіння рідкого азоту, К | Вологість продукту, % | Теплота замерзання води, кДж/кг |
|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------|--|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1. | 1 | 20 | 807,8 | 197,6 | 78 | 70 | 3400 |
| 2. | 0,9 | 19 | | | 77,9 | 60 | |
| 3. | 0,8 | 18 | | | 77,8 | 50 | |
| 4. | 0,7 | 17 | | | 77,7 | 70 | |
| 5. | 0,6 | 16 | | | 77,6 | 60 | |
| 6. | 0,5 | 15 | | | 77,5 | 50 | |
| 7. | 0,4 | 20 | | | 77,4 | 70 | |
| 8. | 0,3 | 19 | | | 78 | 60 | |
| 9. | 0,2 | 18 | | | 77,9 | 50 | |
| 10. | 0,1 | 17 | | | 77,8 | 70 | |

3.2. *Лабораторне заняття № 3 «Проектування холодильної системи за допомогою комп'ютерних програм Solkane та CoolPack».*

Мета роботи: Оволодіти методами проектування циклу парокомпресорної холодильної установки за допомогою комп'ютерних програм Solkane та CoolPack

Теоретична частина

Парокомпресійна холодильна установка працює при температурі випаровування t_0 . Пара з випарника виходить сухою насиченою. Температура конденсації дорівнює t_k . Загальна холодопродуктивність холодильної установки складає Q_0 . Вихідні дані наведені у табл. 10.

При розрахунку зразкового циклу ПКХУ необхідно визначити:

- 1) потужність приводу компресора N , кВт;
- 2) витрату холодильного агенту m , кг/с;
- 3) теплове навантаження конденсатора $Q_{\text{кон}}$, кВт;
- 4) холодильний коефіцієнт ε ;
- 5) ексергетичний коефіцієнт ПКХУ.

Всі розрахунки необхідно провести також для випадку наявності детандера замість дросельного вентиля та коли введено переохолодження холодоагенту у конденсаторі на 10°C.

Дані для розрахунку

| Номер розрахункового варіанта | Тип Х/А | Цикл 1 | | Цикл 2 | | Холодопродуктивність кВт |
|-------------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | $t_{н.с.}, ^\circ\text{C}$ | $t_{кам.}, ^\circ\text{C}$ | $t_{н.с.}, ^\circ\text{C}$ | $t_{кам.}, ^\circ\text{C}$ | |
| 1 | R600a | 45 | -20 | 30 | 7 | 3 |
| 2 | R507 | 35 | -18 | 22 | 5 | 6 |
| 3 | R134a | 45 | -25 | 35 | -5 | 9 |
| 4 | R600a | 40 | -22 | 25 | 0 | 8 |
| 5 | R22 | 35 | -30 | 20 | -10 | 11 |
| 6 | R134a | 50 | -20 | 40 | 0 | 5 |
| 7 | R410a | 15 | -40 | 10 | -5 | 7 |
| 8 | R22 | 30 | -35 | 25 | -15 | 13 |
| 9 | R507 | 40 | -24 | 28 | 2 | 4 |
| 10 | R410a | 10 | -50 | 0 | -10 | 10 |

Експериментальна частина

Послідовність виконання роботи:

1. За допомогою програми «CoolPack» будуються та роздруковуються T-s та lgr-h діаграми для заданого варіанту (табл. 10).
2. В T-s та lgr-h діаграмах будується цикл ПКХУ.
3. За допомогою програми «CoolPack» визначаються параметри холодоагента (p , T , h , s , v) в характерних точках циклу та заносяться до табл. 11.

Параметри холодильного агента в вузлових точках циклу

| Точка | Параметри | | | | |
|-------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | $T, ^\circ\text{C}$ | $p, \text{кПа}$ | $h, \text{кДж/кг}$ | $s, \text{кДж/кг} \cdot \text{К}$ | $v, \text{м}^3/\text{кг}$ |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| ... | | | | | |

4. Далі за даними табл. 11 визначаються наступні величини у такій послідовності:

- 1) Питома теплота підводу в циклі або питома холодопродуктивність.

Оскільки процес у випарнику ізобарний, то:

$$q_{\text{під}} = q_0 = \Delta h = h_1 - h_4, \text{кДж/кг} \quad (1)$$

- 2) Питома теплота відводу в циклі або питома навантаження у конденсаторі. Процес (2 – 3) також є ізобарним, тоді:

$$q_{\text{під}} = q_{\text{кон}} = h_2 - h_3, \text{кДж/кг} \quad (2)$$

3) Питома робота циклу дорівнює у даному випадку питомій роботі на привід компресора і розраховується як різниця $q_{\text{ПІД}}$ і $q_{\text{ВІД}}$. За абсолютним значенням ця робота дорівнює:

$$l = q_{\text{ПІД}} - q_{\text{ВІД}},$$

$$l = (h_2 - h_3) - (h_1 - h_4), \quad (3)$$

При дроселюванні $h_3 = h_4$. Тоді, розкривши скобки у рівнянні, будемо мати:

$$l = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг} \quad (4)$$

Ту ж саму формулу отримаємо якщо роботу циклу будемо розглядати як роботу на привід компресора l_K , яка дорівнює наявній роботі адіабатного процесу l_H , що береться з протилежним знаком:

$$l = l_K, \quad l_K = -l_H,$$

$$l_H = -\Delta h_{12} = h_1 - h_2.$$

Тоді:

$$l = l_K = h_2 - h_1$$

4) Холодильний коефіцієнт обчислюється за рівнянням:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}. \quad (5)$$

5) Витрата холодильного агента, що циркулює в циклі, знаходиться з рівняння:

$$m = \frac{Q_0}{q_0}, \text{ кг/с} \quad (6)$$

6) Об'ємну витрату холодильного агента визначимо за залежністю:

$$V_1 = m \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{с} \quad (7)$$

де v_1 – питомий об'єм холодильного агента в точці 1, який знаходиться за табл. 11, $\text{м}^3/\text{кг}$.

7) Потужність, що витрачається на привід компресора обчислюється наступним чином:

$$N = m \cdot l, \text{ кВт} \quad (8)$$

8) Термодинамічна досконалість циклу ПКХУ з дросельним вентилям знайдеться в порівнянні з холодильною установкою, яка працює за зворотним циклом Карно, в тому ж інтервалі температур:

$$\eta_E = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_k} = \varepsilon \cdot \frac{T_{\text{НС}} - T_0}{T_{\text{НС}}} = \varepsilon \cdot \frac{T_K - T_0}{T_K} \quad (9)$$

5. Подібні розрахунки проводяться, коли дросельний вентиль ПКХУ замінено детандером і, коли введено переохолодження холодильного агента у конденсаторі на 10°C . При цьому необхідно враховувати відмінність цих циклів:

1) Цикл з переохолодженням. Якщо переохолодження відбувається у конденсаторі, то змінюються формули для розрахунку q_0 і $q_{\text{КОН}}$. Все інше лишається без змін. Питома холодопродуктивність та питома навантаження конденсатора визначається за рівняннями:

$$q_0^{\text{ПЕР}} = h_1 - h_2, \text{ кДж/кг} \quad (10)$$

$$q_{\text{КОН}}^{\text{ПЕР}} = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг} \quad (11)$$

Питома робота циклу лишить незмінною.

2) Цикл при наявності детандера. Питома холодопродуктивність і питома навантаження конденсатора будуть такими ж , як і в циклі ПКХУ з дросельним вентилем, а питома робота циклу зміниться. Детандер і конденсатор, як відомо, у ПКХУ закріплені на одному валу. Якщо в компресорі робота витрачається, то в детандері вона корисно використовується. Холодильний агент у детандері адіабатнорозширюється, охолоджується і виконує корисну роботу. Тоді:

$$l = l_k - l_d \quad (12)$$

Оскільки процес у детандері і компресорі є адіабатним, то:

$$l_k = h_2 - h_1, \text{ а } l_d = h_3 - h_5 \quad (13)$$

6. Побудувати графіки залежності холодильного коефіцієнта та ексергетичного к.к.д. від температури охолодження об'єкта. Для цього провести розрахунки для різних значень температури охолодження об'єкта з інтервалом в

$\pm 5^\circ\text{C}$ відносно заданої температури t_0 (3 – 4 точки).

**ЧАСТИНА 3. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ
САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОДЕРЖАННЯ ХОЛОДУ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.

Тема 1. Загальні відомості про моделювання робочих процесів холодильних машин.

Методи контролю: розв'язання задач, тестування, усне опитування.

Завдання для самостійної роботи:

1.1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

1.2. Самостійно опрацюйте питання.

1. У зворотному циклі здійснюється перенос тепла від ...
2. Яке математичне вираження холодильного коефіцієнта?
3. Робочі процеси стиску і розширення в машинах.
4. Зворотній цикл Карно. Його побудова на діаграмі T-s.
5. Діаграма P-I(h). Побудова теоретичного циклу ПКХМ на діаграмі.
6. Побудова дійсного циклу на діаграмах P-I(h) та T-s.
7. Схема та цикл на діаграмі T-s газової холодильної машини з регенерацією

1.3. Розв'яжіть тестові завдання.

1.4. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 1.

Кількість теплоти, яка потрібна для перетворення 1 кг рідини в пару, називається

- А. питомою теплотою кипіння
- В. питомою теплотою пароутворення
- С. питомою ентальпією
- Д. питомою ентропією

Холодильні машини працюють за термодинамічним

- А. зворотним циклом
- В. циклом Карно
- С. прямим циклом
- Д. циклом Ренкіна

Коефіцієнт корисної дії циклу Карно не залежить від властивостей робочого тіла, а тільки від _____ гарячого і холодного тіла

- А. теплоємності
- В. теплопровідності
- С. температури
- Д. ентальпії

Параметри, від відношення яких залежить значення к.к.д. циклу Карно

- A. парціальні тиски
- B. густина
- C. абсолютні температури
- D. питомі об'єми

Величину, яка показує, скільки теплоти відбирається від холодного тіла в зворотному циклі на одиницю затраченої роботи, називають

- A. холодильним к.к.д.
- B. ефективним к.к.д.
- C. термічним к.к.д.
- D. номінальним к.к.д.

Термічний коефіцієнт корисної дії довільного прямого циклу визначається за формулою

- A. $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
- B. $\eta = 1 - \frac{q_2}{q_1}$
- C. $\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$
- D. $\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^n}$

За допомогою якого із цих рівнянь визначається ефективність холодильних машин

- A. $\eta_t = 1 - \frac{T_2}{T_1}$
- B. $\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1}$
- C. $\varepsilon = 1 - \frac{q_2}{l_k}$
- D. $\varepsilon = 1 - \frac{q_1}{k}$

Координати, в яких площа діаграми буде в масштабі формують роботу

- A. температура – ентропія (T – s)
- B. ентальпія – ентропія (h – s)
- C. тиск – питомий об'єм (p – v)
- D. ентальпія – вологовміст (h – d)

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Теоретичні основи холодильної техніки : посібник до практичних і лабораторних занять та самостійної роботи, частина 2 / Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 62 с.

Допоміжна

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. – К.: НУХТ, 2010. – 178 с.

Тема 2. Основні способи отримання низьких та наднизьких температур.

Методи контролю: розв'язання задач, тестування, усне опитування.

Завдання для самостійної роботи:

1.1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

1.2. Самостійно опрацюйте питання.

1. Методи одержування низьких температур: розширення з виробництвом зовнішньої роботи.

2. Методи одержування низьких температур: розширення без виробництвом зовнішньої роботи.

3. Методи одержування низьких температур: дроселювання

1.3. Розв'яжіть тестові завдання.

1.4. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 2 та лабораторної роботи № 1.

Процес розширення з виробленням зовнішньої роботи як метод отримання низьких температур використовують

- A. в кріогенній техніці
- B. в техніці низьких температур
- C. в побутовій холодильній техніці
- D. в промисловості на рівні температур: від -170 до -50°C

Процес кипіння рідини при зниженому тиску як метод отримання холоду, використовують

- A. в кріогенній техніці
- B. в техніці низьких температур
- C. в техніці помірного холоду малої продуктивності
- D. в промисловості на рівні температур: від -120 до -50°C

Коефіцієнт перетворення COP циклу Карно має математичний вигляд

$COP = \frac{T_{гор} + T_{хол}}{T_{гор}}$. Про яку машину йдеться

- A. холодильну
- B. теплофікаційну
- C. тепловий насос
- D. теплову

Різницю температур перегрітої пари і температури насичення t_n називають

- A. мірою перегрівання
- B. мірою сухості
- C. мірою вологості
- D. мірою температури

Криву на діаграмах водяної пари, яка характеризує стан рідини, нагрітої до температури насичення t_n , називають кривою

- A. верхньою граничною $x=1$
- B. нижньою граничною $x=0$
- C. середньою
- D. верхньою граничною $x=0,5$

У парокompресійній холодильній машині дроселювання холодоагента здійснюється з метою

- A. зниження тиску
- B. підвищення температури
- C. підвищення температури і тиску
- D. підвищення тиску

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Теоретичні основи холодильної техніки : посібник до практичних і лабораторних занять та самостійної роботи, частина 2 / Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 62 с.

Допоміжна

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. – К.: НУХТ, 2010. – 178 с.

Тема 3. Властивості технічних матеріалів при низьких температурах.

Методи контролю: розв'язання задач, тестування, усне опитування.

Завдання для самостійної роботи:

1.1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

1.2. Самостійно опрацюйте питання.

1. Границя плинності.

2. Границя міцності.
3. Границя стомлюваності.
4. Пластичність (ударна в'язкість).
5. Значення модуля Юнга.

1.3. Розв'яжіть тестові завдання.

1.4. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 3 та лабораторної роботи № 2.

До механічних властивостей матеріалів відносяться

- A. міцність на розтяг, стиск, згин і кручення
- B. крихкість і твердість
- C. питома теплоємність, температура плавлення і теплопровідність
- D. пружність, еластичність, пластичність і в'язкість

Властивості, що має тіло, яке здатне повністю відновлювати свою форму і розміри після припинення дії зовнішніх сил, що викликали його деформацію

- A. еластичність
- B. міцність
- C. пластичність
- D. пружність

У наслідок втоми матеріалу виникає

- A. збільшення сили зчеплення деформованого матеріалу при зсуві елементів кристалічної решітки
- B. зменшення ваги матеріалу без зміна форми поверхонь, що труться
- C. зміна форми поверхонь матеріалів, що деформуються і зменшення ваги матеріалу
- D. зміна форми поверхонь матеріалів, що деформуються і збільшення ваги матеріалу

Величина, яка використовується для характеристики деформації розтягу

- A. абсолютне видовження
- B. густина
- C. в'язкість
- D. коефіцієнт поверхневого натягу

Межу пружності матеріалу характеризує

- A. міцність
- B. пластичність
- C. пружність
- D. твердість

Межею пропорційності називається

- A. механічна напруга при якій матеріал тече
- B. механічна напруга вище від якої матеріал вже не підлягає закону Гука
- C. механічна напруга при якій матеріал не зазнає залишкових деформацій
- D. механічна напруга при якій матеріал руйнується

Механічна напруга і сила, яка викликає деформацію, пов'язані між собою

- A. механічна напруга дорівнює добутку сили на площу поперечного перерізу зразка, який зазнає деформації розтягу
- B. механічна напруга дорівнює добутку сили на відносне видовження зразка, який зазнає деформації розтягу
- C. механічна напруга прямо пропорційна силі і обернено пропорційна відносному видовженню зразка
- D. механічна напруга прямо пропорційна силі і обернено пропорційна площі поперечного перерізу зразка, який зазнає деформації розтягу

Напруга при якій зразок подовжується без збільшення навантаження називається

- A. границею пружності
- B. границею пропорційності
- C. границею міцності
- D. границею текучості

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Теоретичні основи холодильної техніки : посібник до практичних і лабораторних занять та самостійної роботи, частина 2 / Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 62 с.

Допоміжна

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. – К.: НУХТ, 2010. – 178 с.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. ПРОЦЕСИ ТЕПЛООБМІНУ, КОНДЕНСАЦІЇ ТА ВИПАРЮВАННЯ В ХОЛОДИЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ. ОСНОВИ КРІОГЕННОЇ ТЕХНІКИ.

Тема 4. Оцінка балансів теплообмінної апаратури холодильних машин.

Методи контролю: розв'язання задач, тестування, усне опитування.

Завдання для самостійної роботи:

1.1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

1.2. Самостійно опрацюйте питання.

1. Теплові розрахунки теплообмінних апаратів.
2. Теплообмін, гідродинаміка і пароутворення в теплообмінних поверхнях.

1.3. Розв'яжіть тестові завдання.

1.4. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 4.

Коефіцієнт теплопередачі ($\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$) аміачного кожухотрубного випарника для охолодження розсолу дорівнює

- A. 3...5
- B. 20...40
- C. 100...200
- D. 400...600

Коефіцієнт теплопередачі ($\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$) камерної ребреної батареї дорівнює

- A. 3...5
- B. 20...40
- C. 100...200
- D. 800...1000

Коефіцієнт теплопередачі ($\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$) камерного повітроохолоджувача дорівнює

- A. 3...5
- B. 15...30
- C. 100...200
- D. 400...600

Визначити значення коефіцієнта теплопровідності ($\text{Вт}/(\text{м К})$), що відповідає теплоізоляційним матеріалам високої ефективності

- A. 0,01
- B. 0,04
- C. 0,1

D. 0,4

Визначити значення коефіцієнта теплопровідності (Вт / (м К)), що відповідає теплоізоляційним матеріалам середньої ефективності

A. 0,1

B. 0,2

C. 0,4

D. 1,0

Визначити значення коефіцієнта теплопровідності (Вт / (м К)), що відповідає теплоізоляційним матеріалам низької ефективності

A. 0,1

B. 0,2

C. 0,4

D. 1,0

Знайти кількість тепла, що передається крізь плоску стінку товщиною 100 мм, висотою 3 м і шириною 5 м, якщо температура на її поверхнях складає 20 °С і – 15 °С; $\lambda = 1$ Вт/(м · град)

A. 4 - 6 кВт

B. 6 - 8 кВт

C. 10 - 12 кВт

D. 13 - 15 кВт

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Теоретичні основи холодильної техніки : посібник до практичних і лабораторних занять та самостійної роботи, частина 2 / Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 62 с.

Допоміжна

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. – К.: НУХТ, 2010. – 178 с.

Тема 5. Розрахунок процесів тепло – й – масообміну в ізоляції.

Методи контролю: розв'язання задач, тестування, усне опитування.

Завдання для самостійної роботи:

1.1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

1.2. Самостійно опрацюйте питання.

1. Теплообмін при конденсації пари. Плівкова і крапельна конденсація. Визначення товщини плівки конденсату і локального значення коефіцієнта тепловіддачі. Вплив перегріву і вологості пари. Вплив стану поверхні. Вплив швидкості і напрямку руху пари на коефіцієнт тепловіддачі.

2. Конвективний теплообмін. Вільний і вимушений рух рідини. Товщина граничного шару. Числа і рівняння подібності.

1.3. Розв'яжіть тестові завдання.

1.4. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 5.

Визначити спосіб, при якому не передається теплота через шар холодильної ізоляції

- A. теплопровідністю по стінках пор
- B. теплопровідністю в обсязі пор
- C. конвекцією й теплопровідністю в обсязі пор
- D. випромінюванням між стінками пор

Визначити значення вологи, що є основним джерелом зволоження ізоляції

- A. молекулярна
- B. гігроскопічна
- C. дифузійна
- D. краплинна

Обребріння з метою інтенсифікації теплопередачі слід здійснювати, якщо

$$\alpha_1 \ll \alpha_2$$

- A. зі сторони α_2
- B. з обох боків;
- C. залежить від роду рідини;
- D. зі сторони α_1

Визначити механізм передачі тепла в металах і їх сплавах

- A. хаотичний рух і зіткнення окремих молекул
- B. негармонічні пружні коливання
- C. рух вільних електронів
- D. дифузія молекул

Охолоджувальна систем у якій робоче тіло надходить в охолоджувальний прилад під різницею тисків конденсації й випару

- A. насосна з верхньою подачею холодильного агента в охолоджувальні прилади
- B. насосна з нижньою подачею холодильного агента в охолоджувальні прилади
- C. безнасосна прямоточна
- D. безнасосна із самоциркуляцією

Охолоджувальна систем у якій робоче тіло надходить в охолоджувальний прилад під дією різниці щільностей робочого тіла

- A. насосна з верхньою подачею холодильного агента в охолоджувальні прилади
- B. насосна з нижньою подачею холодильного агента в охолоджувальні прилади
- C. безнасосна прямоточна
- D. безнасосна із самоциркуляцією

« G »у формулі $G = Q_0 / r$ означає

- A. теплове навантаження охолоджувального приладу
- B. масову кількість холодильного агента, що випарувався, в одиницю часу
- C. об'ємну кількість холодильного агента, що випарувався, в одиницю часу
- D. сховану теплоту випару холодильного агента

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Теоретичні основи холодильної техніки : посібник до практичних і лабораторних занять та самостійної роботи, частина 2 / Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 62 с.

Допоміжна

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. – К.: НУХТ, 2010. – 178 с.

Тема 6. Розрахунок зони випарювання.

Методи контролю: розв'язання задач, тестування, усне опитування.

Завдання для самостійної роботи:

1.1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

1.2. Самостійно опрацюйте питання.

- 1. Наведіть схему випарної станції. Поясніть як вона працює.
- 2. Призначення матеріального балансу випарної станції.
- 3. Як визначається кількість випареної води в кожному корпусі трикорпусної випарної станції?

1.3. Розв'яжіть тестові завдання.

1.4. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 6.

Межи у яких повинна змінюватися кратність циркуляції холодильного агенту в безнасосних прямоточних охолоджувальних системах безпосереднього випару

- A. 0,3...0,8
- B. 1...1,3
- C. 3...5
- D. 20...40
- E.

Межи у яких повинна змінюватися кратність циркуляції холодильного агенту в насосних охолоджувальних системах безпосереднього випару з нижньою подачею холодильного агенту в охолоджувальні прилади

- A. 0,3...0,8
- B. 1...1,3
- C. 3...5
- D. 20...40

Межи у яких повинна змінюватися кратність циркуляції холодильного агента в насосних охолоджувальних системах безпосереднього випару з верхньою подачею холодильного агенту в охолоджувальні прилади

- A. 0,3...0,8
- B. 1...1,3
- C. 3...5
- D. 20...40

« Н » у формулі $\Delta P_{\text{ц}} = g H (\rho_1 - \rho_2)$ означає

- A. висота від рівня рідини у віддільнику рідини до місця подачі холодильного агенту в охолоджувальний прилад
- B. висота від рівня рідини у віддільнику рідини до місця виходу холодильного агенту з охолоджувального приладу
- C. висота від рівня рідини у віддільнику рідини до дна апарата
- D. висота віддільника рідини

« ρ_1 » у формулі $\Delta P_{\text{ц}} = g H (\rho_1 - \rho_2)$ означає

- A. щільність рідкого холодильного агенту
- B. питомий обсяг рідкого холодильного агенту
- C. щільність парорідинної суміші
- D. питомий обсяг парорідинної суміші

« ρ_2 » у формулі $\Delta P_{\text{ц}} = g H (\rho_1 - \rho_2)$ означає

- A. щільність рідкого холодильного агенту
- B. питомий обсяг рідкого холодильного агенту
- C. щільність парорідинної суміші

D. питомий обсяг парорідинної суміші

Недоліком насосної охолоджувальної системи безпосереднього випару з верхньою подачею холодильного агенту не є

- A. ненадійний розподіл холодоагенту між шлангами батарей
- B. велика продуктивність насосів
- C. велика ємність циркуляційних ресиверів
- D. мала ємність по холодоагенту

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Теоретичні основи холодильної техніки : посібник до практичних і лабораторних занять та самостійної роботи, частина 2 / Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 62 с.

Допоміжна

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. – К.: НУХТ, 2010. – 178 с.

Тема 7. Використання кріогенних технологій в харчовій промисловості.

Методи контролю: розв'язання задач, тестування, усне опитування.

Завдання для самостійної роботи:

1.1. Опрацюйте конспект лекцій та рекомендовану літературу для обговорення теоретичних питань теми на практичному занятті.

1.2. Самостійно опрацюйте питання.

- 1. Одержання наднизьких температур по методу Померанчука.
- 2. Одержання наднизьких температур у рефрижераторах розчинення.
- 3. Одержання наднизьких температур методами розмагнічування.

1.3. Розв'яжіть тестові завдання.

1.4. Підготуйтеся до виконання практичної роботи № 7 та лабораторної роботи № 3.

Дайте визначення, які з морозильних апаратів відрізняються найменшим енергоспоживанням (у порівнянних умовах)

- A. тунельні
- B. конвеєрні
- C. гравітаційно-конвеєрні
- D. багатоплиточні

Дайте визначення, які з морозильних апаратів відрізняються універсальністю, тобто можливістю заморожування продуктів різної форми и розмірів

- A. тунельні
- B. конвеєрні
- C. флюїдизаційні
- D. багатоплиточні

Огородження камер, в яких встановлюють крижані екрани

- A. біля стелі
- B. біля зовнішніх стін, уздовж яких розташовані батареї
- C. біля зовнішніх стін, вільних від батарей
- D. біля внутрішніх стін

Камери багатоповерхових холодильників, що використовують крижані вкриття продуктів

- A. у низькотемпературних камерах верхнього поверху
- B. у низькотемпературних камерах проміжних поверхів
- C. у низькотемпературних камерах першого поверху
- D. у камерах, розташованих у підвалі

Зміна коефіцієнту теплопровідності харчових продуктів при їхньому заморожуванні

- A. збільшується до досягнення продуктом криогідратної температури ($t_{\text{свт}}$), а потім залишається незмінним
- B. збільшується до досягнення продуктом $t_{\text{свт}}$, а потім зменшується
- C. залишається незмінним
- D. зменшується до досягнення продуктом $t_{\text{свт}}$, а потім залишається незмінним

Зміна коефіцієнту температуровідності харчових продуктів при їхньому заморожуванні

- A. збільшується до досягнення продуктом криогідратної температури ($t_{\text{свт}}$), а потім залишається незмінним
- B. збільшується до досягнення продуктом $t_{\text{свт}}$, а потім зменшується
- C. залишається незмінним
- D. зменшується до досягнення продуктом $t_{\text{свт}}$, а потім залишається незмінним

Зміна ентальпії харчових продуктів при їхньому заморожуванні

- A. спочатку збільшується, потім зменшується
- B. лінійно зменшується
- C. зменшується по кривій з опуклістю вниз
- D. зменшується по кривій з опуклістю нагору

Поясніть від чого залежить кріоскопічна температура

- A. від концентрації розчинів у тканинах продукту
- B. від швидкості руху повітря в камері
- C. від відносної вологості повітря, що оточує продукт
- D. від температури в камері заморожування

Список рекомендованої літератури

Основна

1. Теоретичні основи холодильної техніки : посібник до практичних і лабораторних занять та самостійної роботи, частина 2 / Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 62 с.

Допоміжна

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. – К.: НУХТ, 2010. – 178 с.

Навчальне видання

Хорольський В.П., Заїкіна Дар'я Павлівна

Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ»

Формат 60×84/8. Ум. др. арк. 2.

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