



Міністерство освіти і науки України

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет мехатроніки та інжинірингу

**Кафедра обладнання та інжинірингу переробних і
харчових виробництв**

А. О. Шевченко, В. М. Михайлов, С. В. Прасол

**ТЕПЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ
ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Частина 1.

**ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ТЕПЛОВУ ОБРОБКУ, ОБЛАДНАННЯ
ТА ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

Конспект лекцій

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»**

**Харків
2025**

Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет мехатроніки та інжинірингу

Кафедра обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв

А. О. Шевченко, В. М. Михайлов, С. В. Прасол

**ТЕПЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ
ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Частина 1.

**ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ТЕПЛОВУ ОБРОБКУ, ОБЛАДНАННЯ ТА
ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

Конспект лекцій

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форм навчання
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»**

Затверджено
рішенням Науково-методичної комісії
факультету мехатроніки та інжинірингу
Протокол № 4 від 18 лютого 2025 р.

Харків
2025

УДК 641.53.09(042.4)

T-34

Схвалено
на засіданні кафедри обладнання та інжинірингу
переробних і харчових виробництв
Протокол № 10 від 03 лютого 2025 р.

Рецензенти:

В.О. Потапов, професор кафедри інтегрованих електротехнологій та енергетичного машинобудування Державного біотехнологічного університету, д-р техн. наук, професор;

О.А. Маяк, доцент кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв Державного біотехнологічного університету, канд. техн. наук, доцент

T-34 Теплове обладнання підприємств харчових виробництв У 2 ч. Ч. 1. Загальні поняття про теплову обробку, обладнання та джерела теплової енергії [Електронне видання] : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / уклад. : А.О. Шевченко, В.М. Михайлов, С.В. Прасол. – Електрон. дані. – Харків : ДБТУ, 2025. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.

Конспект лекцій «Теплове обладнання підприємств харчових виробництв» відповідає робочій програмі навчальної дисципліни, призначений для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». Ч. 1 «Загальні поняття про теплову обробку, обладнання та джерела теплової енергії» містить 3 лекції. Розглядаються наступні теми: «Загальні поняття про теплову обробку в харчових виробництвах», «Теплообмінне обладнання» і «Джерела теплової енергії та теплоносії».

Конспект розрахований для використання в навчальному процесі ДБТУ, а також в інших закладах вищої освіти за умов адаптації під конкретний навчальний план. Матеріал може бути корисним для дипломної роботи та широкого кола фахівців, які займаються питаннями проектування теплового обладнання підприємств харчових виробництв.

УДК 641.53.09(042.4)

Відповідальний за випуск: О.В. Богомоллов, завідувач кафедри обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв, д-р техн. наук, професор

© Шевченко А.О., Михайлов В.М.,
Прасол С.В., 2025
© ДБТУ, 2025

ЗМІСТ

Лекція № 1. Загальні поняття про теплову обробку в харчових виробництвах.....	4
1.1. Завдання та способи теплової обробки харчових продуктів і матеріалів.....	4
1.2. Нагрівання.....	6
1.3. Охолодження.....	9
1.4. Випаровування та випарювання.....	12
1.5. Конденсація.....	16
1.6. Плавлення та твердіння.....	18
1.7. Специфічні теплові процеси.....	19
1.8. Електрофізичні методи обробки.....	26
Контрольні запитання.....	29
Лекція № 2. Теплообмінне обладнання.....	30
2.1. Основні конструктивні елементи теплових апаратів.....	30
2.2. Вимоги до теплових апаратів.....	35
2.3. Класифікація теплового обладнання.....	40
2.4. Конструкції теплообмінних апаратів.....	43
2.5. Розрахунок теплообмінників.....	47
Контрольні запитання.....	57
Лекція № 3. Джерела теплової енергії та теплоносії.....	57
3.1. Характеристика джерел теплової енергії та теплоносіїв.....	58
3.2. Класифікація та характеристика основних видів електронагрівачів.....	61
3.3. Способи підключення електронагрівачів.....	68
3.4. Газові пальники.....	71
3.5. Парові нагрівальні елементи.....	73
3.6. Твердо- та рідинно-паливні нагрівачі.....	77
Контрольні запитання.....	78
Список використаних джерел / Рекомендована література.....	80

Лекція № 1

ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ТЕПЛОВУ ОБРОБКУ В ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ

План

1. Завдання та способи теплової обробки харчових продуктів і матеріалів.
2. Нагрівання.
3. Охолодження.
4. Випаровування та випарювання.
5. Конденсація.
6. Плавлення та твердіння
7. Специфічні теплові процеси
8. Електрофізичні методи обробки

1.1. Завдання та способи теплової обробки харчових продуктів і матеріалів

Тепловою обробкою називається технологічний процес, за якого харчова сировина або напівфабрикати піддаються впливу теплової енергії з метою зміни властивостей та надання певних якостей. В результаті теплового впливу у вихідному продукті утворюються нові речовини, змінюються смакові, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості. Крім того, дія високої температури сприяє знищенню багатьох хвороботворних та небезпечних для людини мікроорганізмів, завдяки чому теплова обробка є одним із найефективніших способів забезпечення безпеки харчових продуктів.

Метою теплової обробки є доведення продуктів до стану кулінарної готовності, що визначається низкою показників (рис. 1.1).

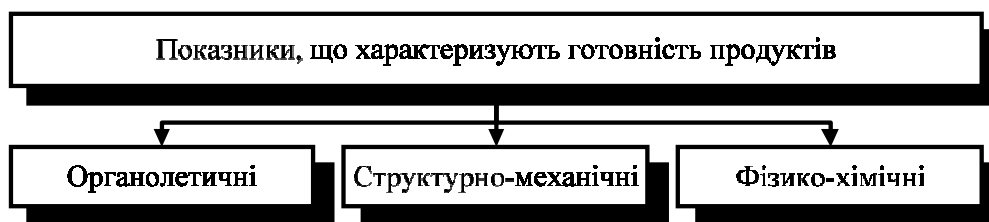


Рисунок 1.1 – Показники кулінарної готовності харчових продуктів

До основних теплових процесів відносяться нагрівання, охолодження, випаровування (у тому числі випарювання), конденсація, плавлення та твердіння.

Нагрівання – підвищення температури матеріалів, що переробляються шляхом підведення до них теплоти.

Охолодження – зниження температури матеріалів, що переробляються шляхом відведення від них теплоти.

Випаровування – перехід рідини в пару шляхом підведення до неї теплоти.

Випарювання – процес концентрування (загущення) розчинів шляхом вилучення з них частини води випаровуванням.

Конденсація – перехід речовини з паро- або газоподібного стану в рідину шляхом відведення від неї теплоти.

Плавлення – фазовий перехід речовини з твердого стану в рідкий за рахунок підведення до неї теплоти.

Твердіння – перехід речовини з рідкого чи пластичного стану в твердий шляхом відведення теплоти.

Поряд з цими процесами широке розповсюдження мають специфічні теплові процеси, що притаманні низці харчових виробництв, у тому числі й виробництву продукції підприємств ресторанного господарства. До них можна віднести процеси пастеризації, стерилізації, варення, жарення тощо.

Об'ємні способи нагрівання (НВЧ, ІЧ-нагрівання, електроконтактне (ЕКН) та індукційне нагрівання) відносяться до електрофізичних методів обробки (рис. 1.2). Ці способи базуються на взаємодії продукту (перш за все з вільної води, що міститься в його структурі) з електромагнітним полем.

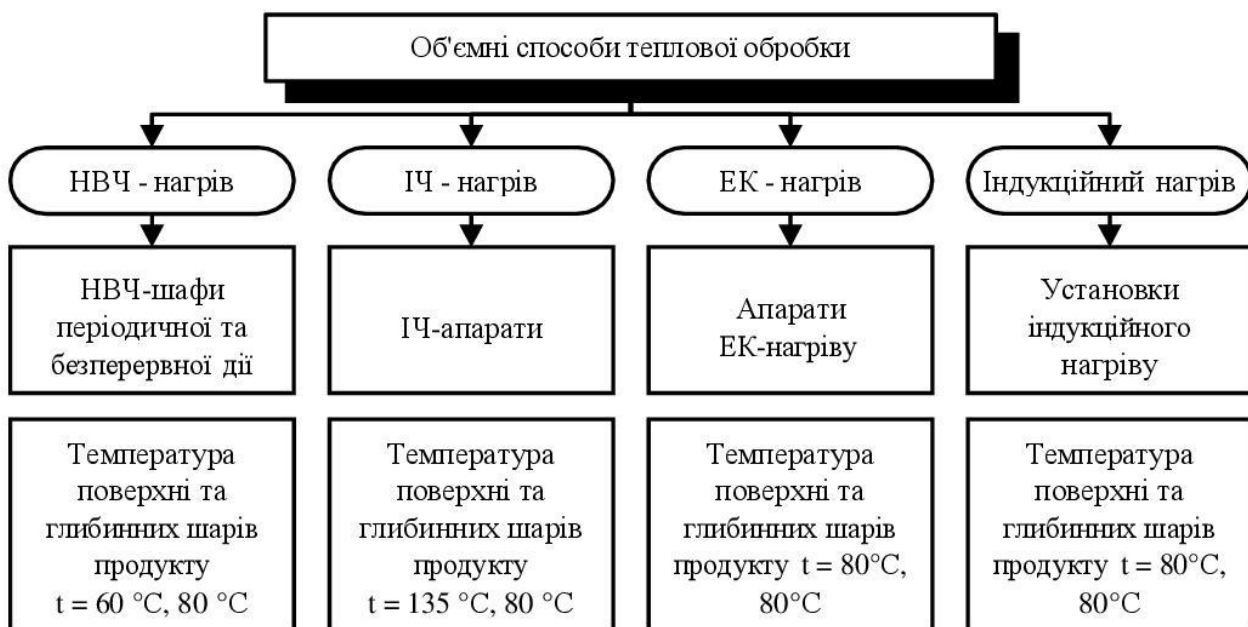


Рисунок 1.2 – Об'ємні способи нагрівання харчових продуктів

Окрім перерахованих також використовують допоміжні способи, зокрема термостатування, припускання, тушкування, пасерування, опшарювання тощо (рис. 1.3).

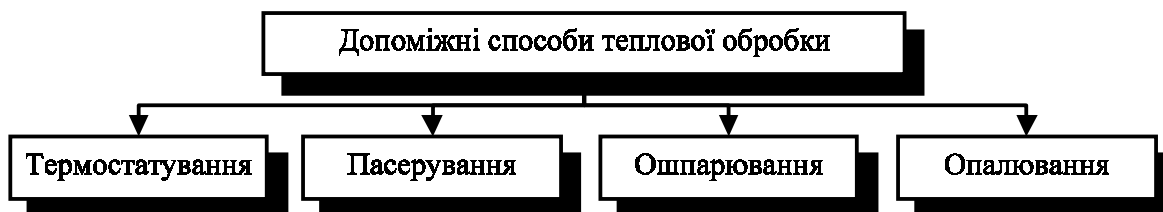


Рисунок 1.3 – Допоміжні способи теплової обробки харчових продуктів

Допоміжні способи кулінарної обробки харчових продуктів використовують для покращення якості страв, та прискорення теплових процесів.

В основі всіх теплових процесів лежить зміна теплового стану тіл або середовищ, що беруть участь у цих процесах. Теплова обробка продуктів є основним способом у технологічному процесі виробництва кулінарних виробів. Нагрівання прискорює хімічні, біохімічні та масообмінні процеси, що відбуваються під час обробки продуктів. Воно викликає зміну фізико-хімічних, структурно-механічних і органолептичних властивостей, що у сукупності визначають ступінь кулінарної готовності продукту. При цьому, наприклад, зменшується механічна міцність рослинних і тваринних продуктів (картоплі, м'яса і т. ін.) за рахунок розпаду вуглеводів, зміни білків сполучної тканини. Теплова обробка продукту шляхом нагрівання має велике санітарно-гігієнічне значення. Під час нагрівання продукту до температури вище 80° С відбувається знищення мікроорганізмів, що містяться у продукті. До позитивних властивостей нагрівання слід віднести руйнування отруйних речовин, що містяться у деяких продуктах (наприклад: картоплі, квасолі).

Охолодження продуктів переслідує дві основні мети. Перша з них полягає в технологічному призначенні. Так, охолодження необхідне під час збивання продуктів для одержання піни, кремів, при розкачуванні листкового тіста. На заключній стадії технологічного процесу охолодження необхідне під час приготування драглів, желе і багатьох інших кулінарних виробів. Друга мета охолодження пов'язана з санітарно-гігієнічними показниками продукції. Охолодження уповільнює життєдіяльність мікроорганізмів і забезпечує стерильність продукту.

Найважливішими параметрами, що зумовлюють кулінарну готовність виробів, є температура і час витримки продукту при цій температурі. Так як всі харчові продукти мають низьку теплопровідність, співвідношення цих параметрів повинне бути оптимальним.

Недоліком теплової обробки є те, що вона може призвести до руйнування вітамінів, ферментів та інших корисних для людини речовин.

Споживчі та поживні властивості виробів, у тому числі й їхня безпека, багато в чому залежать від способу та режимів теплової обробки. Наприклад, при тепловій обробці м'яса повна денатурація білків, їхня добра перетравлюваність ферментами та засвоюваність організмом досягається за температурі понад 70 °С. Колагенові волокна при цій температурі деформуються і набувають склоподібності, що сприяє зниженню опору різанню в 5–6 раз. Разом з тим, теплова обробка може призвести до втрати поживних речовин у середньому на 10...60 % в залежності від способу обробки, режимів та джерел теплоти.

1.2. Нагрівання

Нагрівання продуктів при кулінарній обробці відбувається за рахунок процесів теплообміну шляхом передачі теплоти від більш нагрітого джерела до менш нагрітого продукту. При цьому розрізняють три основні способи передачі теплоти:

- молекулярний теплообмін,
- конвективний теплообмін,

– променистий (радіаційний) теплообмін.

Молекулярний теплообмін або теплопровідність, як фізичне явище являє собою перенесення теплоти частинками, що хаотично рухаються всередині речовини при їх зіткненні одна з одною. У газах та рідинах такими частинками є молекули та іони, в кристалічних решітках твердих тіл – атоми та електрони. Основними характеристиками теплопровідності речовини є:

– коефіцієнт теплопровідності (λ), що є кількістю теплоти, яка переноситься через одиницю поверхні в одиницю часу при нагріванні на $1\text{ }^\circ\text{C}$ $1\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

– коефіцієнт температуропровідності (a), що характеризує швидкість передачі теплоти, $\text{м}^2/\text{с}$.

Теплопровідність – це самостійний процес, що може протікати тільки у твердих тілах. У рідинах і газах теплопровідність протікає спільно з конвекцією або випромінюванням, або з обома цими процесами водночас. Передача теплоти теплопровідністю пов'язана з наявністю різниці температур. Таким чином, рушійною силою всіх теплових процесів є різниця температур.

Теплопровідність речовини залежить від її вихідного стану (початкова температура, вологість тощо), а також від особливостей структури. Наприклад, структура низки продуктів харчування характеризується пористістю. У порах може бути волога або пара, кількість яких у процесі теплової обробки може змінюватися. Це призведе до зміни теплофізичних характеристик і, отже, процесу нагрівання.

За кількісну характеристику процесу перенесення теплоти найзручніше приймати питомий тепловий потік q , що оцінює кількість теплоти, яка проходить через одиницю площі продукту, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Тепловий потік – це потік теплоти, який спрямований від більш нагрітого середовища до менш нагрітого.

Густина теплового потоку – це величина, яка залежить від кількості теплоти, що підводиться.

Молекулярний теплообмін описується законом Фур'є

$$q = \lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t, \quad (1.1)$$

де ∂T – зміна температури в процесі теплообміну;

∂x – зміна координати в напрямку нормалі до терми;

δ – товщина продукту, в якій відбувається передача теплоти;

Δt – різниця температур по товщині в процесі теплообміну.

Температурний градієнт Δt є різницею температур по обидва кінці продукту.

Конвективним теплообміном є перенесення теплоти окремими елементами обсягами середовищ (рідиною, парою, газом та ін.) на межі їх розділу з іншими середовищами або твердими поверхнями.

Конвективний теплообмін описується законом тепловіддачі Ньютона

$$q = \alpha_k \cdot \Delta t_{cp}, \quad (1.2)$$

де α_k – коефіцієнт поверхневої тепловіддачі конвекцією;

Δt – Різниця температур між середовищами.

Коефіцієнт поверхневої тепловіддачі залежить від властивостей граничних поверхонь контактуючих середовищ, а також характеру теплообміну.

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \quad (1.3)$$

де Nu – критерій Нуссельта, що залежить від визначальних критеріїв умов теплообміну;

λ – коефіцієнт теплопровідності конвективного середовища;

l – визначальний геометричний розмір граничної поверхні конвективного теплообміну.

Конвективний теплообмін може бути вільним та вимушеним.

Теплообмін, що протікає при вільному русі елементарних обсягів середовищ під дією гравітаційних сил, називається вільною конвекцією. Вона характеризується визначальними критеріями Грасгофа Gr та Прандтля Pr . Перший враховує інтенсивність конвективних потоків, що виникають внаслідок різниць густин та температур конвективних середовищ, другий – їх фізичні константи (коефіцієнти теплопровідності та в'язкості). При такому теплообміні нагріті рідкі або газоподібні шари піднімаються вгору, переносячи тепло, а менш нагріті опускаються вниз.

Примусовий рух середовищ під дією зовнішніх сил на межі теплообміну називається вимушеною конвекцією та оцінюється за допомогою визначальних критеріїв Прандтля Pr та Рейнольдса Re , що враховує динаміку теплового потоку. Теплообмін за умов вимушеної конвекції протікає інтенсивніше. Це пояснюється високими значеннями α_k . Наприклад, коефіцієнт поверхневої тепловіддачі при вільній конвекції в газах знаходиться в межах $\alpha_k = 5 \dots 30 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, а при вимушеній $\alpha_k = 100 \dots 500 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

Променистий теплообмін пов'язаний із подвійним перетворенням енергії. Теплова енергія більш нагрітого тіла перетворюється на променеву у вигляді електромагнітних хвиль ІЧ-діапазону, проходить через простір та потрапляючи на менш нагріту поверхню поглинається, відбивається або пропускається нею. Інтенсивність нагрівання при променистому теплообміні залежить від оптичних властивостей тіла, що нагрівається, які діляться на ті, що відбивають (R), поглинаючи (A) та пропускають (D) світло. Оптичні властивості тіл характеризуються коефіцієнтом, що називається ступенем чорноти ε . Кількість теплоти, що передається тілу при променистому теплообміні, можна визначити, використовуючи закон Стефана–Больцмана

$$Q = 5,67 \cdot \frac{\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right] \cdot S_1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{S_1}{S_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}, \quad (1.4)$$

де T_1 і T_2 – абсолютні температури відповідно тіла, що нагрівається та джерела ІЧ-випромінювання;

S_1 і S_2 – площі відповідно тіла, що нагрівається, та поверхні випромінювання;

ε_1 і ε_2 – ступінь чорноти відповідно тіла, що нагрівається та поверхні випромінювання.

У більшості випадків при тепловій обробці продуктів одночасно має місце не один, а кілька з перерахованих вище способів теплообміну, що протікають з різною інтенсивністю. При цьому обладнання має забезпечувати найбільш сприятливі умови для здійснення тих чи інших способів теплової обробки. Наприклад, при варінні визначальним повинен бути молекулярний теплообмін, що забезпечує рівномірне прогрівання продукту по всьому об'єму. При жарінні навпаки, переважними є конвективний або променевий теплообмін, що забезпечують нерівномірне та інтенсивне нагрівання поверхні продукту. Важливу роль при цьому мають теплофізичні властивості як самих продуктів, так та інших учасників теплообміну (стінок варильної або жарильної ємності, нагрівального пристрою, пари, рідини і т.ін.).

За усіх способів нагрівання харчових продуктів зовнішній теплообмін супроводжується масопереносом, в результаті чого змінюється вологовміст продуктів: частина вологи переходить до зовнішнього середовища або поглинається продуктами. Крім того, під час теплової обробки продуктів в рідких середовищах разом з вологою втрачається частина сухих речовин.

Практично всі харчові продукти являються капілярно-пористими тілами. В капілярах рідина знаходиться під дією сил поверхневого натягу, які й утворюють капілярний потенціал. При нагріванні капілярний потенціал зменшується. Таким чином, якщо нагріти один кінець капіляру, то капілярний потенціал з цього боку зменшується, і рідина починає переміщуватись від нагрітого кінця до холодного.

1.3. Охолодження

У харчових виробництвах виникає необхідність охолоджувати газ, пару, рідину та тверді тіла. Основними параметрами при цьому є кінцева температура та швидкість охолодження. Кінцева температура залежить від вихідного стану продукту, його виду і вимоги технологічного процесу. Швидкість процесу визначається, в основному, видом продукту, що охолоджується. Чим швидше та глибше охолоджуються свіжі продукти, тим краще зберігається їх якість та зменшуються втрати маси. Це стосується продуктів рослинного і тваринного походження, наприклад, як м'яса, риби, морепродуктів, деяких молочних та кулінарних виробів.

Охолодження може бути природним і штучним. Під час природного охолодження тіло може бути охолоджене тільки до температури довкілля, наприклад до температури повітря або води. Більш низькі температури досягаються шляхом штучного охолодження. Для штучного охолодження може бути використаний будь-який фізичний процес, пов'язаний з вилученням теплоти (плавлення, сублімація, кипіння тощо).

Залежно від температури охолодження середовища розрізняють штучне охолодження помірне (до температури мінус 153°C) та глибоке або кріогенне (від -153°C до температур, близьких до абсолютного нуля).

Найбільш розповсюдженими і доступними теплоносіями, що охолоджують, є вода, повітря і лід, які дозволяють здійснити охолодження до 0°C . Для

оохолоджування до температур нижче 0° С застосовують суміші льоду з сіллю, сухий лід, холодильні розсоли (розчини NaCl, CaCl₂), зріджені аміак, фреони тощо.

Повітряне охолодження. Повітря – найбільш розповсюджений холодоагент. Воно не має запаху і на більшість харчових продуктів не виявляє шкідливого впливу (за винятком окислюючої дії кисню). До недоліків охолоджування у повітрі можна віднести низький коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря (до 58 Вт/(м²·К)), порівняно низька питома теплоємність (біля 1 кДж/(кг·К)), випаровування вологи з поверхні продукту, що супроводжується втратою маси за недостатньої вологості повітря.

Для інтенсифікації теплообміну підвищують швидкість переміщення повітря (за допомогою вентилятора) та збільшують перепад температур між ним і продуктом, що охолоджується. Для цього служать повітроохолоджувачі, що охолоджують змішувачі і тощо.

Кількість теплоти (у Вт), що втрачає рідкий продукт під час випаровування в повітряне середовище в апаратах відкритого типу, визначають за формулою:

$$Q = D (i - c t_k), \quad (1.5)$$

де D – кількість рідини, що випарувалася, кг/с; i – ентальпія пари, що утворюється з рідини, Дж/кг; c – питома теплоємність продукту, що охолоджується, Дж/(кг·К); t_k – середня температура продукту, що охолоджується, °С.

Водяне охолодження. Вода має більшу теплоємність та більш високі коефіцієнти тепловіддачі, ніж повітря. Залежно від пори року та кліматичних умов температура води з водоймища становить 12...25° С. Артезіанська вода має температуру 4...15° С. Для економії води і охорони навколишнього середовища вводиться система водообігу, що дає можливість різко скоротити споживання свіжої води і зменшити стік. При цьому воду після теплообмінного обладнання охолоджують у градирнях за рахунок часткового випаровування в повітря, що рухається протитечією, і після очищення знову спрямовують на використання як холодоагента.

Вода використовується для охолоджування в поверхневих і змішувальних теплообмінниках. Широко застосовують холодну (льодяну) воду (1...4° С) для охолоджування тушок птиці до 4...6° С, розміщуючи їх у спеціальні ванни або зрошуючи через форсунки. Широко використовується льодяна вода для охолоджування молока в пластинчатих охолоджувачах.

Витрата води на охолоджування продукту в теплообміннику визначається з теплового балансу процесу (рис. 1.4 а), що виражається рівнянням:

$$Gct_n + Wc_w t_1 = Gct_k + Wc_w t_2 + Q_g, \quad (1.6)$$

де G – кількість продукту, що охолоджується, кг/с; t_n, t_k – відповідно початкова та кінцева температури продукту, °С; c – теплоємність продукту, Дж/(кг·К); W – витрата води на охолоджування, кг/с; t_1, t_2 – відповідно початкова і кінцева температури води, що охолоджує, °С; c_w – теплоємність води, Дж/(кг·К); Q_g – втрата теплоти в довкілля, Дж.

З формули (1.6):

$$W = \frac{[Gc(t_n - t_k) - Q_g]}{c_w(t_2 - t_1)}. \quad (1.7)$$

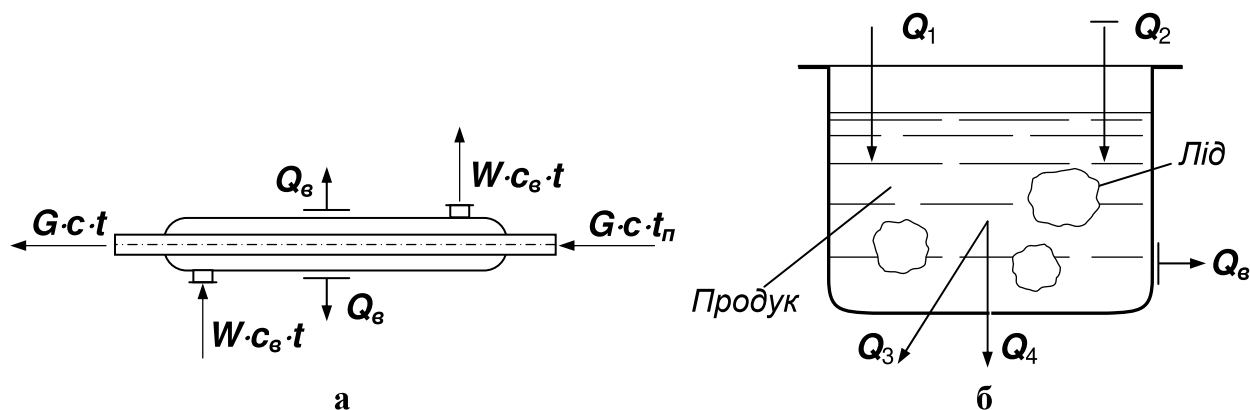


Рисунок 1.4 – Принципова схема до теплового балансу

З цього виразу витікає, що завдяки тепловим втратам у довкілля, витрата води на охолодження дещо знижується.

Охолодження льодом. Лід застосовують для одержання температури біля 0°C , бо за цієї температури він плавиться і забирає теплоту від продукту. Якщо додати до льоду або снігу кристалічну кухонну сіль (NaCl), то температура плавлення цієї суміші буде нижче 0°C , а величина її визначається кількістю солі в суміші.

У тих випадках, коли продукт, що охолоджується, рідкий, хімічно не взаємодіє з водою і для нього допускається розведення, лід вноситься в нього безпосередньо. Під час безпосереднього охолодження льодом в апарат із рідиною, що охолоджується, (рис. 1.4 б) вноситься теплота в кількості:

$$Q_1 = Gc t_n, \quad (1.8)$$

де G – кількість рідини, що охолоджується, кг; c – теплоємність рідини, що охолоджується, Дж (кг·К); t_n – початкова температура рідини, $^{\circ}\text{C}$.

З льодом вноситься холод (або теплота з негативним знаком) у кількості:

$$Q_2 = L \cdot (-r), \quad (1.9)$$

де L – кількість льоду, кг; r – теплота плавлення льоду, Дж/кг; вона становить $335 \cdot 10^3$ Дж/кг.

З апарата теплота виноситься з охолодженим продуктом Q_3 і водою Q_4 , що утворюється під час плавлення льоду. Якщо кінцева температура суміші рідини, що охолоджується, і води, що утворюється під час плавлення льоду, t_k і теплоємність води $c_в$, тепловий баланс процесу можна виразити рівнянням:

$$Gct_n - L \cdot r = Gct_k + Lc_вт_k + Q_в. \quad (1.10)$$

З цього рівняння визначимо витрату льоду (в кг):

$$L = \frac{[Gc(t_n - t_k) - Q_в]}{r + c_вт_k}. \quad (1.11)$$

Тривалість охолодження льодом залежить від умов проведення процесу; вона зменшується зі зменшенням розмірів шматків льоду та зі збільшенням інтенсивності перемішування рідини.

1.4. Випаровування та випарювання

Випаровування та випарювання – це два терміни, які стосуються процесів перетворення рідини на газ, але вони мають різні значення та застосування.

Випаровування – це процес перетворення рідини у газоподібний стан на її поверхні. Випаровування відбувається за будь-якої температури, нижчої за температуру кипіння рідини. Швидкість процесу залежить від температури рідини, площі поверхні, наявності потоку повітря та його вологості. Наприклад, коли вода випаровується з поверхні ємності з водою, це є процес випаровування.

Випарювання – це процес перетворення всієї маси рідини на пару (газ) при досягненні температури кипіння. Випарювання відбувається при температурі кипіння рідини, коли тиск пари над рідиною дорівнює зовнішньому атмосферному тиску. Під час випарювання утворюються бульбашки пари всередині рідини, що піднімаються на поверхню. Наприклад, коли вода кипить у каструлі, це є процес випарювання.

Процес випаровування

Причиною випаровування з вільної поверхні рідини є тепловий рух її молекул. Після нагрівання рідини до відповідної температури в ній з'являються молекули, що мають енергію, яка дозволяє їм подолати сили зчеплення і піти в довкілля. Проте не всі ці молекули залишаються в довкіллі – після зіткнення з молекулами газу частина їх повертається до поверхні випаровування. У свою чергу, молекули, що повертаються, можуть бути поділені на дві частини. Молекули з досить високою кінетичною енергією, переборюючи значні сили зчеплення поверхневого шару рідини, проникають всередину та залишаються у ній. Інша частина молекул із менш високим енергетичним рівнем відбивається від поверхні рідини і остаточно залишається у довкіллі.

Нарівні з випаровуванням рідини можливе випаровування твердого тіла. Перехід речовини з твердої фази у газоподібну, минаючи рідку фазу, називається сублімацією. Для реалізації процесу сублімації необхідно, щоб температура твердого тіла була меншою від його температури в потрійній точці фазової діаграми. У якості сублімуючого матеріалу можуть виступати сухий лід, нафталін, графіт тощо. У харчових виробництвах сублімація широко використовується в сушільних процесах під час так званого сублімаційного сушіння.

Коли теплота, отримана рідиною від парогазового середовища, виявиться рівною теплоті, що витрачається на випаровування, зміна температури поверхні рідини припиниться. Процес випаровування, за якого вся теплота, передана від парогазового середовища до рідини, витрачається на випаровування і повертається в парогазове середовище, називається процесом адіабатичного випаровування.

На практиці частіше за все зустрічаються неадіабатичні процеси випаровування, під час яких деяка кількість теплоти q_w передається через поверхню випаровування в рідку фазу. Теплота q_w може йти на підігрівання рідини, що надходить на випаровування і частково витрачатися в навколишнє середовище через поверхню рідини.

Розглянемо широко використовуване в практиці таке явище, як самовипаровування. У даному випадку випаровування здійснюється за рахунок

теплоти, якою володіє рідина. Якщо гаряча рідина (розчин) з температурою T_1 , надходить в простір, де створено тиск, під час якого рідина кипить із меншою температурою T_s , то виявиться, що рідина має зайву теплоту, яка і витрачається на її випаровування. Якщо рідина – водний розчин, то випаровується вода. Таке явище носить назву самовипаровування розчину. Кількість теплоти Q , що виділяється розчином, визначається рівнянням:

$$Q = Gc (T_1 - T_s), \quad (1.12)$$

де G – кількість розчину, кг; c – теплоємність розчину, Дж/(кг·К).

Цю теплоту сприйме вода, що випаровується:

$$Q = W \cdot r, \quad (1.13)$$

де W – кількість води, що випаровується, кг; r – теплота випаровування, Дж/кг.

Кількість самовипаровуваної води можна знайти з рівняння теплового балансу:

$$W = \frac{Gc(T_1 - T_s)}{r}. \quad (1.14)$$

Процес самовипаровування використовують при випарюванні в багато-корпусних випарних установках, а також для охолодження гарячих рідин. Це дуже інтенсивний процес. Зайву теплоту рідина втрачає протягом кількох секунд.

Процес випарювання

За допомогою випарювання одержують перенасичені розчини, в яких після цього проводять кристалізацію. Наприклад, розчини сахарози, фруктози, молочного цукру тощо. Випарювання широко застосовують у цукровому, консервному, кондитерському, молочному та інших виробництвах для концентрування цукрових та вітамінних сиропів, плодових і овочевих соків, фруктово-ягідних начинок, молока, вершків тощо. Особливо важливий цей процес під час виробництва цукру.

Існують три методи випарювання:

1) поверхневе випарювання, що здійснюється шляхом нагрівання розчину на теплообмінній поверхні за рахунок підведення теплоти до розчину через стінку теплообмінного апарата від гріючої пари;

2) адіабатичне випарювання, що здійснюється шляхом миттєвого випаровування перегрітого розчину в камері, де тиск нижчий, ніж тиск насиченої пари;

3) випарювання шляхом контактного випаровування, під час якого нагрівання розчину здійснюється під час прямого контакту між розчином та гарячим теплоносієм (газом або рідиною), які рухаються. Частіше за все використовується поверхневе випарювання.

Для нагрівання розчинів до температури кипіння використовують різноманітні теплоносії, але найбільше застосування знаходить водяна пара, що у цьому випадку називається гріючою. Утворена під час випарювання розчину пара називається вторинною, її теплоту може бути використано у теплообмінних апаратах, які працюють під меншим тиском.

Процес випарювання розчинника з розчину можна проводити під вакуумом, з атмосферним та підвищеним тиском.

Під час випарювання під вакуумом знижується температура кипіння розчину, що дає можливість використати для обігрівання апарата пару низького тиску. Цей спосіб особливо застосовується під час випарювання харчових розчинів, що чутливі до високих температур. Перевагою процесу випарювання під вакуумом є зменшення втрат теплоти в навколишнє середовище, а також збільшення корисної різниці температур між гріючою парою та киплячим розчином. Це дозволяє зменшити поверхню теплообміну та габарити усього вакуум-випарного апарата.

У разі випарювання під атмосферним тиском утворена вторинна пара звичайно не використовується і викидається в атмосферу.

Випарювання за підвищеного тиску викликає підвищення температури кипіння розчину і дає можливість використання вторинної пари як теплоносія в інших теплообмінниках. Можливість застосування цього способу випарювання залежить від стійкості компонентів розчину, що випарюється.

Процес випарювання можна здійснювати в одному апараті (однокорпусна установка) або у низці послідовно з'єднаних випарних апаратів (багатокорпусна установка). У однокорпусній випарній установці теплота гріючої пари використовується одноразово, а теплота вторинної пари не використовується. У багатокорпусній випарній установці вторинна пара, яка виходить з будь-якого попереднього корпусу, є гріючою парою для наступного, в якому розчин кипить за більш низького тиску. Цей метод проведення процесу забезпечує значну економію теплоти і тому має широке розповсюдження у промисловості.

За методом ведення процесу розрізняють періодичне та безперервне випарювання. Апарати і установки періодичної дії використовуються у виробництвах малого масштабу, коли економія теплоти не має великого значення, або для випарювання розчинів до високих кінцевих концентрацій.

Апарати, які призначені для проведення процесів випарювання, називаються випарними. Їх можна класифікувати за низкою ознак: роду теплоносія або методу обігрівання; розташуванню і виду поверхні теплообміну (компоновці та конструкції поверхні нагрівання); розташуванню робочих середовищ; режиму і кратності циркуляції розчину та ін.

Найбільше застосування отримали випарні апарати з паровим обігріванням, тому що водяна пара характеризується високою теплотою конденсації, високим коефіцієнтом тепловіддачі при конденсації; парове обігрівання характеризується гнучкістю регулювання.

За розташуванням поверхні теплообміну апарати можуть бути вертикальними, горизонтальними та похилими. Поверхня теплообміну може бути конструктивно оформлена у вигляді пучка труб, зміювика, кільцевих елементів або у вигляді парової оболонки.

За режимом руху киплячої рідини випарні апарати бувають з вільною, природною, примусовою циркуляцією та плівкові. За кратністю циркуляції

розрізняють випарні апарати з однократною і багатократною циркуляцією киплячого розчину.

Існує велика різноманітність конструкцій випарних апаратів. На сьогодні є тенденція до скорочення кількості типів і конструктивних різновидів апаратів за рахунок уніфікації вузлів та деталей.

Враховуючи велике значення характеру циркуляції, звичайно її й беруть як визначальну ознаку під час розгляду конструкцій випарних апаратів.

Для випарювання в'язких продуктів та продуктів, що кристалізуються в малотоннажних виробництвах знаходять ще застосування оболонкові випарні апарати періодичної дії з вільною циркуляцією і паровим обігріванням (рис. 1.5). Слабко концентрований розчин подається в апарат 1, де за рахунок обігрівання виникає вільна циркуляція. Підігрівання ведеться паром, яка поступає в оболонку 2, до температури кипіння. Після випарювання до необхідної концентрації випарений розчин випускається з апарата і він знову наповнюється неконцентрованим розчином. Обмежене застосування знаходять також випарні апарати з вільною циркуляцією, обладнані змієвикою або трубчатою поверхнями теплообміну.

Випарні апарати з природною циркуляцією розчину поділяються на апарати з центральною циркуляційною трубою, з осьовою зоною кипіння і з виносною гріючою камерою.

Випарний апарат з центральною циркуляційною трубою (рис. 1.6) має гріючу камеру 1 з трубчатою поверхнею нагрівання, утворену пучком труб з двома трубними решітками, які знаходяться в кожусі-обичайці. Вихідний розчин подають в апарат через штуцер 3. Гріюча пара надходить через штуцер 2 в міжтрубний простір, а конденсат відводиться через штуцер 9. Киплячий розчин разом із вторинною парою рухається в кип'ятільних трубах 8 вгору, а по центральній циркуляційній трубі 11 холодний розчин опускається вниз. Таким чином, за рахунок різниці густин розчину в циркуляційній трубі та парорідинної суміші в кип'ятільних трубах забезпечується природна організована

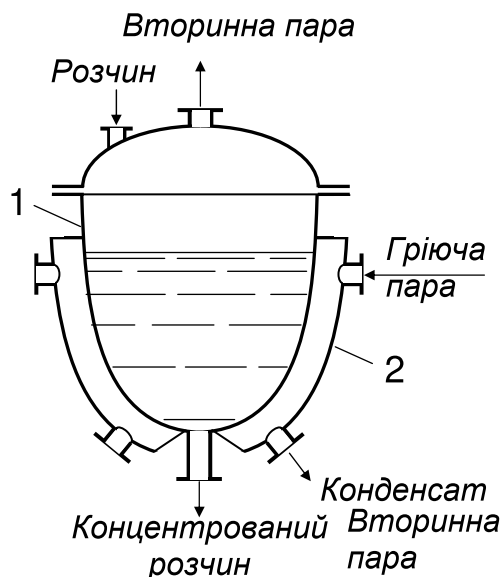


Рисунок 1.5 – Випарний апарат з паровою оболонкою

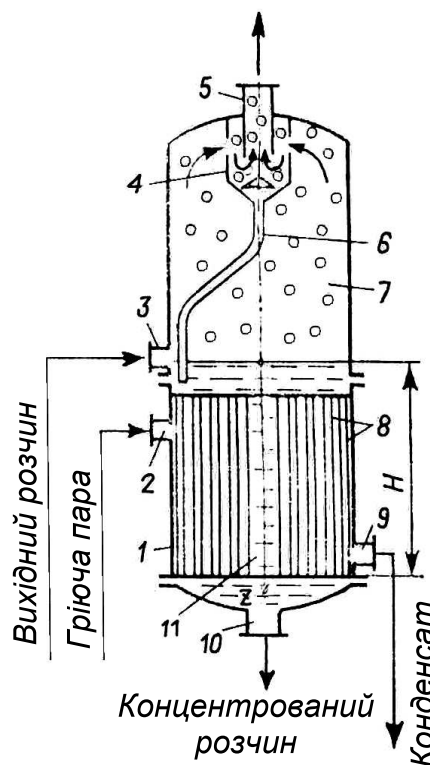


Рисунок 1.6 – Випарний апарат з центральною циркуляційною трубою

циркуляція розчину. Вторинна пара у вигляді парорідинної суміші викидається у паровий сепараційний простір 7, з якого вона надходить до бризкоуловлювача 4. Бризкоуловлювач призначений для відокремлення піни і крапель розчину від вторинної пари; це відбувається завдяки зміні швидкості та напрямку руху вторинної пари. Рідина, що при цьому виділилась, стікає по трубі 6 в гріючу камеру, а вторинна пара через штуцер 5 виходить із випарного апарата. Концентрований розчин, що є цільовим продуктом, витікає з нижньої частини гріючої камери через штуцер 10.

Інколи циркуляційну трубу в апаратах з трубчатою поверхнею нагрівання розміщують ексцентрично або виносять за межі гріючої камери.

1.5. Конденсація

Конденсацією називають процес переходу пари або стиснутого до критичного стану газу в рідкий стан. Скраплювання пари досягається охолодженням її, а газу – стискуванням з подальшим охолодженням.

Процес конденсації широко застосовується в харчових виробництвах для різноманітних цілей: створення розрідження у випарних, фільтраційних, сушильних та інших вакуумних установках; використання теплоти конденсації для нагрівання в теплообмінниках з паровим обігріванням; розподіл багатокомпонентних систем з різними температурами скраплення; скраплення парів спирту, вуглекислого газу (для одержання рідкої вуглекислоти), аміаку і фреонів у холодильних установках і т. ін.

Апарати, в яких відбувається конденсація, називають конденсаторами. Конденсатори бувають двох типів: поверхневі, в яких пара (або газ), що конденсується, та охолоджуючий агент розділені поверхнею теплопередачі, і змішування, в яких конденсація пари відбувається під час безпосереднього зіткнення з охолоджуючим теплоносієм. Звичайно охолоджуючим агентом є холодна вода, рідше – повітря та інші холодоносії.

Поверхневі конденсатори. Поверхневі конденсатори застосовують у тих випадках, коли необхідно отримати конденсат в чистому вигляді або сконденсувати пари цінного продукту, наприклад, етилового спирту, винних парів та ін. Як поверхневі конденсатори широко застосовують теплообмінники кожухотрубні, «труба в трубі», змійовикові та зрошувальні.

Конденсатори змішування застосовуються для конденсації парів рідини, не розчинних у воді, або пари, що є відходом, який не використовується, того або іншого процесу. Ефективність роботи конденсаторів змішування залежить від величини поверхні контакту охолоджуючої води та пари, тому для її збільшення охолоджуючу воду подають у конденсатор за допомогою різноманітних розбризкуючих приладів.

У конденсатор змішування разом із парою і водою, а також через нещільності апарата потрапляє повітря, що знижує ефективність теплообміну. Тому воно безперервно відсмоктується з конденсатора насосом.

Залежно від способу виведення з апарата води і газів розрізняють конденсатори змішування мокрі та сухі. Крім того, залежно від напрямку руху пари та води розрізняють конденсатори змішування проточні та протитечійні.

У мокрих конденсаторах суміш води і конденсату, а також повітря та інші гази, які не конденсуються відводяться разом мокроповітряним насосом. На рис. 1.8 а, б наведено мокрі конденсатори змішування.

У сухих конденсаторах суміш води і конденсату відводиться знизу (як правило – самопливом), а повітря та гази відсмоктуються вакуум-насосом із верхньої частини конденсатора. Для відводу суміші води і конденсату застосовують барометричну трубу. На рис. 1.8 в зображено сухий протитечійний барометричний конденсатор.

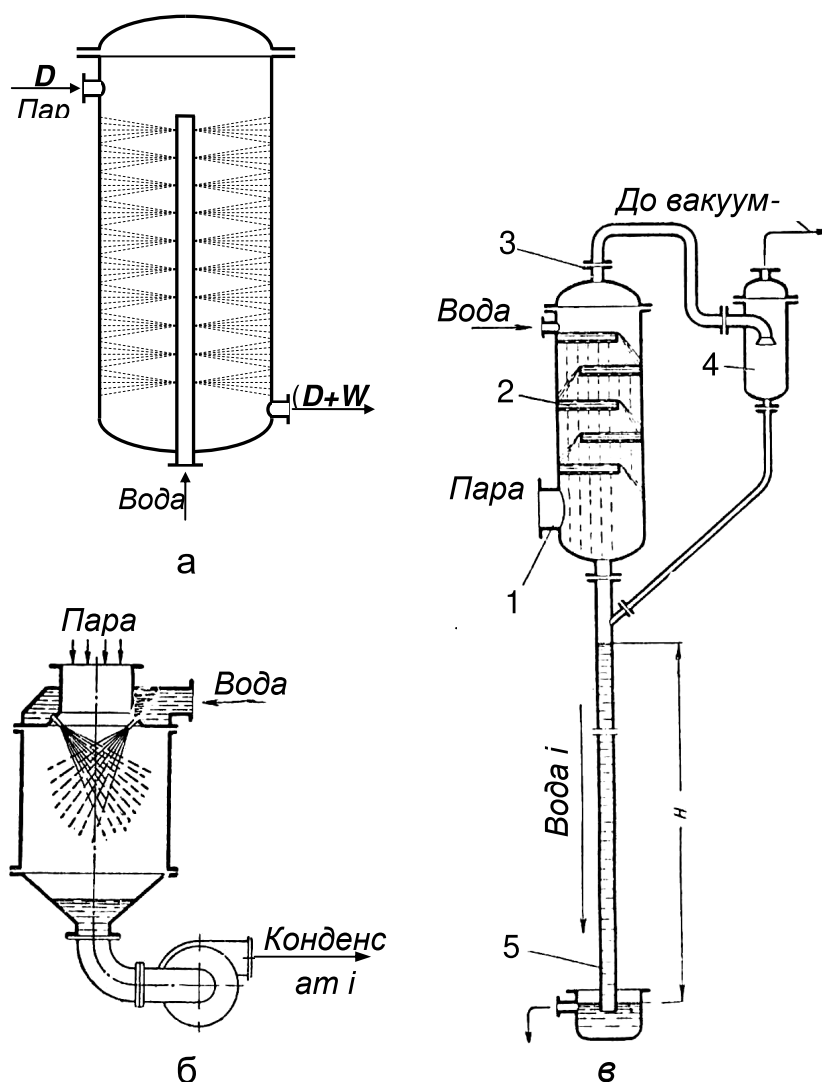


Рисунок 1.7 – Конденсатори змішування

Пара на конденсацію надходить у конденсатор через штуцер 1 у нижній частині апарата. У конденсаторі розміщено низку перфорованих сегментних полиць 2. Охолоджуюча вода подається на верхню полицю, після цього перетікає з полиці на полицю у вигляді тонких струмків через отвори та борти. Утворений конденсат разом із водою виводиться через патрубков у нижній частині апарата, для відводу

суміші служить барометрична труба 5. Повітря відводиться через патрубок 3 у верхній частині апарата і, минаючи бризкоуловлювач 4, висушеним вилучається з системи за допомогою вакуум-насосу.

1.6. Плавлення та твердіння

Усі тіла, що є предметами праці у харчових виробництвах, знаходяться в одному з трьох агрегатних станів: твердому, рідкому або газоподібному. Стан визначається середньою відстанню між молекулами.

Розглянемо процеси переходу тіл з одних станів в інші, так звані фазові переходи. Зі збільшенням температури зростає кінетична енергія молекул і середня відстань між ними. За певної температури, що називається температурою плавлення, речовина переходить із твердого стану в рідкий. Температура речовини при цьому не змінюється. Кількість теплоти, необхідна для даного фазового переходу, називається теплою плавлення і виражається в Дж/кг. Особливості процесу плавлення відіграють значну роль у виробництві жиру, особливо маргаринової продукції. Зазначимо, що в процесах смаження жир безпосередньо контактує з гріючою поверхнею і поверхнею харчового продукту, виконуючи при цьому роль теплоносія. Плавлення жирів, як теплообмінний процес, ускладнюється тим, що більшість із них не мають певної постійної температури плавлення. Це пояснюється тим, що до складу жиру входять різноманітні легкоплавкі та тугоплавкі жирні кислоти, що передають їм свої властивості.

Температура плавлення є одним із основних фізико-хімічних показників жиру та маргаринової продукції. Для більшості видів і найменувань маргарину, що використовуються при виготовленні продуктів харчування (страви) і, температура плавлення коливається від 27 до 32° С, кондитерських, хлібопекарних і кулінарних жирів – від 26 до 37° С.

Процес плавлення жиру тривалий, що викликано дуже низькою його тепло- і температуропровідністю. Кількість теплоти, необхідної для плавлення жиру в Дж, можна визначити за формулою:

$$Q = G_{ж} (q_{пл} + c_{ж} t_{ж}), \quad (1.15)$$

де $G_{ж}$ – кількість жиру, кг; $q_{пл}$ – питома теплота плавлення жиру, Дж/кг; $c_{ж}$ – питома теплоємність розплавленого жиру, Дж/(кг·К); $t_{ж}$ – температура розплавленого жиру, °С.

Перехід речовини з рідкого або пластичного стану в твердий називається твердінням, а температура, за якої це здійснюється, називається температурою застигання або кристалізації. Стосовно до жиру ця температура знаходиться в прямій залежності від жирнокислотного складу. Як правило, температура застигання значно нижча, ніж температура плавлення. Так, наприклад, температура плавлення свинячого жиру 28...48° С, а температура його застигання – 22...32° С.

1.7. Специфічні теплові процеси

Процес варення

Варення – це процес гідротермічної обробки продуктів із метою доведення їх до стану готовності. Воно знаходить широке застосування при виробництві продуктів на підприємствах ресторанного господарства та технологічних процесах низки харчових виробництв. Так, при виробництві спирту одним із найбільш важливих процесів є розварювання зерна і картоплі, у пивоварінні варять хмільне пивне сусло, у консервному і кондитерському виробництвах варять джеми, повидло, начинки тощо. При варенні змінюються білки, жири, вуглеводи, вітаміни, мінеральні та смакові речовини, які містяться в продуктах, що впливає на засвоюваність, харчову цінність, масу, смак, запах і колір цих продуктів. Під час варення денатуруються і коагулюються білки, колаген сполучної тканини м'ясо-рибних продуктів переходить у глютин, знищується більшість вегетативних форм мікробів, інактивуються ферменти. Жири у процесі варення переходять у воду і емульгують, розпадаючись на дрібні жирові кульки, які під час бурхливого кипіння і тривалого нагрівання утворюють гліцерин і жирні кислоти, які в свою чергу надають бульйону каламутного кольору і неприємного смаку і запаху. Тому бульйон варять за слабого кипіння, знімаючи з його поверхні жир.

Крохмаль, що нагрівається з водою, клейстеризується, поглинаючи вологу; завдяки цьому збільшується маса круп, бобових і макаронних виробів.

Продукти рослинного походження розм'якшуються, бо протопектин, що міститься в стінках клітин, переходить у розчинний пектин.

Основною метою розварювання сировини, яка містить крохмаль (зерно, картопля), широко застосовуваного у виробництві спирту, є руйнування клітинних стінок, звільнення крохмалю з клітин і переведення його в форму, в якій він швидше і легше оцукрюється ферментами. Розварювання сировини проводять шляхом обробки його парою з тиском 0,4...0,5 МПа, в основному за двома схемами: за температури 130...140° С і тривалості варення 50...60 хвилин; за температури 165...172° С і тривалості варення 2...4 хвилини.

Під час варення (у воді, бульйоні, молоці або насиченій парі) відбувається рівномірне прогрівання продуктів за всім об'ємом до стану кулінарної готовності при повному або частковому зануренні їх у середовище, що обігрівається. Кулінарна готовність багатьох продуктів визначається не лише температурою в їхніх центральних шарах, але, головним чином, за змінами, що відбуваються з основними їхніми компонентами.

Відзначимо, що варення, як теплообмінний процес, супроводжується масообміном – мають місце екстрагування, сорбція, розчинення тощо. Частина розчинних речовин (білки, вуглеводи, мінеральні солі, екстрактивні та фарбуючі речовини, вітаміни) переходять у рідину. Найбільша екстракція спостерігається при основному способі варення, значно менша – при припусканні та тушкуванні, і цілком незначна – при варенні парою. Кількість екстрагованих речовин зростає із збільшенням тривалості та температури процесу варення.

При варенні відбуваються як бажані, так і небажані зміни в різноманітних продуктах. Особливо це стосується варення круп. Так, наприклад, під час варення в крупах утворюються одоруючі речовини, що надають крупам у нагрітому стані неприємний і незвичний запах, а інколи і прогірклий смак. Ці речовини можна легко видалити з паром. Але якщо варення здійснюється в герметично закритій посудині, пара нікуди не видаляється, а конденсується (захоплюючи при цьому і одоруючі речовини) та всмоктується продуктом.

Основні типи варильних апаратів. У харчових виробництвах та ресторанному господарстві знаходять застосування різноманітні варильні апарати, що можуть бути класифіковані за низкою ознак. Передусім, варильні апарати поділяються на апарати для варення в киплячій рідині, для варення в атмосфері вологої насиченої водяної пари, перегрітої пари та пароповітряної суміші.

За структурою робочого циклу вони можуть бути періодичної та безперервної дії. За тиском, а отже, за температурою обробки, розрізняють апарати, що працюють за таких умов:

- під атмосферним тиском (температура 100° С) – стравоварильні котли, пароварильні шафи, сосисковарки, термоагрегати і різноманітні варильні апарати безперервної дії;

- під надлишковим тиском (тиск до 0,7 МПа, температура до 180° С) – автоклави, пароварильні камери і агрегати безперервного розварювання крохмалистої сировини;

- під вакуумом (температура нижче 100° С) – вакуум-апарати, вакуум-камери, вакуум-горизонтальні котли.

Найбільшу групу складають апарати оболонкового типу – стравоварильні котли, де варення відбувається зануренням у рідину. Котли бувають перекидні та з нижнім розвантаженням готового продукту, відкриті або герметично закриті, з мішалкою або без неї. Внутрішня поверхня у них буває емальованою, з нержавіючої сталі та іншого корозієстійкого матеріалу. Залежно від виду енергоносія котли поділяють на електричні, газові, парові та твердопаливні. У котлах варять бульйони, перші та солодкі страви, гарніри, соуси, маринади, каші, ковбасні та інші фаршеві вироби в оболонці, джеми, варення тощо.

Схеми основних типів стравоварильних котлів із оболонками наведено на рис. 1.8. Основними частинами стравоварильного котла є варильна посудина 2, парогенератор 3, пароводяна оболонка 1, постамент, контрольно-вимірювальна апаратура. У котлів, які перекидаються, крім того, є механізм перекидання. Зовні котли покриваються теплоізоляцією та облицьовуються кожухом.

Розглянуті нами стравоварильні котли з оболонками носять ще назву апаратів із непрямим обігрівом, тобто з теплоносієм. Використовуються

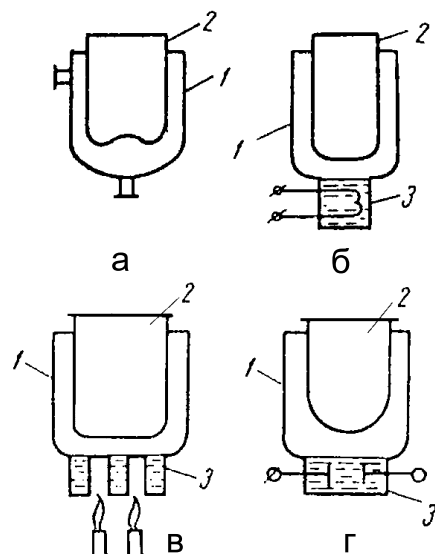


Рисунок 1.8 – Схеми стравоварильних котлів із оболонками

і теплообмінні апарати, в яких є поверхневі нагрівачі, але немає теплоносія – стравоварильні котли з безпосереднім обігрівом. За приклад наведемо котел, схему якого надано на рис. 1.9.

Для обігрівання варильної посудини 3 використано гнучкі нагрівальні елементи 4, розташовані на боковій поверхні, що дозволяє здійснити рівномірне підведення теплоти. Електронагрівальний елемент із зовнішнього боку покритий шаром теплоізоляції 6. Котел має кришку 2, кожух 1, між кожухом і шаром теплоізоляції знаходиться повітряний прошарок 7. Пускорегулююча апаратура розміщена під пультом управління 5.

У апаратів із безпосереднім обігріванням порівняно з котлами з непрямим обігріванням значно нижча питома витрата енергії (на 5 %) і металоємність (на 40 %).

На підприємствах ресторанного господарства для варення бульйонів, а також швидкого варення овочів і бобових використовуються автоклави. Автоклав являє собою стравоварильний котел із герметичною кришкою. Завдяки цьому тиск у посудині досягає 0,3 МПа, а температура варення – 130...135° С. Це сприяє швидкому прогріванню продуктів і значному прискоренню масообмінних процесів, що відбуваються при цьому.

Для варення м'яса, різноманітних м'ясних і ковбасних виробів, риби, овочів на парі застосовуються пароварильні шафи, різноманітні пароварки, камери і термоагрегати. У цих апаратах, що являють собою контактні теплообмінники, обігрівання продуктів здійснюється гострою парою, тобто під час безпосереднього співдотику насиченої пари з продуктами. При цьому пара, конденсуючись, віддає теплоту пароутворення продукту, який термічно обробляється. За конструкцією розрізняють пароварильні шафи з парогенератором (рис. 1.10 а, б) і без нього (рис. 1.10 в).

Пароварильна шафа з власним парогенератором 2 має робочу камеру 5, в якій на перфорованих полицях 6 встановлюється посуд із продуктами, які обробляються. Камера закривається дверцятами 7 з ручкою-засувом; ззовні вона покривається теплоізоляцією 4. У основі 1 розміщено парогенератор 2 з нагрівальними елементами 3 і живильним бачком із поплавковим клапаном.

Пароварильні камери, що застосовуються в різних галузях харчової промисловості та термоагрегати мають таку ж принципову будову, як і пароварильні шафи, але більш високу продуктивність.

Знаходять застосування і різноманітні пристрої безперервної дії малої продуктивності. Схему одного з таких пристроїв, призначеного для варення на пару пельменів, вареників та інших аналогічних виробів наведено на рис. 1.11.

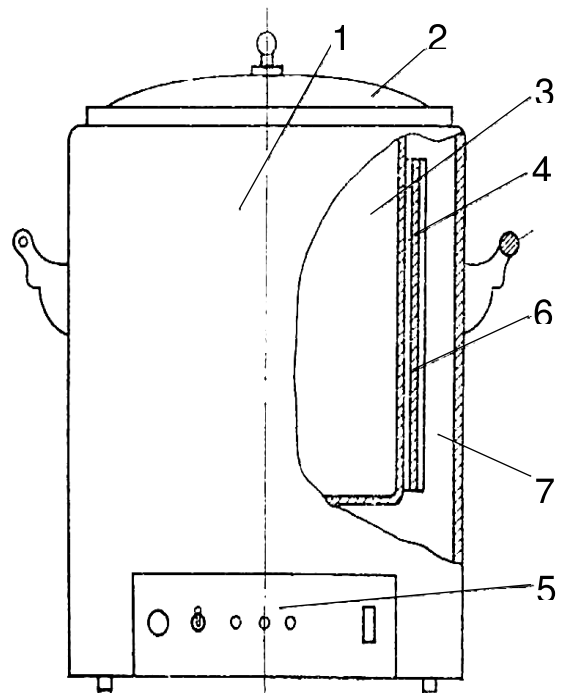


Рисунок 1.9 – Схема стравоварильного котла з гнучким електронагрівачем

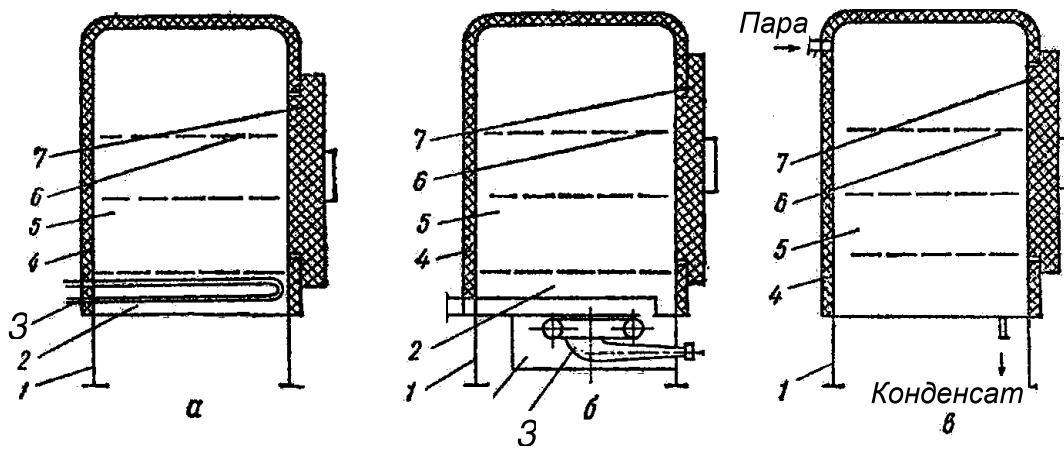


Рисунок 1.10 – Принципові схеми пароварильних шаф

У нижній частині циліндричного теплоізолюваного корпусу 5 з кришкою 6 розміщено водяну ванну 2. Над ванною на валу прикріплено решітчастий транспортуючий диск 3 з радіальними перегородками 4, що утворюють секторні камери, призначені для розміщення сітчастих ємностей 9, розрахованих на одну порцію виробів. У стінці корпусу виконано завантажувально-розвантажувальний отвір, що закривається дверцятами 10, розміри якого дозволяють встановлювати в камеру сітчасті ємності. Верхній і нижні краї отвору мають запобіжні щитки 11. Вал, який закріпленний в опорі 1, приводиться в обертання важелем 7 з пружинним фіксатором 8. Водяна ванна може обігріватися електричними нагрівачами, газовими пальниками або від конфорок плити. Під час роботи сітчасті ємності з продуктом послідовно просуваються разом з транспортуючим диском по колу робочої камери, обігріваються паром і повертаються по закінченні теплової обробки до завантажувально-розвантажувального пристрою, де здійснюється розвантаження готових виробів і подальше завантаження сітчастих ємностей.

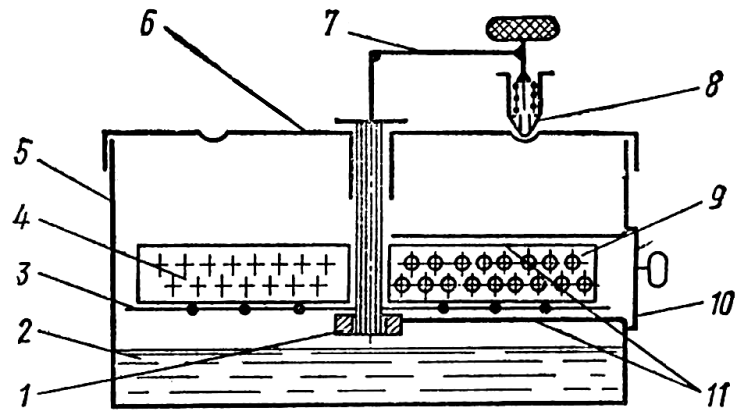


Рисунок 1.11 – Схема пристрою для варення

Більш прогресивні високопродуктивні варильні апарати безперервної дії, що поділяються на апарати для варення продуктів у воді, на парі, у пароповітряній суміші та універсальні. У цих апаратах застосовується в основному конвейерна система транспортування, а джерелом теплоти є водяна пара відповідних параметрів.

Процес жарення

Жаренням (смаженням) називається процес нагрівання продукту з жиром чи без нього за температури вище 100° С, під час якого відбувається вилучення з продукту деякої частини вологи і повна або часткова зміна кольору. Жарення

продукту з використанням різноманітних середовищ, що передають теплоту, викликає зміну його структурно-механічних, теплофізичних і органолептичних властивостей, які в сукупності визначають консистенцію, колір, запах, смак, що характеризують ступінь готовності продукту.

Процес жарення харчових продуктів характеризується значним різноманіттям прийомів і режимів.

Під час смаження основним способом продукт нагрівають із жиром (5...10% від маси продукту) на сковороді або листі за температури 130...160° С до утворення підрум'яненої скоринки.

Під час смаження у великій кількості жиру (у фритюрі) продукт розміщують у жир (співвідношення 1:4 або 1:6), нагрітий до температури 160...180° С.

Пасерування – смаження ароматичних овочів (цибулі, моркви, петрушки, селери, ріпи) до утворення легкої золотавої скоринки, покритої тонкою плівкою жиру; всередині овочі залишаються сируватими.

Під процесом випікання мають на увазі термічну обробку тістових заготовок у робочій камері жарильного апарата, в результаті чого одержуються хлібобулочні вироби, що істотно відрізняються від вихідної заготовки розмірами, зовнішнім видом, ароматом, структурою, фізичними і теплофізичними властивостями.

Запікання – смаження в жарильній шафі продукту, политого соусом або олією, попередньо звареного, припущеного або обсмаженого. Рибу та м'ясо запікають сирими.

Під час смаження, випікання та запікання продукту в камері жарильної шафи нагрівання здійснюється, в основному, за рахунок випромінювання (радіацією) від нагрітих поверхонь камери, конвекцією потоків повітря, що переміщуються і частково завдяки теплопровідності гарячого поду (радіаційно-конвективне нагрівання). За рахунок ІЧ-випромінювання здійснюється смаження продуктів у спеціалізованих апаратах-грилях, а також на відкритому вогні.

Смаження без жиру здійснюють під час приготування виробів із рідкого тіста, наприклад під час смаження млинцевої стрічки на жаровні ВЖШ, яка обертається; в цьому випадку смаження відбувається за рахунок жиру, який випресовується з тіста.

Основні типи жарильних апаратів. Усі жарильні апарати можна класифікувати за низкою ознак, а саме: за видами і способами смаження, видом джерела енергії, структурою робочого циклу. За видами і способами смаження розрізняють жаровні, призначені для відкритого смаження на невеликій кількості жиру (сковороди); обладнання для смаження продукту у фритюрі; жарильні шафи, в яких продукт має безпосередній контакт із гриючою поверхнею; жарильні шафи, в яких процес смаження і випікання здійснюється без дотику продукту до поверхні нагрівання.

За видом джерела теплової енергії розрізняють жарильні апарати: з електронагріванням, з газовим або вогневим нагріванням, з нагріванням за допомогою водяної насиченої пари тиском до 1,2 МПа, з радіаційним нагріванням. Усі жарильні апарати можуть бути періодичної та безперервної

дій. До жарильних апаратів періодичної дії належать сковороди, фритюрниці, жарильні та пекарські шафи, що використовуються, в основному, у підприємствах ресторанного господарства. Апарати без-перервної дії частіше за все мають транспортуючий орган, виконаний у вигляді сітчастого транспортера. Деякі конструкції мають робочий орган у вигляді шнека, барабана або ротора. Для смаження продуктів основним способом, а також пасерування овочів, тушіння і припускання м'ясних, рибних та овочевих кулінарних виробів призначені сковороди.

Принципову схему електричної сковороди з безпосереднім обігріванням наведено на рис. 1.12.

Сковорода складається з чавунної круглої або прямокутної чаші 2, встановленої на станині 1. Електронагрівальний елемент 4 змонтований під дном сковороди. Чаша закривається кришкою 3, яка обертається на осі, або знімається. Сковорода має перекидаючий пристрій і оснащена автоматикою регулювання теплового режиму.

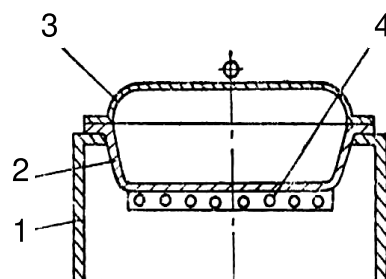


Рисунок 1.12 – Схема сковороди

Аналогічне обладнання мають фритюрниці (рис. 1.13), призначені для смаження продуктів у великій кількості жиру 2. Жарильна ванна 1 має більшу порівняно зі сковородою висоту, виконана з нержавіючої сталі. Відмінною особливістю фритюрниць є наявність у них «холодної зони» 4, куди потрапляють дрібні частинки продукту, а температура жиру в ній не перевищує 90° С. Обігрівання апарата може здійснюватися за допомогою тенів 3 або газових пальників.

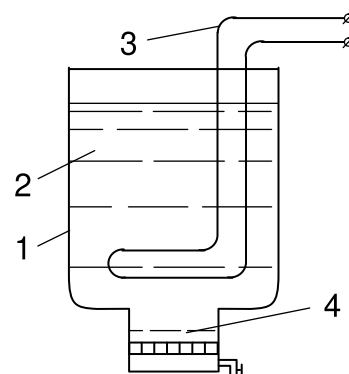


Рисунок 1.13 – Схема фритюрниці

Для смаження і запікання кулінарних виробів і випікання деяких борошняних виробів знаходять широке застосування жарильні та пекарські шафи. Як правило, шафа складається з декількох робочих камер-секцій (рис. 1.14), що обігріваються ТЕНами або газовим пальником. Робоча камера 1 являє собою двостінний теплоізолюваний металевий короб 5 з дверцятами 8. Внутрішній короб 4 виконується зі сталевих листів товщиною 1...2 мм, зовнішній – з облицювання 7, покритого емаллю. У верхній частині камери розміщено відкриті ТЕНи 3, в нижній – закриті подовим листом 6, що служить для вирівнювання температурного поля в робочому об'ємі шафи. У камері є листи 2, в яких розміщуються продукти, що

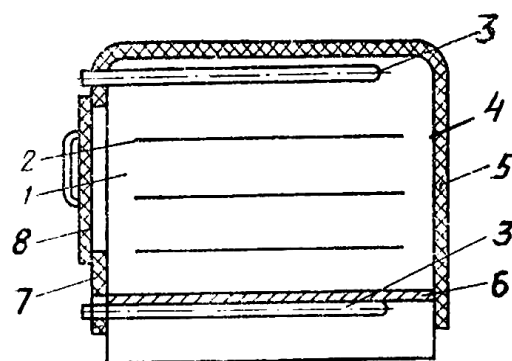


Рисунок 1.14 – Схема жарильної та пекарської шафи

нагріваються. Шафи випускаються з природним і примусовим рухом теплоносія – повітря або пароповітряної суміші, обладнуються автоматичним регулюванням потужності та заданого температурного режиму.

Розглянута жарильні апарати є апаратами періодичної дії. На харчових підприємствах, на великих і спеціалізованих підприємствах ресторанного господарства широко застосовуються апарати безперервної дії. Їх умовно можна поділити на 4 групи: апарати для смаження у великій кількості жиру (пароолійні печі, автомати смаження пиріжків, пончиків, фритюрниці), апарати для смаження на гріючій поверхні (жаровні для млинців, оладок), апарати з радіаційним (ГЧ) і НВЧ-нагріванням і апарати з різноманітними комбінованими способами смаження.

Процес пастеризації

Пастеризація призначена для консервування продуктів. Під пастеризацією мають на увазі термічну обробку продуктів за температури нижче 100°C з наступним охолодженням до температури $6...8^{\circ}\text{C}$. Пастеризація, як правило, вбиває неспорові хвороботворні мікроорганізми і скорочує загальну бактеріальну забрудненість продукту, що підвищує його стійкість. Швидке охолодження продукту після пастеризації необхідно для того, щоб відвернути розвиток остаточної мікрофлори, тобто проростання у вегетативні клітини спор, що зберігають життєздатність під час одноразового нагрівання.

Пастеризаційна апаратура. Пастеризація здійснюється в установках або апаратах, що називаються пастеризаторами. У харчових виробництвах використовуються найрізноманітніші пастеризаційні установки періодичної та безперервної дії.

Апарати періодичної дії використовують для пастеризації невеликої кількості продуктів. До них належать ванни тривалої пастеризації ВТП, універсальні танки, камерні пастеризатори, автоклави.

Ванна тривалої пастеризації ВТП (рис. 1.15) являє собою теплообмінний апарат із оболонкою 2 і кришкою 5. Оболонка 2 ванни 3 заповнюється водою, що підігрівається паром, яка надходить через безшумний пароструминний нагрівач 1. У середині резервуару розміщено мішалку 4, що має привід 6. Спочатку ванну заповнюють продуктом, після цього включають мішалку, в оболонку пускають

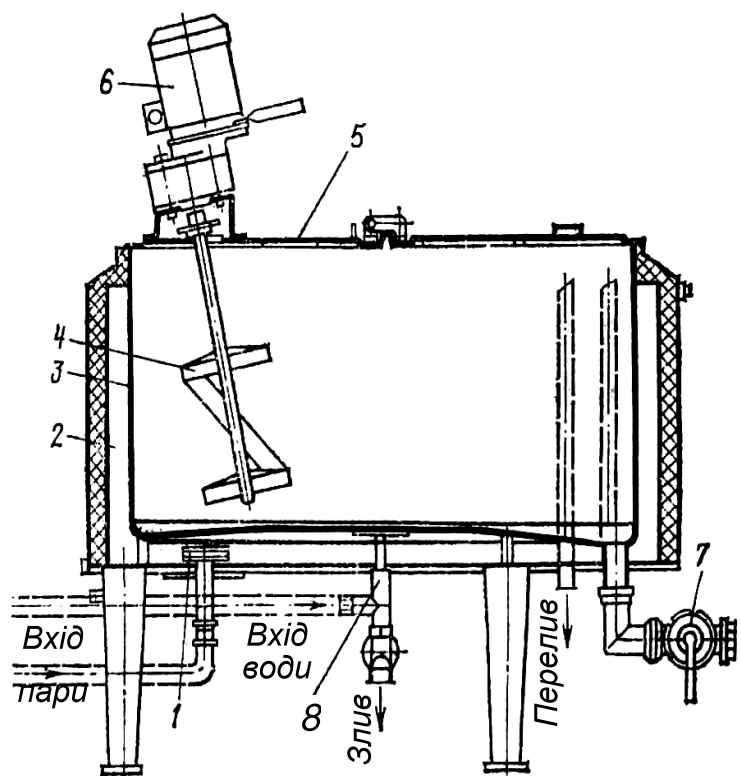


Рисунок 1.15 – Ванна тривалої пастеризації

воду і подають пару. Продукт перемішується мішалкою, нагрівається від внутрішньої поверхні стінки резервуару до температури пастеризації та піддається витримці. По закінченні витримки закривається паровий вентиль, а в оболонку подають холодну воду по трубі та охолоджують продукт до необхідної температури. З ванни продукт зливається через кран 7. Аналогічне влаштування мають універсальні танки.

Більш перспективним обладнанням для пастеризації рідких харчових продуктів (вина, томатного і фруктових соків, компоту) в скляній і жерстяній тарі є пастеризатори-охолоджувачі безперервної дії, що обігріваються паром, гарячою водою або гарячим повітрям. Конструктивно пастеризатори цього типу складаються з секції власно пастеризації та секцій охолодження, через які проходить транспортер, що несе банки (пляшки) з продуктом. Швидкість руху транспортера регулюють таким чином, щоб забезпечити перебування продукту в зоні пастеризації протягом заданого часу, а після цього – поступове охолодження.

Процес стерилізації

Стерилізація, або знепліднення (*sterilis* – безплідний), – обробка продукту з метою припинення життєдіяльності клітин сировини і мікроорганізмів, у тому числі й їхніх спор. Спосіб консервування стерилізацією у харчових виробництвах є основним і найбільш надійним серед усіх методів збереження харчових продуктів. При цьому ставиться завдання, що стерилізація не повинна призводити до зміни білкових і екстрактивних речовин, вітамінів, органолептичних властивостей, зниження харчової та біологічної цінності продукту. Залежно від фізичних властивостей продуктів, які стерилізуються, та мети стерилізації, застосовують різні методи знепліднення мікроорганізмів: гарячий (волога, дробова, суха стерилізація) і холодний (механічна стерилізація, іонізація, стерилізація ультразвуком та ультрафіолетовим випромінюванням). Основним із них є теплова стерилізація за рахунок нагрівання продукту до високих температур.

1.8. Електрофізичні методи обробки

Останнім часом в харчові технології широко впроваджуються електрофізичні методи обробки харчових продуктів – електростатичне поле, струми промислової частоти, струми ВЧ і НВЧ, інфрачервоне випромінювання, ультразвук тощо. Використання цих способів у технологічних процесах дозволяє знизити питомі витрати енергії, скоротити тривалість теплової обробки, забезпечити раціональні температурні режими, що в свою чергу підвищує якість продукції та дає значний економічний ефект.

Інфрачервоне нагрівання здійснюється за схемою «теплота–промінь–теплота», тобто спочатку за рахунок нагрівання випромінювача в ньому генерується енергія, після чого вона передається у вигляді електромагнітних коливань через середовище (повітря, газ) до об'єкта нагрівання, в якому енергія електромагнітних коливань знов перетворюється в теплоту. Джерелами випромінювання (генераторами) інфрачервоної енергії є, головним чином, температурні випромінювачі, в яких інфрачервоне проміння виникає в результаті

спалювання газу, якогось іншого пального або під час нагрівання тіл. Крім того, джерелами випромінювання можуть бути електричні лампи розжарювання, ртутні та кварцові лампи, напіввипромінюючі тели, сени (селітові електронагрівачі), металеві та керамічні випромінювачі газових пальників та ін.

Інфрачервоне проміння переборює шлях від джерела випромінювання до об'єкта опромінення в мільйонні частки секунди, не зустрічаючи опору пограничного шару, що має місце під час конвективного нагрівання. Його особливістю є здатність проникати на деяку глибину всередину матеріалу (залежно від його оптичних характеристик – поглинальної, відбивальної та пропускаючої спроможності), а також впливати на його молекулярну структуру та на циркуляцію газу в порах. Інфрачервоне проміння інтенсифікує рух атомів і молекул поверхневих шарів продукту, і він нагрівається. Температура поверхні матеріалу і розташованих нижче шарів швидко зростає, причому максимальна температура спостерігається не на поверхні матеріалу, а на деякій його глибині (від часток до декількох мм), що пояснюється охолодженням поверхні навколишнім середовищем.

Теплова обробка продуктів у електромагнітному полі НВЧ. НВЧ-нагрівання стало останнім часом одним із найбільш перспективних засобів термічної обробки харчових продуктів. Використання його дозволяє значно інтенсифікувати теплові та масообмінні процеси, зменшити втрати маси продуктів під час термічної обробки, більшою мірою зберегти вітаміни, мінеральні та екстрактивні речовини.

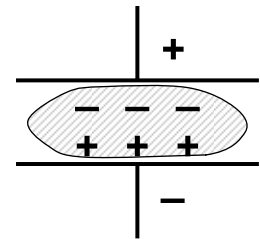
Під час звичайних способів теплової обробки продуктів теплота передається від їхньої поверхні до центральних шарів за рахунок теплопровідності, яка для більшості харчових продуктів дуже мала (про це відзначено під час розгляду передавання теплоти теплопровідністю). Для нагрівання центральних шарів продукту до необхідної температури 70...80° С його поверхню нагрівають до 100° С (під час варки) або до 250...300° С (під час випікання, смаження). Велика тривалість передачі теплоти і неминучий перегрів поверхні продукту призводять до зниження вмісту в готових виробах низки поживних речовин та вітамінів, перевитраті енергії.

У змінному електромагнітному полі надвисокої частоти (НВЧ) нагрівання харчових продуктів може здійснюватися одразу за всім об'ємом. До основних особливостей НВЧ-нагрівання слід віднести: спроможність НВЧ-поля проникати в оброблюваний продукт на значну глибину, що дозволяє здійснити його об'ємне нагрівання незалежно від теплопровідності; високу швидкість нагрівання і відсутність контакту продукту з теплоносієм; безінерційність процесу нагрівання; високий ККД перетворення енергії НВЧ-поля в теплоту, що виділяється в продукт.

НВЧ-нагрівання відоме під різноманітними назвами, основу яких складають його узагальнені ознаки. Так, часто цей вид нагрівання називають діелектричним, оскільки використовують його для теплової обробки діелектриків, тобто матеріалів і продуктів, що не пропускають або погано пропускають електричний струм. Назва «мікрохвильове нагрівання»

підкреслює коротку довжину хвилі НВЧ-поля, що дорівнює $10^{-3} \dots 10^{-1} \text{ м}$. Об'ємним це нагрівання називають тому, що під час використання НВЧ-поля прогрівання продукту відбувається за всім об'ємом (на відміну від поверхневого нагрівання).

Процес утворення теплоти у продукті за допомогою струмів НВЧ заснований на законах електричного поля і принципі дії конденсатора. Основні параметри та закономірності теплоутворення найпростіше можна пояснити, ґрунтуючись на принципі дії плоского конденсатора (рис. 1.16).



**Рисунок 1.16 –
Плоский
конденсатор**

При підключенні плоского конденсатора до полюсів джерела постійного струму його пластини заряджаються протилежними зарядами, і між ними утворюється гомогенне силове поле. Це силове поле буде діяти на виріб (продукт) що нагрівається, розміщений між пластинами конденсатора.

На рис. 1.17 наведено схему вакуум-сушарки з НВЧ-нагріванням. Продукт із шлюзового бункера 3 надходить на стрічку 2 транспортера, який знаходиться в камері 1. Нагрівання продукту здійснюється завдяки магнетрону 4 і хвильоводам 5. Нагляд за температурою сушіння ведуть дистанційні прилади. Вакуум у камері сушарки підтримується вакуум-насосом 6. Готовий продукт вивантажується через шлюзовий бункер 7.

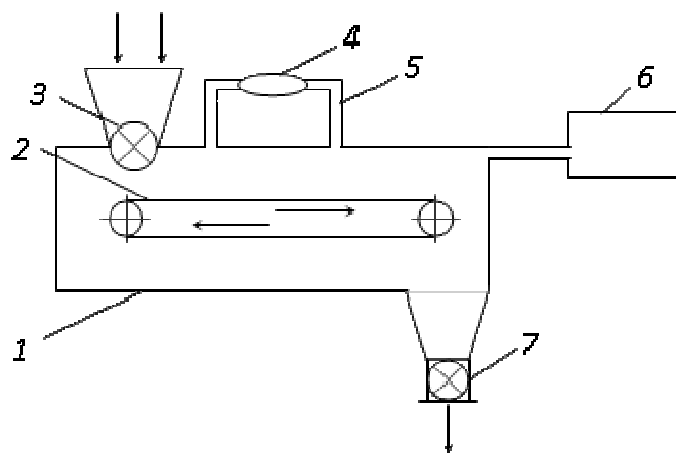


Рисунок 1.17 – Вакуум-сушарка з НВЧ-нагріванням

Якість матеріалів, висушених НВЧ-способом дуже висока. Наприклад, висушене таким способом м'ясо має пористу структуру; воно відновлює до 70% свого початкового об'єму під час простого обводнення. У ньому добре зберігаються вітаміни та інші цінні компоненти. НВЧ-нагрівання розповсюджене в кондитерському, м'ясному, молочному, консервному виробництвах і підприємствах ресторанного господарства.

Обробка харчових продуктів у електростатичному полі застосовується для електрогазоочищення, електрокопчення та паніровки м'яса та риби, нанесення консервуючих речовин на поверхню продукту, сепарації зерна, чаю, олійного

насіння та ін. Установки являють собою камеру з електродами, до яких підводиться постійний струм високої напруги (до 9000 В). Частинки пилу, туману або копильного диму, які входять у електростатичне поле, заряджаються і під впливом поля одержують направлений рух до осаджувальних електродів. При електрокопченні компоненти копильного диму осаджуються на поверхні продукту, а після цього дифундують у нього, в результаті чого відбувається зміна кольору, аромату, смаку продукту, а також досягається бактерицидний та антиокислювальний ефекти. Процес електрокопчення протікає 2...5 хвилин на відміну від декількох годин із використанням звичайних засобів.

Сутність електроконтактного методу обробки полягає у тому, що електричний струм промислової частоти (220 В, 50 Гц), проходячи через продукт, що має опір, викликає його нагрівання, за рахунок якого досягається значна інтенсифікація процесу. Електроконтактне нагрівання використовується для розморожування (дефростації) риби, випікання бісквітного тіста, сушіння тютюну, варення сосисок. До процесів електроконтактної обробки харчових продуктів належить і електроплазмоліз, під час якого відбувається пошкодження протоплазматичних оболонок клітин рослинної сировини, що дає збільшення виходу соку на 8...10% порівняно зі звичайними методами. Сутність процесу електрофлотації, розробленого Б.М. Матовим, полягає у розкладанні постійним електричним струмом води на кисень і водень, який після цього у вигляді бульбашок осаджується на поверхні твердої фази і тягне її вгору для наступного виділення.

Контрольні запитання

- 1) Що таке теплова обробка?
- 2) Яка мета теплової обробки?
- 3) Наведіть класифікацію процесів теплової обробки.
- 4) Наведіть об'ємні способи теплової обробки.
- 5) Наведіть допоміжні способи теплової обробки.
- 6) Дайте характеристику процесу нагрівання.
- 7) Які основні способи нагрівання?
- 8) Що таке молекулярний теплообмін?
- 9) Що таке конвективний теплообмін?
- 10) Що таке променистий теплообмін?
- 11) Дайте характеристику процесу охолодження.
- 12) Які є способи охолодження?
- 13) Охарактеризуйте процес повітряного охолодження.
- 14) Охарактеризуйте процес водяного охолодження.
- 15) Охарактеризуйте процес охолодження льодом.
- 16) Дайте характеристику процесу випаровування.
- 17) Дайте характеристику процесу випарювання.
- 18) Схема та принцип роботи випарного апарата з паровою оболонкою.
- 19) Схема та принцип роботи випарного апарата з центральною циркуляційною трубою.

- 20) Дайте характеристику процесу конденсації.
- 21) Види апаратів для конденсації.
- 22) Схеми та принцип роботи конденсаторів змішування.
- 23) Дайте характеристику процесу плавлення та твердіння.
- 24) Наведіть специфічні теплові процеси.
- 25) Дайте характеристику процесів варення.
- 26) Основні типи варильних апаратів.
- 27) Схеми та принцип роботи стравоварильних котлів з оболонками.
- 28) Схема та принцип роботи стравоварильного котла з гнучким електро-нагрівачем.
- 29) Схеми та принцип роботи пароварильних шаф.
- 30) Схема та принцип роботи пристрою для варення пельменів та вареників.
- 31) Дайте характеристику процесів жарення.
- 32) Основні типи жарильних апаратів.
- 33) Схема та принцип роботи сковороди.
- 34) Схема та принцип роботи фритюрниці.
- 35) Схема та принцип роботи жарильної та пекарської шафи.
- 36) Дайте характеристику процесу пастеризації.
- 37) Апарати для пастеризації.
- 38) Схема та принцип роботи ванни тривалої пастеризації.
- 39) Дайте характеристику процесу стерилізації.
- 40) Дайте характеристику електрофізичних методів обробки.
- 41) Схема та принцип роботи вакуум-сушарки з НВЧ-нагріванням.

Лекція № 2

ТЕПЛООБМІННЕ ОБЛАДНАННЯ

План

1. Основні конструктивні елементи теплових апаратів.
2. Вимоги до теплових апаратів.
3. Класифікація теплового обладнання.
4. Конструкції теплообмінних апаратів.
5. Розрахунок теплообмінників.
6. Основні напрямки вдосконалення теплового обладнання.

2.1. Основні конструктивні елементи теплових апаратів

Будь-який апарат, призначений для теплової обробки в харчових виробництвах, незалежно від його технологічного призначення складається з однотипних за функціональним призначенням елементів конструкції та окремих вузлів. До них відносять насамперед робочі камери, нагрівальні елементи, каркаси та станини, теплову ізоляцію, а також вузли та деталі системи управління процесом (рис. 2.1).

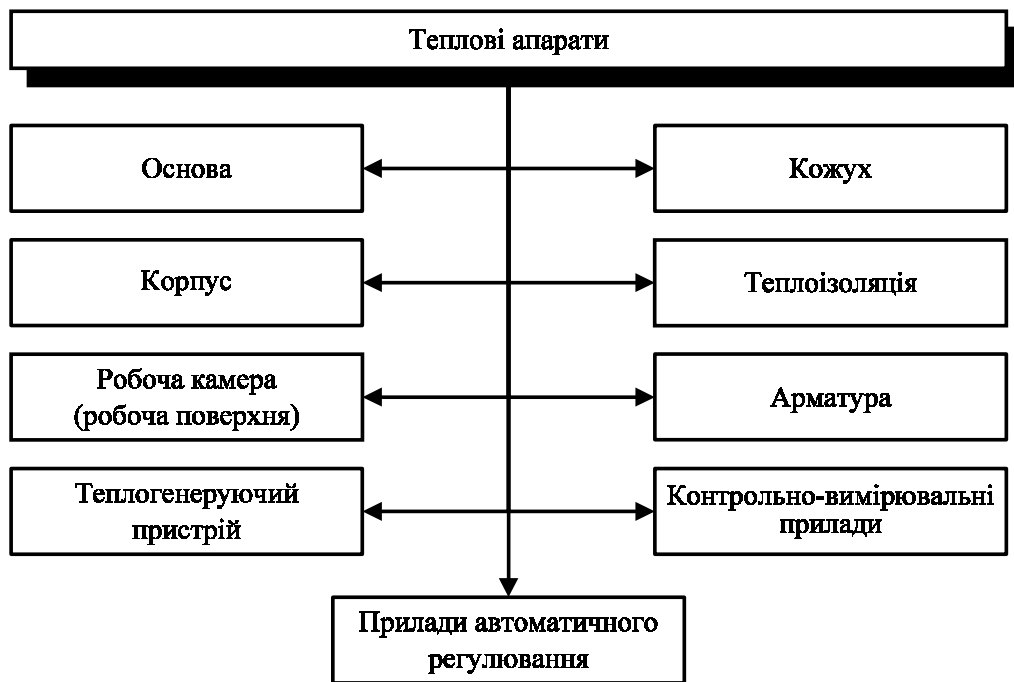


Рисунок 2.1 – Основні конструктивні елементи теплових апаратів

Принципова схема умовного теплового апарату показана на рис. 2.2. Основним елементом теплового апарату є робоча камера. Вона є простором, в якому знаходиться харчовий продукт в момент теплового впливу. Робочі камери можуть бути закритими та відкритими. Закриті робочі камери в залежності від вимог технології приготування їжі можуть бути герметичними та негерметичними. Негерметичні закриті робочі камери працюють при атмосферному тиску, герметичні можуть працювати і при надмірному тиску, і при розрідженні.

З метою завантаження та вивантаження харчового продукту закриті робочі камери обладнують дверцятами або кришками, а відкриті робочі камери виконують із завантажувальними та розвантажувальними отворами.

Нагрівальні елементи. Продукти, розміщені в робочих камерах, нагріваються шляхом контакту з тим чи іншим середовищем, що гріє, яке, у свою чергу, нагрівається нагрівальними елементами. У робочих камерах нагрівальні елементи розміщують з урахуванням вимог технології приготування їжі за умови забезпечення мінімальних втрат сировини та енергії, а також зниження загальної собівартості продукції.

Найбільш поширені електричні нагрівальні елементи, що перетворюють електричну енергію на теплоту. У газових теплових апаратах джерелами теплоти є газові пальники, в яких відбувається хімічна реакція горіння, що супроводжується виділенням теплоти. У рідкопаливних апаратах для цих цілей використовують рідкі форсунки різних типів. В апаратах, що працюють на твердому паливі, спалювання його здійснюється на колосникових решітках, що забезпечують надходження повітря, необхідного для спалювання.

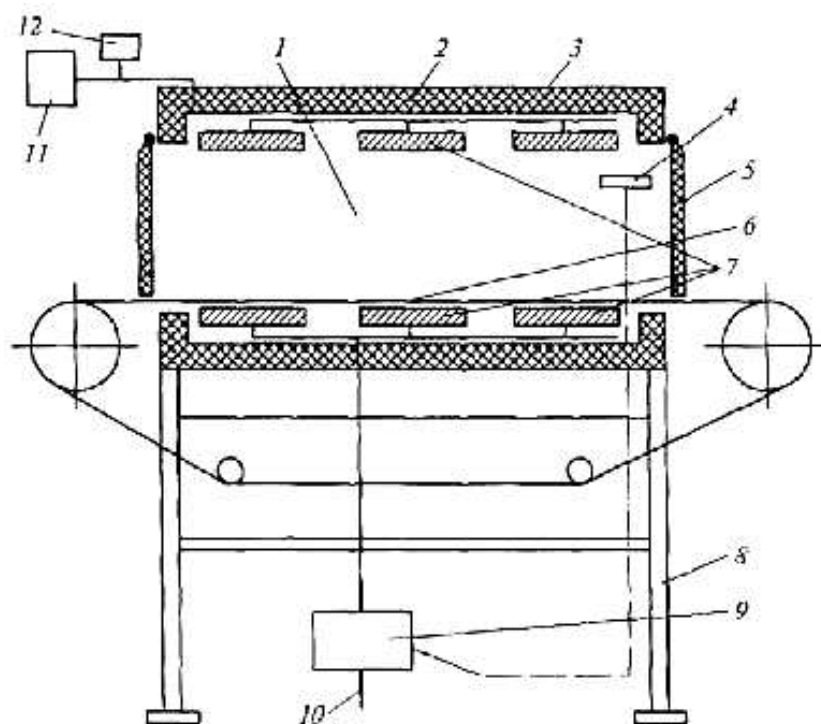


Рисунок 2.2 – Принципова схема умовного теплового апарату: 1 – робоча камера; 2 – теплова ізоляція; 3 – кожух; 4 – датчики; 5 – дверцята; 6 – транспортер; 7 – нагрівальні елементи; 8 – опорно-несучий елемент конструкції; 9 – блок управління; 10 – система підведення енергії; 11 – система контролю; 12 – система безпеки

Усі елементи, що гріють, вогневих апаратів (пальники, форсунки, колосники з паливом) розміщують у топкових камерах, з'єднаних з газоходами. Система топкових камер та газоходів є теплообмінником, що сприймає теплоту продуктів згоряння газу і в цьому сенсі є єдиною теплогенеруючою частиною вогневих апаратів.

У парових апаратах у якості нагрівальних елементів використовують теплообмінники, в яких в результаті фазового переходу (конденсації пари) виділяється прихована теплота пароутворення. Ці апарати найчастіше являють собою сорочкові, трубчасті (кожухотрубні та змієвикові) теплообмінники.

Теплова ізоляція – це шар матеріалу, що зменшує теплові втрати в навколишнє середовище. Температура зовнішніх стін варильних апаратів, покритих тепловою ізоляцією, не перевищує 60 °С, а жарочних – 70 °С, що виключає можливість опіків. Основні вимоги до теплоізоляційних матеріалів: низький коефіцієнт теплопровідності, тепло- та вологостійкість Крім того, теплова ізоляція повинна бути недорогою, доступною, довговічною, міцною та тривалий час зберігати форму.

Якщо температура робочої камери невелика, роль теплової ізоляції може грати повітряний прошарок між камерою і корпусом. При цьому товщина шару повітряного прошарку не повинна перевищувати 5...10 мм. При більшій

товщині виникає природна конвекція в замкнутому обсязі та ефективність шару як теплової ізоляції значно знижується.

Ефективною та економічною є комбінована тепла ізоляція, що складається із зовнішнього повітряного прошарку та шару теплоізоляційного матеріалу, який примикає до робочої камери на поверхні нагрівального елемента, розміщеного на її стінках. Така тепла ізоляція значно дешевша за звичайну одношарову.

Транспортуючі пристрої. В апаратах безперервної дії для переміщення харчового продукту всередині робочої камери застосовують транспортуючі пристрої. Швидкість руху пристрою і довжина шляху його навантаженої частини визначають основний режимний параметр – тривалість теплової обробки:

$$\tau = l_p / v, \quad (2.1)$$

де τ – тривалість теплової обробки, с;

l_p – довжина ділянки транспортуючого пристрою при проходженні його з продуктом через робочу камеру, м;

v – швидкість руху транспортера, м/с.

Продуктивність транспортуючого пристрою при транспортуванні одиничних вантажів

$$M = v / a, \quad (2.2)$$

де M – продуктивність, од./с;

a – відстань між сусідніми порціями, м.

Умови роботи транспортуючих пристроїв у тепловому обладнанні підприємств громадського харчування зумовлені підвищеними температурами та агресивністю харчових продуктів по відношенню до багатьох матеріалів. З цих причин у тепловому устаткуванні найбільш широко застосовують стрічкові, ланцюгові та шнекові транспортувальні пристрої з нержавіючої сталі.

В апаратах періодичної дії замість транспортера в робочій камері розміщують спеціальні полиці, ґрати та кошики, в яких оброблюваний продукт знаходиться в нерухомому стані. Найчастіше для цих цілей використовують листи (висувні або на стелажах), рідше сітчасті полиці або кошики.

Несучі елементи теплових апаратів. У робочих камерах теплових апаратів використовують спеціальні елементи конструкції, що сприймають і перерозподіляють силу тяжіння, силовий вплив робочих органів машин та механізмів, а також вібрації, що гасять, які виникають при їх роботі. Такі елементи конструкції називають несучими. Одночасно ці елементи є основою для кріплення різних вузлів машин, механізмів, пристроїв управління тощо; вони ж підвищують жорсткість конструкції апарату загалом. Найбільш часто використовуються в конструкціях теплових апаратів як несучі елементи станини і каркаси, що розміщуються на підставах.

Підстави – це місця встановлення машин та механізмів. Залежно від маси і силового навантаження апарату основою служать підлоги виробничих приміщень або спеціально підготовлені бетоновані фундаменти.

Фундамент – це спеціальна будівельна споруда, призначена для надійного кріплення обладнання та передачі його навантаження на ґрунт. Фундамент є суцільним або полегшеним масивом з міцних будівельних матеріалів.

Станини – опорні елементи, що закріплюються на підставах і утворюють з останніми систему, що забезпечує розподіл статичного навантаження і гасіння динамічних. Зазвичай станини виконують суцільнометалевими масивними, що дозволяє знизити центр тяжкості апарату і надати апарату необхідну стійкість, яка гарантована навіть у тому випадку, коли при розвантаженні продукції відбувається поворот (перекидання) робочої камери. Станини нерухомих робочих камер часто називають постаментом.

Каркас – це несуча конструкція, на якій кріплять робочу камеру апарату, передавальний і транспортуючий механізми, а також системи, що забезпечують безпеку та автоматичне регулювання процесів технологічної обробки. Виготовляють каркаси у вигляді суцільнометалевих зварних або збірно-розбірних (з використанням різьбових кріпильних з'єднань) конструкцій. Як основні елементи каркасу зазвичай використовують стандартний металопрокат – кутки, швелери, балки.

Останнім часом часто створюють безкаркасні конструкції теплових апаратів. Це можливо в тих випадках, коли, використовуючи сучасні методи технології машинобудування, основні елементи теплового обладнання (робочі камери, кожухи тощо) виконують у вигляді жорстких конструктивних елементів, які не деформуються, що досягається шляхом виготовлення цих елементів штампуванням та витяжкою. У результаті цим елементам надають необхідної стійкості за допомогою ребер жорсткості. Таке конструктивне рішення найперспективніше, оскільки воно дозволяє як значно знизити металоємність конструкції, так і значною мірою спростити виготовлення, обслуговування устаткування.

Ефективною несучою конструкцією є ферма, призначена для кріплення на ній групи різних теплових апаратів та допоміжного обладнання (робочих столів та вентиляції), що утворюють єдину технологічну лінію (рис. 2.3). Ферми виготовляють із труб прямокутного перерізу, усередині яких прокладають електричний кабель.

Засоби техніки безпеки та контрольно-вимірювальні пристрої зазвичай розміщують на каркасі теплових апаратів, рідше виносять за межі апарату та кріплять на будівельних елементах будівель поблизу апарату.

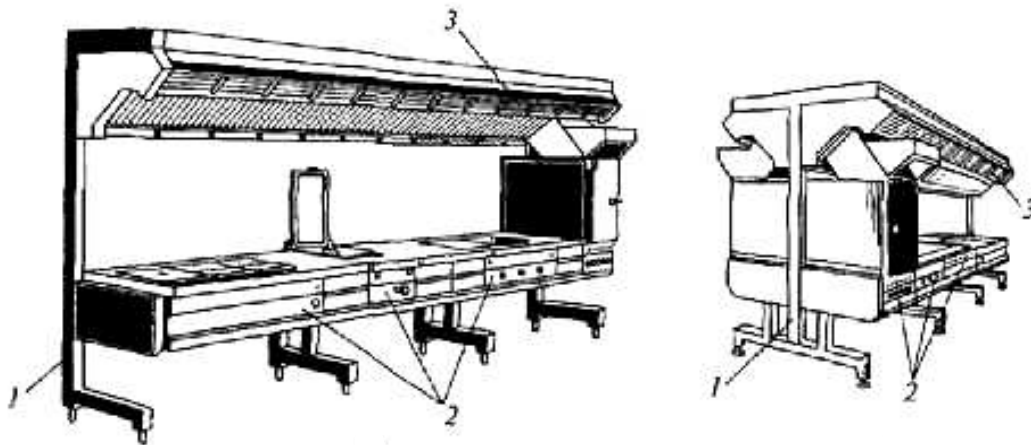
Найбільш загальні засоби техніки безпеки – це засоби, що виключають:

– вплив електричного струму на людину. До них належать система захисного заземлення; система захисного занулення; система захисного відключення; система захисту від струмів короткого замикання та струмового навантаження;

– вплив природного газу на обслуговуючий персонал. Такі системи називають системами газової автоматики безпеки;

– надходження в робоче приміщення продуктів термічного розпаду речовин, що утворюються в робочих камерах, а також продуктів згоряння палива. До них відносяться спеціальні вентиляційні канали (вентиляційні пристрої); тягові пристрої;

– механічне руйнування внаслідок підвищення тиску чи утворення вакууму. До них відносяться запобіжні клапани. В окремих випадках застосовують спеціальні блокуючі пристрої, що виключають можливість відкриття дверцят робочих камер при підвищеному тиску або включених нагрівальних елементах.



а)

б)

**Рисунок 2.3 – Модульні лінії технологічного обладнання, змонтовані на фермах:
а – пристінне розташування; б – острівне розташування; 1 – ферми;
2 – технологічні апарати; 3 – місцеві витяжні пристрої**

Контрольно-вимірювальні пристрої призначені для реєстрації основних технологічних параметрів теплових апаратів. Вони включають термометри, манометри та мановакуумметри різних типів.

2.2. Вимоги до теплових апаратів

Основні вимоги до теплового обладнання підприємств харчових виробництв є загальними для більшості теплових апаратів (рис. 2.4).

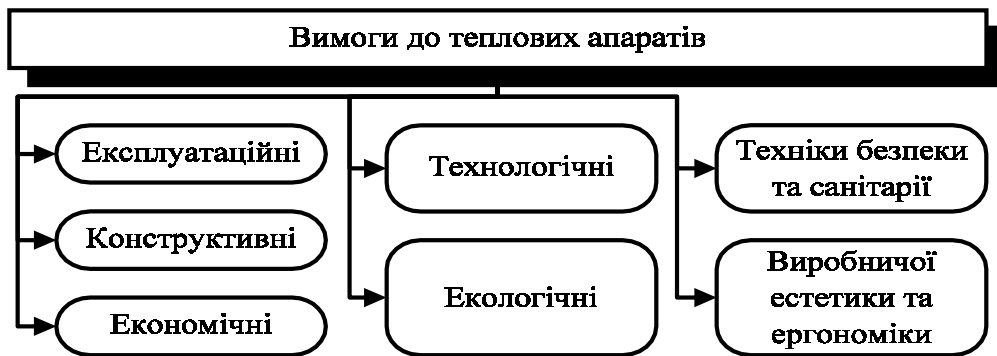


Рисунок 2.4 – Вимоги до теплового обладнання

Отже, основними є технологічні, експлуатаційні, енергетичні, конструктивні, екологічні та економічні вимоги та вимоги, пов'язані з охороною праці обслуговуючого персоналу. Усі перелічені вимоги взаємопов'язані. Крім того, кожна з перелічених вимог багатопланова і впливає на конструктивні рішення апарату та вибір системи управління.

Технологічні вимоги. Апарат повинен забезпечувати можливість приготування продукту відмінної якості, що характеризується високою харчовою цінністю та безпечною у вживанні. Неодмінна технологічна вимога – забезпечення такої теплової обробки, за якої втрати сировини та самого

продукту мінімальні. Крім того, приготування продукту в апараті повинно займати якнайменше часу.

Енергетичні вимоги. Апарати повинні працювати в енергозберігаючих режимах (тобто при мінімальних витратах електроенергії, палива, пари та будь-яких інших джерел теплоти та теплоносіїв), повинні бути забезпечені пристроями або засобами, що регулюють кількість енергії, яка підводиться, залежно від вимог технологічних режимів на різних етапах виробництва.

Експлуатаційні вимоги. Апарати повинні бути зручні та прості в обслуговуванні. У процесі приготування їжі має бути забезпечена можливість контролю основних параметрів та регулювання процесу залежно від технологічних режимів. Важлива експлуатаційна вимога – доступність усіх вузлів апарату для їх миття та санітарної обробки, а також для профілактичного огляду та виконання поточного ремонту. Найважливіша експлуатаційна вимога – повна безпека персоналу, який обслуговує обладнання. Норми охорони праці вимагають абсолютного виключення будь-якої можливості на людини під час експлуатації, устаткування наступних небезпечних чинників: електричного струму, високих температур, високих тисків і наднормативного опромінення різноманітних випромінюваннями.

З метою економії споживаної енергії апарати повинні мати теплову ізоляцію, яка суттєво скорочує втрати теплоти в навколишнє середовище і виключає опік персоналу при дотику до корпусу.

Вимоги до конструкції. До конструкції зазвичай пред'являють одночасно багато вимог, але за умови, що вони реалізуються в апараті мінімальних розмірів і маси при заданій продуктивності та високій якості продукції. Апарат при цьому повинен складатися з уніфікованих і взаємозамінних вузлів та деталей, а матеріал цих вузлів і деталей повинен бути доступний, дешевий, безпечний для людини. При естетичності зовнішнього вигляду апарата основні вузли та деталі, пульт управління та інші елементи конструкції повинні забезпечувати зручність та безпеку під час роботи.

Конструкція апарату визначає його надійність і довговічність. Довговічність є властивість апарату зберігати високу працездатність до деякого граничного стану, у якому використання апарату неможливо. Вона характеризується напрацюванням (тривалістю роботи) та ресурсом (терміном експлуатації), закладеними при конструюванні. Ресурс повинен забезпечувати багаторазову окупність обладнання.

Екологічні вимоги. Відповідно до цих вимог теплове обладнання не повинно викидати в атмосферу та каналізацію небезпечні для здоров'я людей, тварин і рослин речовини. Такі шкідливі речовини можуть бути в продуктах згоряння палива, в миючих розчинах при санітарній обробці апаратів.

Економічні вимоги. Передбачається, що використання апарату дозволяє підприємству отримати додатковий прибуток. Це можливо завдяки збільшенню продуктивності та зниження витрат фізичної праці. Економічна ефективність обладнання визначається головним чином собівартістю продукції і терміном

окупності апарату. Ці показники залежать і від вартості апарату, його продуктивності, габаритних розмірів і т.д.

Вимоги щодо автоматизації. Підвищити економічну ефективність можна шляхом автоматизації виробництва в цілому і кожного з апаратів окремо. У теплових апаратах застосовують автоматичні системи контролю та безпеки, а також системи управління процесом. Автоматичний контроль полягає у безперервному визначенні параметрів роботи апаратів та технологічних процесів без участі людини. Автоматичний захист запобігає аварії апарату, а також небезпечний вплив на обслуговуючий персонал при зміні режимів його роботи. Автоматичне управління, як правило, здійснює пуск та зупинку двигунів, включення та відключення окремих його вузлів (нагрівальних елементів, соленоїдних клапанів) і тим самим забезпечує проведення тих чи інших технологічних процесів приготування їжі в заданих режимах. Система управління включає комплекс приладів і пристроїв, що дозволяють керувати технологічним процесом.

Вимоги до матеріалів. Для виготовлення основних вузлів і деталей теплового обладнання використовують найчастіше метали, рідше пластичні маси та кераміку, а також тепло-і електроізоляційні матеріали. Основні матеріали наведені на рис. 2.5.

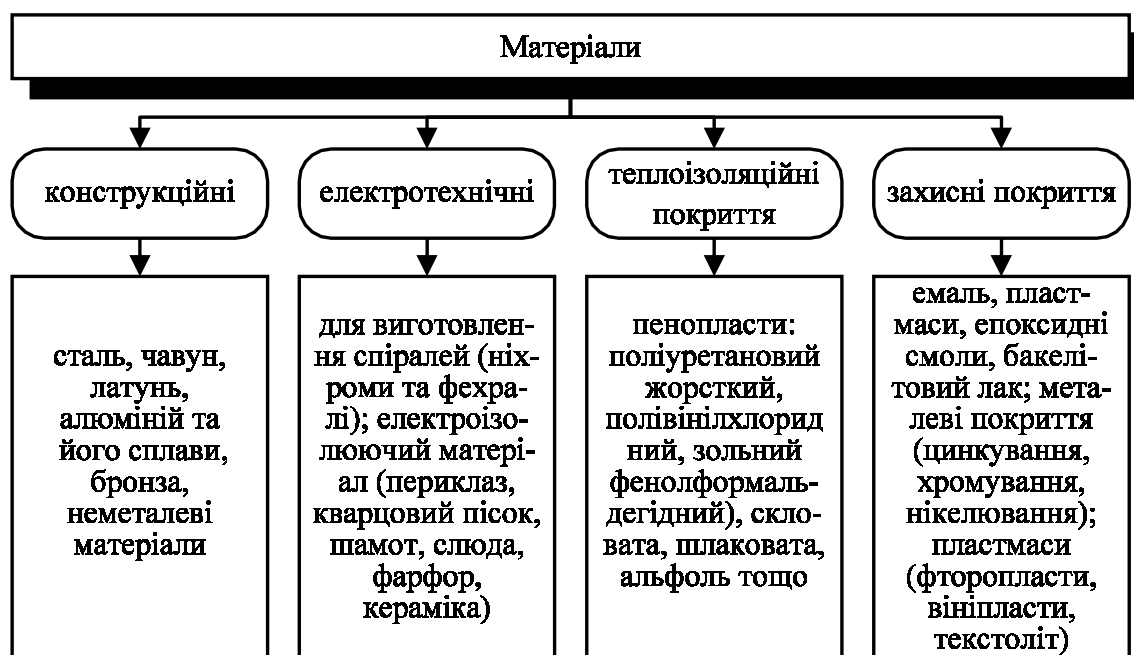


Рисунок 2.5 – Матеріали, що застосовуються для виготовлення теплових апаратів

При виборі матеріалів виходять із наступних вимог.

1. Матеріали повинні бути нешкідливими як для споживача, так і для виробника кулінарної продукції; метали та їх складові не повинні розчинятися і накопичуватися в продукті, а елементи конструкції при нагріванні виділяти небезпечні для здоров'я речовини у атмосферу робочих цехів.

2. Матеріали не повинні шкідливо впливати на навколишнє середовище.

3. Матеріали повинні мати високу міцність та зносостійкість.

4. Матеріали повинні легко оброблятися в процесі виготовлення.
5. Матеріали мають бути дешевими та недефіцитними.
6. Матеріали мають бути корозійностійкими.
7. Зовнішній вигляд матеріалів, що застосовуються для виконання корпусних деталей, повинен відповідати вимогам промислової естетики.

У процесі експлуатації устаткування внаслідок впливу високих температур, вологи і кисню повітря властивості матеріалів змінюються, іноді вони руйнуються (наприклад, при корозії). Матеріали повинні зберігати свої властивості протягом усього періоду експлуатації обладнання (як мінімум до капітального ремонту).

Найкращі матеріали для виготовлення корпусних деталей та інших вузлів теплового обладнання – леговані нержавіючі сталі, рідше леговані чавуни. Дані метали стійкі до агресивного впливу харчових продуктів, здатні витримувати термічні удари і окисне вплив кислот, повітря і продуктів згоряння палива.

Особливе місце займають електроізоляційні матеріали, що використовуються для ізоляції струмопровідних частин апаратів, машин та механізмів. Найчастіше для цього використовують кераміку, спеціальні електроізоляційні пластичні маси, скло та спеціальні речовини (оксид магнію, кремнію тощо).

Основні техніко-економічні показники. Основні техніко-економічні показники теплового обладнання показані на рис. 2.6.

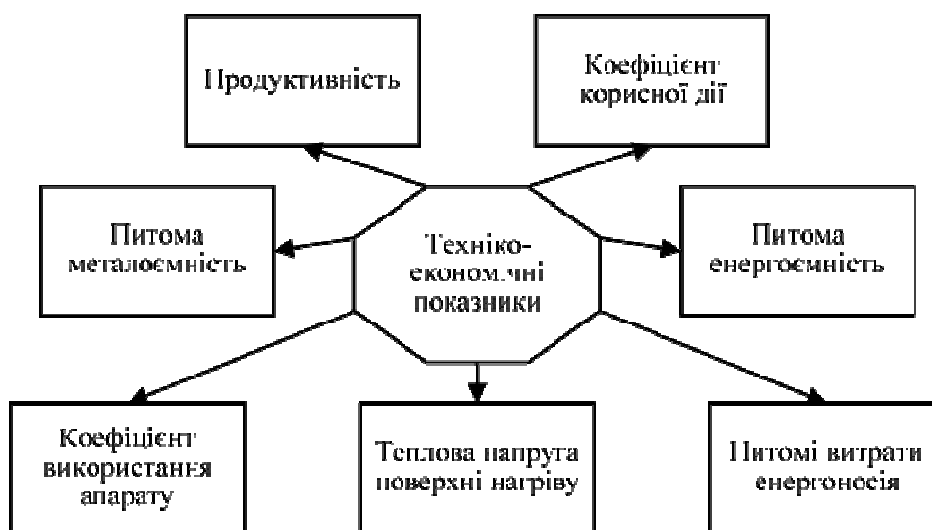


Рисунок 2.6 – Основні техніко-економічні показники теплового обладнання

Продуктивність Q – кількість кулінарної продукції, що отримується в результаті теплової обробки за одиницю часу (кг/год; дм³/год; шт./год тощо)

$$Q = \frac{3600 \cdot G}{\tau}, \quad (2.3)$$

де G – маса продукту, що обробляється в апараті, кг;

τ – тривалість теплової обробки, с.

Коефіцієнт корисної дії апарата – відношення корисної теплоти, що використовується на нагрів продукту (Q_1), до всієї теплоти, що витрачається на роботу апарата ($Q_{\text{вип.}}$):

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_{\text{вип.}}} . \quad (2.4)$$

Питома металоємність m характеризує досконалість конструкції апарата і визначається як відношення маси металоконструкцій апарата (M) до основного параметру, що характеризує апарат, кг/м³, кг/м²:

$$m = \frac{M}{V}; \quad m = \frac{M}{F}, \quad (2.5)$$

де V – об'єм робочої камери, м³;

F – площа робочої поверхні, м².

Питома енергоємність E – відношення потужності апарата (N) до основного параметру, що характеризує апарат, кВт/м³, кВт/м²:

$$E = \frac{N}{V}; \quad E = \frac{N}{F}. \quad (2.6)$$

Коефіцієнт використання апарата $K_{\text{в}}$ – відношення суми тривалості окремих циклів роботи апарата, що проведені за зміну, до тривалості зміни:

$$K_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} n_i \cdot \tau_i}{\tau_{\text{зм.}}}, \quad (2.7)$$

де n_i – кількість i -х циклів роботи апарата за зміну;

τ_i – тривалість i -го циклу роботи, год.

Для апаратів безперервної дії коефіцієнт використання являє собою відношення тривалості роботи апарата до тривалості роботи зміни:

$$K_{\text{в}} = \frac{\tau_1}{\tau_{\text{зм.}}} . \quad (2.8)$$

Питомі витрати енергоносія $E_{\text{нум}}$ – це витрати енергоносія на одиницю готової продукції:

$$E_{\text{нум}} = \frac{A}{n}, \quad (2.9)$$

де A – загальні витрати енергоносія (пара, газ, тверде або рідке паливо, електроенергія);

n – кількість готової продукції за зміну у відповідних одиницях.

Теплова напруга поверхні нагріву T – кількість теплової енергії, яку вилучає одиниця поверхні (об'єму) апарата в одиницю часу:

$$T = \frac{Q_{\text{вип.}}}{F \cdot \tau}. \quad (2.10)$$

2.3. Класифікація теплового обладнання

Теплове обладнання підприємств харчових виробництв класифікується за такими основними ознаками:

- за технологічним призначенням;
- за способом обігріву;
- за джерелом теплоти;
- за принципом роботи;
- за конструктивним рішенням;
- за рівнем автоматизації.

Схематично класифікація теплового обладнання наведена на рис. 2.7.

За *технологічним призначенням* розрізняють універсальне та спеціалізоване теплове обладнання.

До універсального відносять таке обладнання, на якому можна робити всі види теплової обробки. Найбільш повною мірою відповідають різні види кухонних плит. Відносно нещодавно з'явилася нова група теплових шаф, що дозволяють виробляти багато видів теплової обробки, у тому числі варіння на пару, жаріння в сухій та вологій парі, тушкування, бланшування, випікання та ін. Такі шафи отримали назву пароконвектоматів. Умовно їх можна віднести до універсального теплового обладнання.

Спеціалізоване обладнання підрозділяється на варильне, жарильне, водонагрівальне та допоміжне.

До варильного належать різні види стравоварильних котлів, пароварильних апаратів, варильних пристроїв та ін.

До жарильного обладнання відносяться сковороди, фритюрниці, жарильні (пекарні) шафи, різні види грилів тощо.

До водонагрівального обладнання відносяться водонагрівачі, кип'ятильники, кавоварки, апарати для приготування гарячих напоїв тощо.

До допоміжного обладнання відносять теплове обладнання, призначене для підтримки температури готової продукції під час роздачі та реалізації готової продукції: марміти, теплові стійки, диспенсори тощо.

За *способом обігріву* теплове обладнання поділяється на контактне та поверхневе.

Прикладом контактного обладнання є пароварильні апарати, жарильні та пекарні шафи, фритюрниці та ін., в яких продукт нагрівається при безпосередньому контакті з теплоносієм – паром, гарячим повітрям або жиром. Таке обладнання характеризується високою продуктивністю завдяки тому, що нагрівання продукту відбувається одночасно та рівномірно по всій його поверхні.

Обладнання з поверхневим способом обігріву поділяється на обладнання з безпосереднім та непрямим нагріванням.

В обладнанні з безпосереднім обігрівом передача теплоти здійснюється через роздільну стінку. До такого обладнання відносяться сковороди, твердопаливні або газові котли з безпосереднім обігрівом та ін. Його основним недоліком є нерівномірність нагрівання.



Рисунок 2.7 – Класифікація теплового обладнання

В обладнанні з непрямим нагріванням теплообмін між джерелом теплоти та продуктом відбувається через проміжні теплоносії – воду, водяну пару, мінеральну олію тощо. Такий спосіб теплообміну застосовується в деяких типах котлів та сковорідок, у яких проміжний теплоносій знаходиться в замкнутій порожнині між джерелом теплоти та робочою камерою. Це створює більш рівномірне температурне поле, але має більшу теплову інерційність.

За **джерелами теплоти** розрізняють вогневе, газове, парове та електричне теплове обладнання.

За **принципом роботи** розрізняють обладнання періодичної, безперервної та комбінованої дії.

За **конструктивним виконанням** теплове обладнання ділиться на несекційне, секційне, немодульоване та модульоване.

Несекційне обладнання характеризується різною потужністю та розмірами, що ускладнює його раціональне розміщення у робочих приміщеннях, обмежує можливості механізації та автоматизації технологічних процесів.

Секційне обладнання передбачає виготовлення окремих секцій, що легко замінюються та збираються, з різною потужністю та технологічними можливостями. Секційне обладнання дозволяє застосовувати єдиний розмір – модуль, за одиницю якого прийнято $M = 100$ мм. Довжина та ширина окремих секцій має бути кратною цій величині. Зазвичай ширина обладнання для підлоги складає $4M$, висота – 850 мм. Виняток становлять жарильні та пекарні шафи вертикального виконання, висота яких зазвичай становить 1650 мм.

За **ступенем автоматизації** розрізняють неавтоматичне, автоматичне та напівавтоматичне теплове обладнання. При експлуатації неавтоматичного обладнання контроль за його безпечною роботою та дотриманням теплового режиму здійснюється обслуговуючим персоналом. У напівавтоматичному обладнанні безпека роботи забезпечується автоматично, а тепловий режим – вручну. В автоматичному устаткуванні те й інше робиться автоматично. Найкраще автоматизації піддається газове та електричне теплове обладнання.

Літерно-цифрова індексація теплового обладнання. Для теплового обладнання вітчизняного виробництва прийнята літерно-цифрова індексація, наведена на рис. 2.8.

Перша літера означає технологічне призначення обладнання: К – котел, П – плита, Ф – фритюрниця, Ш – шафа тощо. Друга літера позначає одну з найважливіших ознак класифікації, наприклад ПС – секційна плита, КН – кип'ятильник безперервної дії, КП – котел стравоварильний. Третя літера означає тип енергоносія, наприклад КПТ – котел страво-варильний твердопаливний, КНЕ – кип'ятильник безперервної дії електричний. Модульне обладнання позначається літерою М наприкінці літерного маркування. Наприклад, АПЕСМ – апарат пароварильний електричний секційний модульний.

Цифрами позначаються основні типорозміри або техніко-економічні характеристики. Наприклад, КПЕ-60 – котел стравоварильний електричний місткістю 60 дм^3 , КНТ-200 – кип'ятильник безперервної дії твердопаливний продуктивністю 200 кг/год.

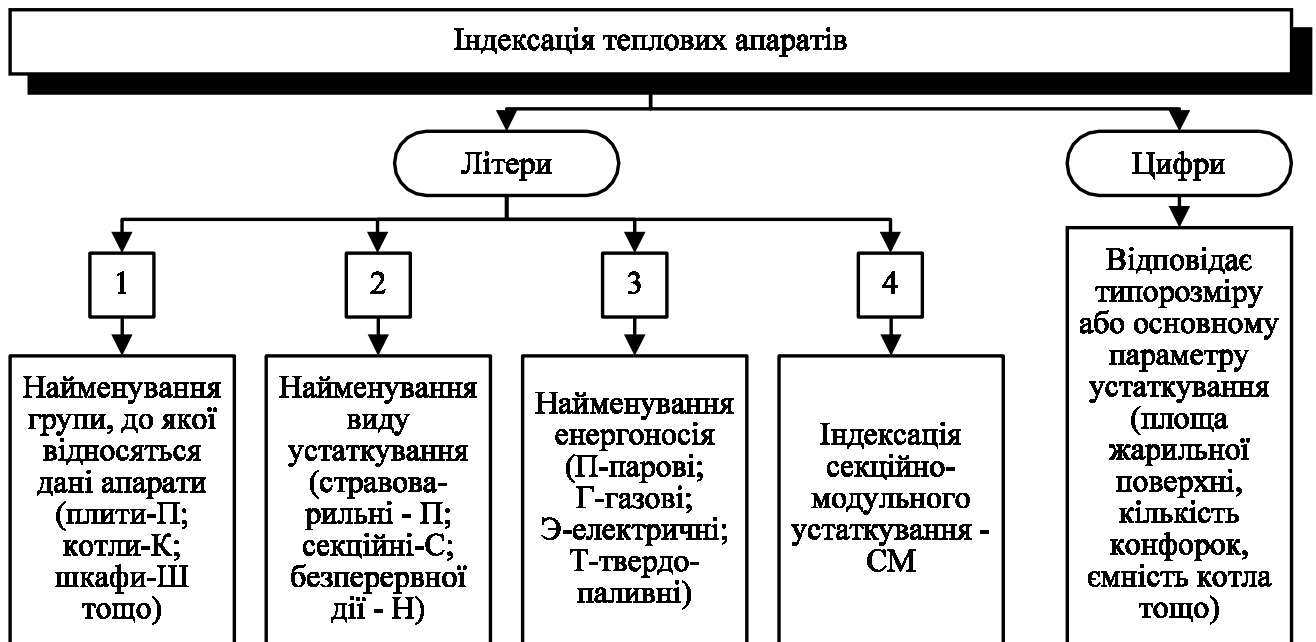


Рисунок 2.8 – Літерно-цифрова індексція теплового обладнання

Відповідно з класифікаційною схемою і стандартами, прийнято індексцію теплообмінних апаратів, що дає відомості про їх призначення, тип, виконання, основні параметри та розміри. Далі розглянемо індексцію кожухотрубних теплообмінників. За технологічним призначенням перед-бачають чотири види кожухотрубних апаратів: випарники В, конденсатори К, холодильники Х і теплообмінники Т. Друга літера умовної позначки показує наявність конструкційних пристроїв для компенсації температурних деформацій: Н – з нерухомими трубними решітками; К – з температурним компенсатором на кожусі; П – з плаваючою головкою; У – з U-подібними трубами; ПК – з плаваючою головкою і компенсатором на ній. Теплообмінники повинні вироблятися в такому виконанні: Г – горизонтальні; В – вертикальні; для вибухо- і пожежобезпечних середовищ та середовищ, що не мають токсичності – група А, для вибухо- і пожежонебезпечних середовищ та середовищ із токсичністю – група Б. Виготовлення теплообмінника за видом матеріалів вказане в ДГСТ 15122-79, ДГСТ 14245-69. Теплообмінники можуть бути виготовлені одно-, дво-, чотири-, шестиходовими у трубному просторі, з перегородками або без них у міжтрубному просторі.

Наприклад, умовна позначка теплообмінника Т типу Н горизонтального Г, з кожухом діаметром 800 мм на умовний тиск 16 МПа, виконання за видом матеріалу М1, з теплообмінними трубами діаметром 20 мм і довжиною 6 м, чотириходового, для вибухо- і пожежонебезпечних середовищ: теплообмінник 800 ТНГ-16-М1-0/20-6-4 гр. Б (ДГСТ 15122-79).

2.4. Конструкції теплообмінних апаратів

Теплообмінники із оболонками. Дані апарати із оболонками дуже часто застосовуються для періодичного нагрівання або охолодження (наприклад, для підігрівання та уварювання кондитерських мас). Технологічний процес у них може

здійснюватися під тиском (автоклави), під розрідженням (вакуум-апарати) і при атмосферному тиску (варильні котли).

Апарати мають циліндричні, сферичні або плоскі подвійні стінки, що утворюють герметично замкнений простір – водяну або парову оболонку. Для інтенсифікації теплообміну з боку продукту, що обробляється, апарати можуть обладнуватися механічними мішалками, а для вивантаження продукту – пристроєм для перевертання. Звичайно апарати з паровою оболонкою працюють під тиском, що не перевищує 0,5 МПа.

Кожухотрубні теплообмінники.

Ці теплообмінники в харчових виробництвах отримали найбільше застосування завдяки своїй компактності, простоті у виготовленні та надійності у роботі. Вони використовуються для теплообміну між потоками у різноманітних агрегатних станах: пара-рідина, рідина-рідина, газ-газ, газ-рідина.

На рис. 2.9 показано вертикальний одноходовий теплообмінник, що складається з циліндричного корпусу (або кожуха) 1 та приварених до нього трубних решіток 2 з пучком труб 3. Пучок труб поділяє весь об'єм корпусу теплообмінника на трубний простір, укладений всередині гріючих труб, та міжтрубний простір.

До корпусу приєднані герметично за допомогою прокладок 8 і болтового сполучення 7 два днища 5. Для введення та виведення теплоносії корпус і днища мають патрубки 4. Один потік теплоносія, наприклад, рідина, спрямовується в трубний простір, проходить по трубках і виходить із теплообмінника через патрубок у верхньому днищі. Інший потік теплоносія, наприклад пара, рухається у міжтрубному просторі теплообмінника, омиваючи ззовні пучок гріючих труб. При цьому середовище, що гріється, спрямовують знизу вгору, а середовище, що віддає теплоту, – в протилежному напрямку.

Гріючі труби з'єднуються з трубними решітками зварюванням, пайкою або розвальцьовані в них. Гріючі труби виготовляють із сталі, міді або латуні. Труби в решітках, звичайно, розміщують рівномірно по периметрах правильних шестикутників, що забезпечує компактність розташування. Інколи труби розміщують по концентричних колах. За необхідності забезпечення очищення зовнішніх поверхонь труб застосовується коридорне розташування – по боках квадратів.

Теплообмінник, зображений на рис. 2.9, є вертикальним, одноходовим. Унаслідок великого сумарного прохідного перерізу труб і міжтрубного простору

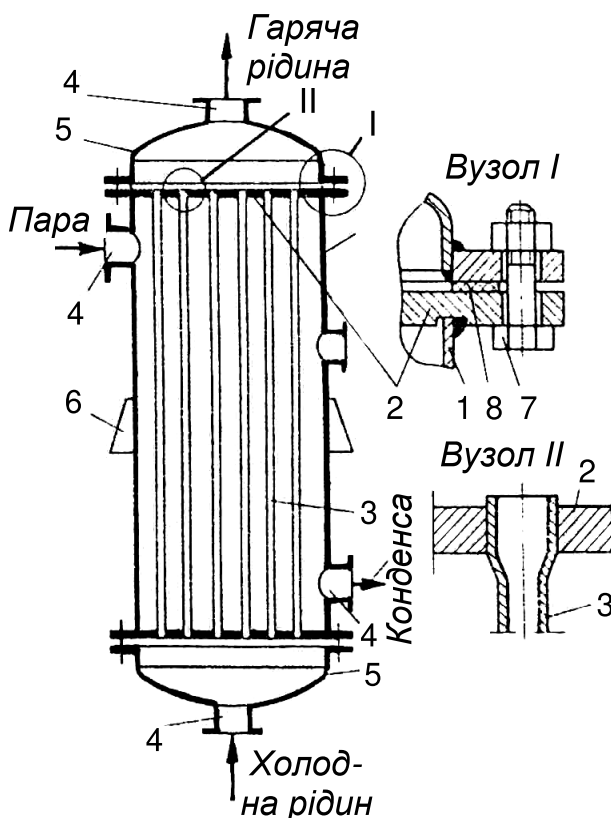


Рисунок 2.9 – Кожухотрубний теплообмінник

швидкості протікання теплоносіїв невеликі, і коефіцієнти тепловіддачі в цьому теплообміннику порівняно низькі. Для збільшення швидкості протікання (інтенсифікації теплообміну) у трубному і міжтрубному просторах встановлюють перегородки, які зменшують переріз потоку теплоносіїв.

На рис. 2.10 подано багатоходовий теплообмінник, що має два ходи у трубному просторі та п'ять ходів у міжтрубному. Кожухотрубні теплообмінники розташовуються вертикально або горизонтально за допомогою опорних лап. За різниці температур між теплоносіями понад 50°C за рахунок неоднакових температурних подовжень у зварювальних швах приєднання кожухів до трубних решіток, а також у місцях приєднання труб у решітках виникають значні напруження, що можуть перевищити межу міцності матеріалу. У результаті з'являються нещільності, порушується герметичність. Для компенсації неоднакового подовження труб і корпусу апарата застосовують конструкції теплообмінників із лінзовими компенсаторами, з плаваючою головкою, з U-подібними трубами, а також із сальниковими пристроями. Поверхня нагрівання кожухотрубних теплообмінників може складати 1200 м^2 з довжиною труб від 1 до 9 м; умовний тиск досягає 6,4 МПа.

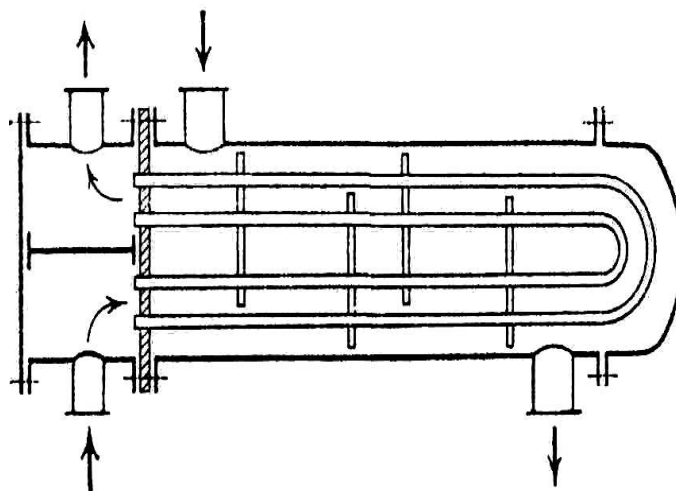


Рисунок 2.10 – Багатоходовий кожухотрубний теплообмінник з U-подібними трубками

Елементні теплообмінники. Найпростіший двотрубний теплообмінник типу «труба в трубі» (рис. 2.11) складається з двох труб: внутрішньої труби 1 меншого діаметра і зовнішньої труби 4 більшого діаметра. Звичайно складають послідовно один із іншим у батарею декілька таких простих теплообмінних елементів за допомогою фланцевих з'єднань 3 і колін (калачів) 2.

У двотрубних теплообмінниках можна створити високі швидкості теплоносія та продукту. У зв'язку з цим апарати характеризуються порівняно високим коефіцієнтом теплопередачі. Проте ці теплообмінники громіздкі та металомісткі.

Змійовикові теплообмінники. Теплообмінний елемент – змійовик – це труба 1, зігнута будь-яким чином і поміщена в посудину 2 (рис. 2.12). При цьому змійовик занурено в рідину, яка нагрівається або охолоджується теплоносієм, що рухається по змійовику. У змійовиковому вакуум-апараті для уварювання кондитерських мас по змійовику проходить

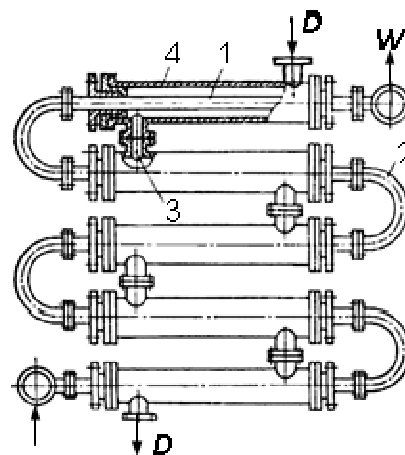


Рисунок 2.11 – Теплообмінник типу «труба в трубі»

продукт. Змійовикові теплообмінники виготовляються з плоским змійовиком або зі змійовиком, зігнутим у вигляді гвинтової лінії.

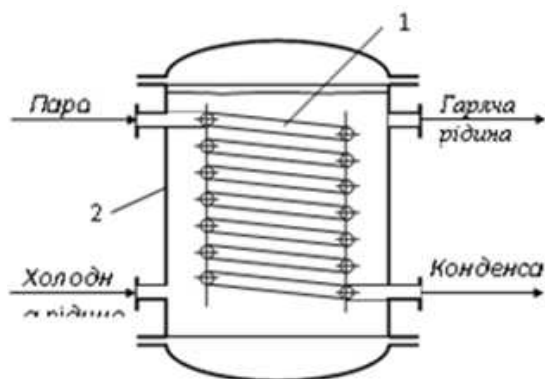


Рисунок 2.12 – Змійовиковий теплообмінник

Теплообмінники відрізняються простотою конструкції. У той же час у них ускладнено очищення внутрішньої поверхні зігнутої труби, змійовик має великий гідравлічний опір.

Зрошувальні теплообмінники. Зрошувальний теплообмінник (рис. 2.13) – це змійовик 2, зігнутий у вертикальній площині, розподільний жолоб з отворами 1 та піддон 3. Рідина з розподільного жолоба витікає на верхній виток змійовика, омиває зовнішню поверхню труб змійовика та стікає в піддон під змійовиком. Залежно від температури середовища, що протікає всередині змійовика, рідина, що омиває трубки, нагрівається або охолоджується.

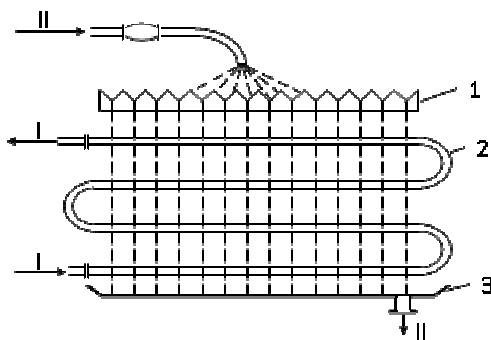


Рисунок 2.13 – Зрошувальний теплообмінник

Позитивна якість цих теплообмінників полягає в простоті обслуговування і невеликій витраті охолоджуючого агента (води), що використовується багаторазово. Недоліки зрошувальних теплообмінників: громіздкість, значна металомісткість та низькі значення коефіцієнта теплопередачі. Застосовуються для охолодження пива, молока та інших рідин, у холодильній техніці як конденсатор.

Спіральні теплообмінники. У спіральному теплообміннику (рис. 2.14) поверхня теплообміну утворюється двома металевими листами 1 і 2, згорнутими у вигляді спіралі. Внутрішні кінці листів приварені до глухої перегородки 3, а їхні зовнішні кінці зварені один із одним.

Торці спіралі закриті встановленими на прокладках плоскими кришками 4. Біля зовнішніх кінців спіралей та в центрі кришки приварені патрубки для введення і виведення теплоносіїв.

Спіральний теплообмінник має високий коефіцієнт теплопередачі, незначний гідравлічний опір і вирізняється компактністю. Проте він складний у виготовленні та непридатний для роботи під тиском більше 1 МПа.

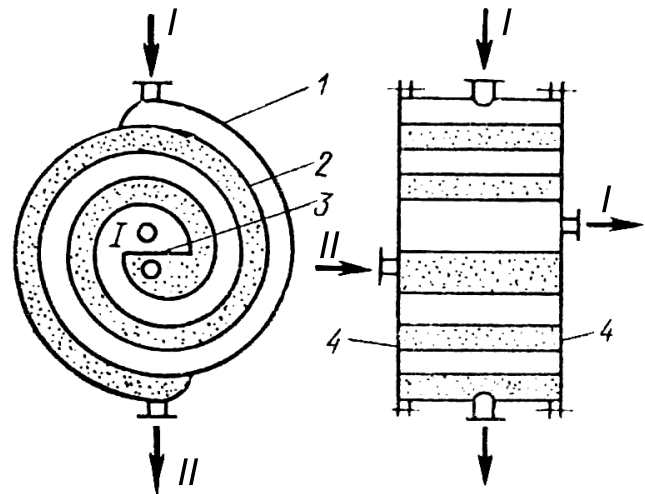


Рисунок 2.14 – Спіральний теплообмінник

Пластинчаті теплообмінники знайшли широке застосування для охолодження та підігрівання різноманітних рідин (молока, соків, вина, пива та ін.) з робочими температурами до 300° С з тиском до 1,6 МПа.

Теплообмінник (рис. 2.15) складається з пакету гофрованих металевих пластин. Між пластинами утворюються герметичні канали 1, в яких здійснюється протиточна течія гарячого і холодного теплоносіїв. Пластини гофровані для того, щоб збільшити поверхню теплообміну і створити турбулентну течію рідини у вузьких каналах, відстань між якими дорівнює 3...10 мм. Пластини відокремлюються одна від одної прокладками 2 і мають два отвори по кутах для входу і виходу одного теплоносія, що циркулює в герметичному каналі. Через два інших куткових отвори в пластині втікає і витікає інший теплоносій. Пластини стягнуті зажимами.

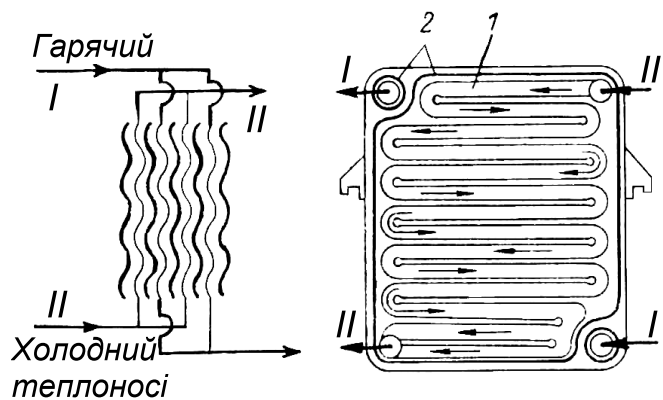


Рисунок 2.15 – Пластинчатий теплообмінник

Унаслідок високих швидкостей руху рідини між пластинами досягається високе значення коефіцієнта теплопередачі з малим гідравлічним опором.

Випускаються різноманітні модифікації теплообмінників цього типу з пластинами зі сталі різних марок, алюмінію, титану та інших металів, розбірної та нерозбірної конструкцій з поверхнями теплообміну від 0,4 до 600 м².

2.5. Розрахунок теплообмінників

Розрізняють два види розрахунку теплообмінників: проектний і перевірний. Проектний розрахунок виконується при проектуванні нового теплообмінника, коли задано кількість продукту, що охолоджується або нагрівається, і його параметри. Мета проектного розрахунку – визначення необхідної поверхні теплообміну, витрати теплоносія або холодоагенту,

конструктивних розмірів обраного апарата, його гідравлічного опору та механічної міцності.

За допомогою перевірного розрахунку виявляють можливість використання наявних теплообмінників в умовах заданого процесу і визначають умови, що забезпечують оптимальний режим роботи апарата.

Проектний розрахунок включає вибір типу та конструкції теплообмінного апарата, тепловий, конструктивний, гідравлічний, механічний та техніко-економічний розрахунки.

Тепловий розрахунок теплообмінників полягає у визначенні необхідної поверхні теплообміну з основного рівняння теплопередачі.

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{сер.}}, \quad (2.11)$$

де Q – теплове навантаження теплообмінного апарата, Вт; K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); $\Delta t_{сер.}$ – середній температурний напір, °С.

Визначення теплового навантаження і витрат теплоносіїв. Теплове навантаження теплообмінника визначають з рівняння теплового балансу. Рівняння теплового балансу в загальному вигляді без обліку втрат теплоти в довкілля (що звичайно не перевищують 5%), виражається рівністю:

$$Q = Q_{прих} = Q_{вит}, \quad (2.12)$$

де $Q_{прих}$ – кількість теплоти, відданої гарячим теплоносієм, Вт; $Q_{вит}$ – кількість теплоти, одержаної холодним теплоносієм, Вт.

Залежно від конкретного процесу теплові баланси мають різний вигляд.

– теплообмін протікає без зміни агрегатного стану теплоносіїв

Тоді:

$$Q_{прих} = G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1к}), \quad (2.13)$$

$$Q_{вит} = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n}), \quad (2.14)$$

де G_1 – витрата гарячого теплоносія, кг/с; c_1 – середня питома теплоємність гарячого теплоносія, Дж/(кг·К); t_{1n} і $t_{1к}$ – початкова і кінцева температури гарячого теплоносія, °С; G_2 – витрата холодного теплоносія, кг/с; c_2 – середня питома теплоємність холодного теплоносія, Дж/(кг·К); t_{2n} і $t_{2к}$ – температура холодного теплоносія на вході в апарат і на виході з нього, °С.

Таким чином, рівняння теплового балансу набуде вигляду:

$$G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1к}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n}). \quad (2.15)$$

З рівняння (2.15) визначається витрата теплоносіїв або невідома температура одного з теплоносіїв. Наприклад, якщо невідома витрата холодного теплоносія (для холодильників), вона визначається, як:

$$G_2 = \frac{G_1 c_1 (t_{1n} - t_{1к})}{c_2 (t_{2к} - t_{2n})}. \quad (2.16)$$

За необхідності визначення кінцевої температури гарячого теплоносія, отримаємо:

$$t_{1к} = t_{1n} - \frac{G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n})}{G_1 c_1}. \quad (2.17)$$

– теплообмін протікає при зміні агрегатного стану одного з теплоносіїв (наприклад: нагрівання холодного теплоносія відбувається за рахунок конденсації гріючої водяної пари). Теплове навантаження визначиться виразами:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{прих}} &= D(i_{1n} - i_{1к}) = D \cdot r, \\ Q_{\text{вум}} &= G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n}). \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

Рівняння теплового балансу:

$$D(i_{1n} - i_{1к}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n}) \quad (2.19)$$

або

$$D \cdot r = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n}),$$

де D – витрата пари, кг/с; i_{1n} – ентальпія гріючої пари (визначається з таблиць насиченої водяної пари), Дж/кг; $i_{1к}$ – ентальпія конденсату, Дж/кг; r – теплота пароутворення (конденсації) води, Дж/кг.

Тоді витрата гріючої пари:

$$D = \frac{G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n})}{(i_{1n} - i_{1к})} = \frac{G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n})}{r}. \quad (2.20)$$

Якщо врахувати тепловтрати від стінок апарата в довікля $Q_{\text{вт}}$, що складають 2...5% від підведеної теплоти, за допомогою коефіцієнта $\eta = 0,95...0,98$, то рівняння теплового балансу запишеться так:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{вум}} + Q_{\text{вт}}.$$

Вираз (2.20) зміниться на такий:

$$D = \frac{G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n})}{(i_{1n} - i_{1к}) \eta} = \frac{G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2n})}{r \cdot \eta}. \quad (2.21)$$

– теплообмін протікає при зміні агрегатного стану обох теплоносіїв (наприклад, у випарникові). Нагрівання холодного теплоносія здійснюється зі зміною його агрегатного стану, тобто рідина переходить у пару, в той же час гарячий теплоносій (наприклад, насичена пара), віддаючи теплоту, також змінює агрегатний стан – конденсується:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{прих}} &= D(i_{1n} - i_{1к}), \\ Q_{\text{вум}} &= Q_n + Q_g + Q_{\text{вт}}, \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

де Q_n – теплота, що витрачається на нагрівання холодного теплоносія до температури кипіння, Вт; Q_g – теплота, що витрачається на випаровування киплячої рідини, Вт.

$$Q_n = Gc(t_s - t_1), \quad (2.23)$$

$$Q_g = G \cdot r, \quad (2.24)$$

де G – витрата холодного теплоносія, кг/с; c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К); t_s – температура кипіння холодного теплоносія, °С; t_1 – початкова температура холодного теплоносія, °С; r – теплота пароутворення теплоносія, Дж/кг.

Рівняння теплового балансу:

$$D(i_{1n} - i_{1к})\eta = Gc(t_s - t_1) + G \cdot r. \quad (2.25)$$

Витрата гріючої пари, (кг/с):

$$D = \frac{Gc(t_s - t_1) + G \cdot r}{(i_{1n} - i_{1к}) \cdot \eta}. \quad (2.26)$$

– при конденсації перегрітої пари з подальшим охолодженням конденсату теплове навантаження буде дорівнювати:

$$Q_{прих} = Q_{пер} + Q_{конд} + Q_{охол}, \quad (2.27)$$

де $Q_{пер}$ – теплота, що виділяється під час охолодження перегрітої пари від t_{nn} до насиченого стану $t_{nn} = t_s$, Вт; $Q_{конд}$ – теплота, що виділяється під час конденсації насиченої пари, Вт; $Q_{охол}$ – теплота, що виділяється під час охолодження гарячої рідини від t_s до заданої температури t_1 , Вт.

Теплота від гарячого теплоносія частіше за все відводиться холодною водою:

$$Q_{вит} = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2н}).$$

Якщо

$$Q_{пер} = G_1 c_p (t_{nn} - t_s), \quad (2.28)$$

$$Q_{конд} = G_1 r_1, \quad (2.29)$$

$$Q_{охол} = G_1 c_1 (t_s - t_1), \quad (2.30)$$

то рівняння теплового балансу набуде такого виду:

$$G_1 c_p (t_{nn} - t_s) + G_1 r_1 + G_1 c_1 (t_s - t_1) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2н}), \quad (2.31)$$

де G_1 – витрата гарячого теплоносія, кг/с; c_p – масова теплоємність перегрітої пари при постійному тиску, Дж/(кг·К); r_1 – теплота конденсації гарячого теплоносія, Дж/кг; c_1 – масова теплоємність рідкого гарячого теплоносія, Дж/(кг·К).

Якщо вода, що охолоджується, подається в міжтрубний простір і зовнішні стінки апарата мають температуру, що мало відрізняється від температури навколишнього середовища, то теплові втрати дуже малі й тому їх не враховують.

З рівняння (7.20) визначається витрата води, що охолоджує:

$$G_2 = \frac{G_1 c_p (t_{nn} - t_s) + G_1 r_1 + G_1 c_1 (t_s - t_1)}{c_2 (t_{2к} - t_{2н})}. \quad (2.32)$$

Якщо у процесі теплообміну є додаткові умови, а ускладнюють процес, наприклад, додатковий прибуток або витрата теплоти за рахунок хімічних реакцій чи перетворень речовини, то під час обчислення теплового балансу їх треба врахувати.

Визначення рушійної сили теплообміну (середньої різниці температур). Розрахунок температурного режиму теплообмінного апарата складається з визначення середньої різниці температур, обчислення середніх температур теплоносіїв (робочих середовищ), а також визначення температури стінок апарата. Під час розрахунку температурного режиму теплообмінника необхідно спочатку встановити характер зміни температур теплоносіїв, обрати схему їхнього руху так, щоб отримати більшу середню різницю температур. Це

забезпечить найсприятливіші умови теплопередачі та мінімальну температуру стінок апарата.

Величина середнього температурного напору залежить від схеми руху теплоносіїв вздовж поверхні теплообміну. Середній температурний напір під час проточечії та протитечії, а також із постійною температурою одного з теплоносіїв визначається як середньологарифмічна різниця:

$$\Delta t_{\text{сер.}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \lg \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} \right)},$$

де Δt_{δ} , $\Delta t_{\text{м}}$ – більша і менша різниці температур між гарячим і холодним теплоносіями на кінцях теплообмінника.

Якщо $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} < 2$, то середній температурний напір визначається як середньоарифметична величина:

$$\Delta t_{\text{сер.}} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2}.$$

Для складних схем руху теплоносіїв, тобто під час перехресного та змішаного потоків, потрібно визначити середню різницю температур так же, як під час протитечії, а після цього ввести поправний коефіцієнт $\epsilon_{\Delta t}$. Величина $\epsilon_{\Delta t}$ лежить у межах 0,65...1,0.

Середня різниця температур під час періодичного процесу нагрівання (або охолодження) в апараті:

$$\Delta t_{\text{сер.}} = \frac{t'_1 - t'_2}{2,3 \lg [(t'_1 - t''_1) / (t''_2 - t'_2)]} \cdot \frac{A - 1}{2,3 \lg A}, \quad (2.33)$$

де t'_1 і t''_1 – початкова та кінцева температури рідини, що нагріває, °C; t'_2 і t''_2 – початкова і кінцева температури теплоносія що нагрівається, °C.

$$A = \frac{(t - t''_1)}{(t - t''_2)}, \quad (2.34)$$

де t – температура гріючого (або охолоджуючого) теплоносія в будь-який момент часу, °C.

Визначення коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі. Для деяких конструкцій теплообмінників є свої специфічні рівняння. Так, наприклад, коефіцієнт тепловіддачі під час руху рідкого теплоносія в міжтрубному просторі кожухотрубних теплообмінників визначається за рівнянням

$$Nu = c (d_e Re)^{0,6} Pr^{0,33}, \quad (2.35)$$

де коефіцієнт $c = 1,16$, якщо немає перегородок, і $c = 1,72$, якщо є сегментні перегородки; d_e – еквівалентний діаметр міжтрубного простору, м.

У рівнянні (2.35) визначальним розміром є еквівалентний діаметр.

Коефіцієнт тепловіддачі в апаратах зі змійовиками, оболонками та мішалкою визначається за рівнянням:

$$Nu = cRe^m Pr^{0,33} \left(\frac{\eta}{\eta_{cm}} \right)^{0,14} \cdot \Gamma^{-1}, \quad (2.36)$$

де $Nu = \alpha d_m / \lambda$; $Re = \rho n d_m^2 / \eta$; $\Gamma = D / d_m$; D – діаметр посудини, м; n – частота обертання мішалки, $1/c$; d_m – діаметр кола, що обмітається мішалкою, м; η_{cm} і η – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини відповідно за температури стінки оболонки або зміювика і за середньої температури, що дорівнює $0,5 (t_{c.p.} + t_{cm})$. Коефіцієнт теплопередачі для плоскої поверхні теплообміну визначається за формулою:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)}.$$

Як вже було відзначено, це рівняння можна з достатнім ступенем точності застосовувати для розрахунку теплопередачі через циліндричну стінку (при $d_3 / d_6 < 2$).

Вплив забруднення поверхні теплообміну враховують введенням коефіцієнта використання поверхні. Тоді дійсний коефіцієнт теплопередачі буде:

$$K = \varphi K_p, \quad (2.37)$$

де K_p – розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі з чистою поверхнею нагрівання; φ – коефіцієнт використання поверхні теплообміну, що враховує вплив забруднення і неповноту омивання поверхні нагрівання теплоносіями. Для більшості апаратів $\varphi = 0,65 \dots 0,85$.

При визначенні коефіцієнтів тепловіддачі в низці випадків необхідно знати температуру стінки. Оскільки на початку обчислення ця величина невідома, її обирають, а після закінчення обчислення перевіряють за відповідними формулами. Температуру стінки з боку гарячого теплоносія перевіряють за формулою:

$$t_{cm1} = t_1 - \left(\frac{K \Delta t_{cp.}}{\alpha_1} \right), \quad (2.38)$$

де t_1 – температура гарячого теплоносія, °С.

З боку холодного теплоносія:

$$t_{cm2} = t_2 - \left(\frac{K \Delta t_{cp.}}{\alpha_2} \right), \quad (2.39)$$

де t_2 – температура холодного теплоносія, °С.

Конструктивний розрахунок теплообмінників. Завдання конструктивного розрахунку теплообмінних апаратів – визначення їх основних розмірів. Він виконується залежно від типу апарата. Детальний розрахунок проводиться в тому випадку, якщо немає можливості обрати стандартний теплообмінник серійного виробництва. Під час вибору стандартного теплообмінника конструктивний розрахунок зводиться до визначення поверхні теплообміну і основних параметрів. Конструктивний розрахунок кожухотрубного теплообмінника включає розрахунок проточної частини трубного простору, вибір

розміщення труб у трубних решітках, визначення діаметра корпусу апарата і діаметрів штуцерів. Виходячи з заданої продуктивності апарата та швидкості руху знаходять площу прохідного перерізу трубок одного ходу ($у м^2$).

$$S_1 = \frac{G}{\rho v}, \quad (2.40)$$

де G – продуктивність (витрата рідини), кг/с; ρ – густина рідини, кг/м³; v – швидкість руху рідини всередині трубок, м/с.

Число трубок одного ходу:

$$n_1 = \frac{S_1}{0,785 d_6^2}, \quad (2.41)$$

де d_6 – внутрішній діаметр трубки, м. Розрахункова довжина однієї трубки під час одного ходу дорівнює ($у м$):

$$L = \frac{S}{\pi d_p n_1}, \quad (2.42)$$

де d_p – розрахунковий діаметр труби; якщо α_1 і α_2 є величинами одного порядку, то:

$$d_p = 0,5 (d_3 + d_6). \quad (2.43)$$

Якщо $\alpha_1 \gg \alpha_2$ або $\alpha_1 \ll \alpha_2$, то за d_p приймається той діаметр труби, яким визначається поверхня, що омивається теплоносієм з малим α .

Кількість ходів трубного простору визначається як $Z = \frac{L}{l}$, де l – робоча довжина трубок: приймається за ДГСТ 9929-82; рекомендується брати $l = 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000, 9000$ мм.

Загальна кількість трубок, що розміщуються на трубних решітках визначають за формулою:

$$n = Z \cdot n_1.$$

Труби у трубних решітках розміщують по боках правильних шестикутників, квадратів і по концентричних колах. Найбільш розповсюджене розміщення труб по боках правильних шестикутників. При цьому:

$$n = 3a(a + 1) + 1,$$

де a – порядковий номер шестикутника (рахуючи від центру) або кола.

Кількість труб на діагоналі найбільшого шестикутника:

$$b = 2a + 1.$$

Загальна кількість труб повинна бути такою, щоб a та b були цілими числами. Відстань між центрами труб t згідно з ДГСТ 9929-82 залежить від їх діаметра і обирається у такому порядку:

– зовнішній діаметр труб d_3 , мм: 16, 20, 25, 38, 57;

– відстань отворів t , мм: 21, 26, 32, 48, 70;

Внутрішній діаметр корпусу апарата визначається за формулами:

– одноходового

$$D_{\text{вн}} = t(b - 1) + 4d_n \quad \text{або} \quad D_{\text{вн}} = 1,1t\sqrt{n}; \quad (2.44)$$

– багатогодового

$$D_{\text{вн}} = 1,1t \sqrt{\frac{n}{\eta_3}}, \quad (2.45)$$

де $\eta_3 = 0,6 \dots 0,8$ – коефіцієнт заповнення трубної решітки. Розрахункове значення $D_{\text{вн}}$ округляють до найближчого більшого розміру діаметра, що рекомендується ДГСТом або нормами. Загальна висота кожухотрубного теплообмінника дорівнює сумі активної довжини труб і висоті двох розподільчих камер:

$$H = \ell + 2h \quad (2.46)$$

де $h = 200 \dots 400$ – висота розподільчої камери, мм.

Товщина трубних решіток $\delta_{\text{тр}} = 15 \dots 35$ мм залежить від діаметра розвальцьованих труб. Для сталевих решіток мінімальне значення:

$$\delta_{\text{тр}} = \frac{d_3}{8} + 5 \text{ мм}. \quad (2.47)$$

Діаметри патрубків визначають із рівняння витрати:

$$d_n = 1,13 \sqrt{\frac{G}{\rho v}}, \quad (2.48)$$

де G – витрата теплоносія, кг/с; ρ – густина, кг/м³; v – швидкість теплоносія в патрубку (для рідини $v = 0,5 \dots 1,5$; для пари та газів $v = 10 \dots 40$), м/с.

Конструктивний розрахунок теплообмінника типу «труба в трубі» виконується з вихідними даними: поверхнею теплообміну S і довжиною одного елемента l .

Діаметр внутрішньої труби визначається за формулою (2.48).

Внутрішній діаметр зовнішньої труби визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\left(\frac{S_k}{0,785}\right) + d_3^2}, \quad (2.49)$$

де $S_k = G_l / (\rho_l V_l)$ – площа перерізу кільцевого простору, м²; G_l – витрата теплоносія, кг/с; ρ – густина нагріваючого теплоносія, кг/м³; v – швидкість руху нагріваючого теплоносія у міжтрубному просторі, м/с.

Діаметри труб d і D після розрахунку слід прийняти за ДГСТ 9930-78. Перерізи прийнятих труб повинні за необхідності відповідати турбулентному режиму руху рідин ($Re > 10^4$). Якщо за розрахунками $Re < 10^4$, то задають нові швидкості руху теплоносіїв і розрахунки d і D повторюють.

Загальна довжина труби, рахуючи за зовнішнім діаметром,

$$L = \frac{S}{\pi d_3}. \quad (2.50)$$

Приймаючи довжину теплообмінної поверхні рівною довжині кожухової труби, визначається кількість елементів теплообмінника:

$$n = \frac{L}{l_1},$$

де l_1 – прийнята довжина одного елемента (рекомендується 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 9,0; 12,0 м).

Конструктивний розрахунок зміювикових теплообмінників включає визначення загальної довжини L , кількості витків n і висоти H зміювика. Для виконання розрахунку повинні бути задані площа поверхні теплообміну S , середній діаметр трубки d_p , з якої навивається зміювик, діаметр витка зміювика $D_{зм}$ та відстань між осями сусідніх витків h (звичайно $h = (1,5 \dots 2) d_p$).

Загальна довжина трубки зміювика:

$$L = \frac{S}{\pi d_p}.$$

Довжина одного витка:

$$l = \sqrt{(\pi D_{зм})^2 + h^2} \approx \pi D_{зм}. \quad (2.51)$$

Кількість витків зміювика:

$$n = \frac{L}{l}. \quad (2.52)$$

Загальна висота зміювика:

$$H = n \cdot h. \quad (2.53)$$

Внутрішній діаметр D корпусу теплообмінника, куди занурюється зміювик:

$$D = D_{зм} + (3 \dots 4) d_з, \quad (7.54)$$

де $d_з$ – зовнішній діаметр труби зміювика.

Гідрравлічний розрахунок теплообмінників. Метою розрахунку є визначення величини гідрравлічного опору, що вноситься теплообмінником у систему теплотехнічних трубопроводів, і визначення потужності, необхідної для переміщення теплоносіїв. Втрата тиску Δp (у Па) під час проходження теплоносіїв у трубному і міжтрубному просторах складається з втрат на опір тертю Δp_l та на місцеві опори Δp_m , а також залежить від конструкції апарата:

$$\Delta p = \Delta p_l + \Delta p_m = \left(\lambda \frac{L}{d_e} + \Sigma \xi \right) \frac{v^2 \rho}{2},$$

де v – швидкість руху теплоносія, м/с; ρ – густина теплоносія, кг/м³; λ – коефіцієнт тертя; L – довжина труби або каналу, м; d_e – еквівалентний діаметр труби, каналу, міжтрубного простору, м; ξ – коефіцієнт місцевого опору.

Місцеві опори пов'язані з різноманітними змінами форми та перерізів каналу. Значення коефіцієнтів місцевих опорів наведено у відповідних літературних джерелах.

Потужність на валу насоса (або вентилятора), необхідну для переміщення теплоносія через апарат, обчислюють за формулою:

$$N = \frac{G \Delta p}{\rho \eta},$$

де G – масова витрата теплоносія, кг/с; η – ККД насоса (або вентилятора).

Механічний розрахунок теплообмінників. Механічний розрахунок складається з перевірки на міцність окремих вузлів та деталей і зводиться до визначення їх номінальних розрахункових розмірів (товщини стінок, фланців і т. ін.), що повинні забезпечити їм необхідну довговічність. Розрахунок основних

елементів (обичайок, днищ, оболонки, фланців, трубних решіток, опор, компенсаторів, перемішувальних пристроїв) теплообмінних апаратів за однакових умов діючих навантажень здійснюється за одними і тими ж формулами.

Товщина стінки циліндричної обичайки δ (у м), працюючої під внутрішнім тиском, розраховується за формулою:

$$\delta = \frac{p D_e}{2 \beta [\delta] - p} + \delta_c, \quad (2.55)$$

де p – внутрішній тиск в апараті, МПа; D_e – внутрішній діаметр посудини або апарата, м; β – коефіцієнт міцності зварних сполучень ($\beta = 0,65 \dots 0,85$); $[\delta]$ – напруга, що допускається при розтягуванні для матеріалу стінки апарата, МПа; δ_c – надбавка на корозію до товщини стінки апарата ($\delta_c = 0,001 \dots 0,004$ м).

2.6. Основні напрямки вдосконалення теплового обладнання

У сучасних умовах розвитку харчових виробництв важливі завдання зі збільшення продуктивності, зниження витрат фізичної праці, зменшення собівартість продукції та збільшення прибутковості підприємства вирішуються завдяки раціональній організації виробництва та точному підбору техніки.

Основні тенденції, що характеризують перспективний розвиток обладнання, такі:

1. Використання функціональних ємностей, що забезпечують значне зменшення кількості проміжних переміщень їжі на всіх етапах її приготування.

2. Введення транспортних засобів для переміщення функціональних ємностей – стелажів, контейнерів, візків з платформою для підняття.

3. Створення принципово нових видів високопродуктивного устаткування: багатоярусні жарильні та теплові шафи; пересувні котли із стаціонарними парогенераторами; прямокутних стравоварильних котлів та ін.

4. Використання блочної та універсальної конструкції устаткування, що дозволяє забезпечити його в лінії будь-якої заданої технологічної послідовності.

5. Наявність високого коефіцієнту використання корисних об'ємів та поверхоень устаткування за їх повної відповідності розмірам функціональних ємностей.

6. Розробка нових технічних рішень: підвісного принципу установки устаткування на фермах із звільненням нижньої зони за значного скорочення кількості комунікацій, введення збірно-розбірних підставок для устаткування за його напільного виконання, конструкції варильних судин стравоварильних котлів із введенням багатоканальної системи, автоматизованого переливу рідких продуктів з одночасним проціджуванням із стравоварильних котлів, введення оптимальних автоматичних режимів для процесів жарки, варки та зберігання їжі.

7. Упорядкування номенклатури устаткування на базі аналізу норм оснащення закладів ресторанного господарства.

Для зменшення використання виробничої площі, для забезпечення послідовності технологічного процесу та зручності його стадій, для зменшення непродуктивного переміщення персоналу та підвищення продуктивності праці розроблено устаткування, яке відповідає певним стандартам. До основи

конструкції таких апаратів закладено єдиний розмір – модуль $M-100 \pm 10$ мм. Висота апаратів визначена з урахуванням середнього зросту людини і складає 850 ± 10 мм. Довжина та ширина апаратів повинні бути кратними модулю.

Контрольні запитання

- 1) Назвіть основні конструктивні елементи теплових апаратів.
- 2) Наведіть та дайте пояснення принциповій схемі умовного теплового апарату.
- 3) Наведіть основні вимоги до теплового обладнання.
- 4) Наведіть вимоги до матеріалів, що застосовуються для виготовлення теплових апаратів.
- 5) Наведіть основні техніко-економічні показники теплового обладнання.
- 6) Наведіть класифікацію теплового обладнання.
- 7) Дайте пояснення літерно-цифровій індексації теплового обладнання.
- 8) Яка індексація застосовується для кожухотрубних теплообмінників?
- 9) Яку конструкцію мають теплообмінники із оболонками?
- 10) Яку конструкцію мають кожухотрубні теплообмінники?
- 11) Схема та принцип роботи багатоходового кожухотрубного теплообмінника з U-подібними трубками.
- 12) Схема та принцип роботи теплообмінника типу «труба в трубі».
- 13) Схема та принцип роботи змієвикового теплообмінника.
- 14) Схема та принцип роботи зрошувального теплообмінника.
- 15) Схема та принцип роботи спірального теплообмінника.
- 16) Схема та принцип роботи пластинчатого теплообмінника.
- 17) Які існують види розрахунку теплообмінників?
- 18) У чому полягає тепловий розрахунок теплообмінників?
- 19) Як визначається рушійна сила теплообміну?
- 20) Як визначаються коефіцієнти тепловіддачі та теплопередачі?
- 21) Як здійснюється гідравлічний розрахунок теплообмінників?
- 22) Як здійснюється механічний розрахунок теплообмінників?
- 23) Які основні напрямки вдосконалення теплового обладнання?

Лекція № 3 **ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ТЕПЛОНОСІЇ**

План

1. Характеристика джерел теплової енергії та теплоносіїв.
2. Класифікація та характеристика основних видів електронагрівачів.
3. Способи підключення електронагрівачів.
4. Газові пальники.
5. Парові нагрівальні елементи.
6. Твердо- та рідинно-паливні нагрівачі.

3.1. Характеристика джерел теплової енергії та теплоносіїв

Джерелами теплоти, що надходить в апарати для нагрівання харчових продуктів, можуть бути речовини або енергетичні поля, які в результаті тих чи інших перетворень перетворюються на теплоту. Їх називають енергоносіями.

Основні види енергоносіїв наведені на рис. 3.1.

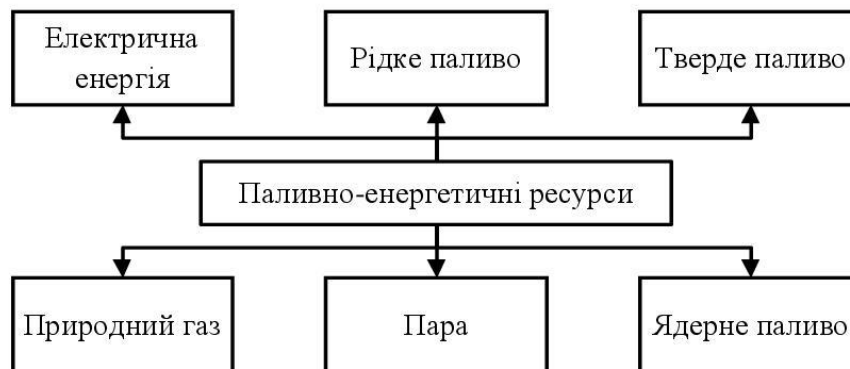


Рисунок 3.1 – Основні види енергоносіїв у тепловому обладнанні

Паливом називаються складні органічні сполуки, під час згорання котрих виділяється теплота. Основні види палива наведені на рис. 3.2.

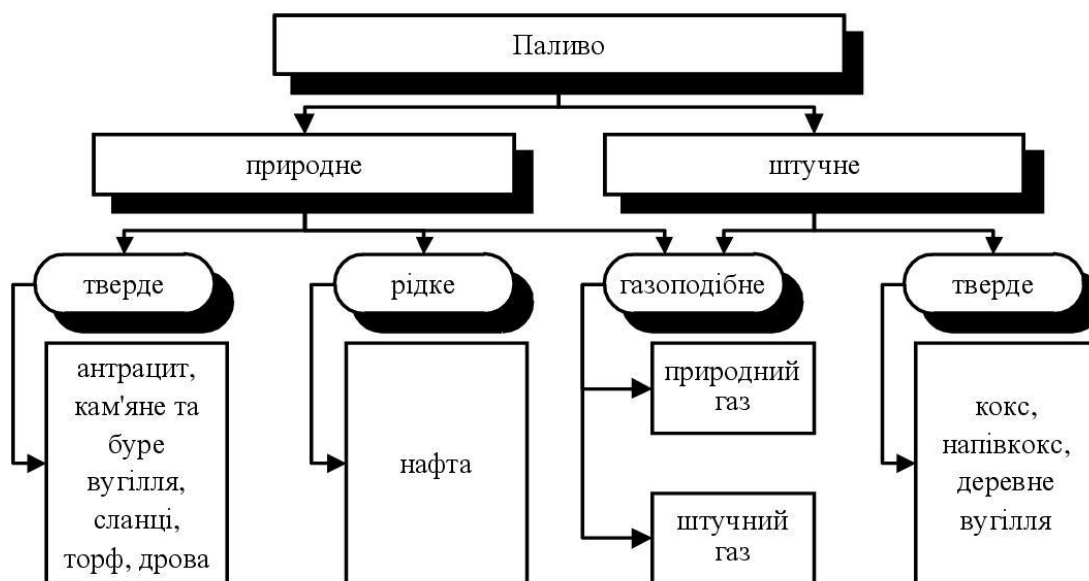


Рисунок 3.2 – Основні види палива

Джерела теплоти, що застосовуються в тепловому устаткуванні, поділяються на такі основні типи:

- тверде та рідке паливо;
- газоподібне паливо;
- електронагрівачі.

До твердого палива відносяться вугілля, дрова, торф, горючі сланці. Вугілля є висококалорійним видом твердого палива. Його температура горіння

в окислювальній атмосфері може досягати понад 2000 °С. Інші види твердого палива мають нижчу калорійність та їх температура горіння не перевищує 1000–1200 °С. Тверде паливо є найдешевшим та найдоступнішим із усіх джерел теплоти, але характеризується низкою надоліків. До основних із них належать:

- висока зольність та у зв'язку з цим низькі екологічні та санітарні характеристики;
- небезпека виділення чадного газу при неповному згорянні палива;
- низький ККД (не більше 30%);
- складність регулювання та підтримки заданої температури теплової обробки;
- висока пожежна небезпека тощо.

Теплове обладнання, що працює на рідких продуктах нафтопереробки – мазуті, солярці, гасі тощо., відрізняється від твердопаливного більшим ККД, можливістю плавного регулювання теплоти, меншими габаритами та ін.

Наразі теплове обладнання, що працює на твердому та рідкому паливі, застосовується рідко, в основному для організації харчування в польових умовах, на залізничному та водному транспорті, а також у населених пунктах, де немає електро- та газопостачання.

До газоподібного палива належать природні гази. Характеристика паливних газів наведена на рис. 3.3.

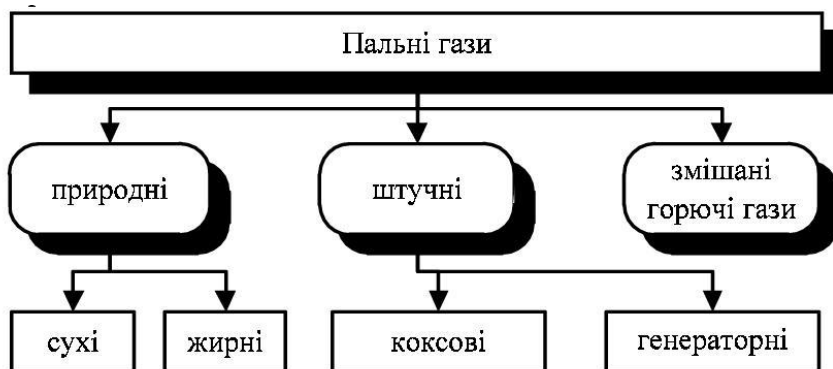


Рисунок 3.3 – Характеристика паливних газів

Природними називають гази, що знаходяться в надрах земної кори. Вони складаються переважно з метану (90...98 %) та видобуваються або з чисто газових родовищ, які не містять нафти, та вважаються «сухими», або з нафтогазових родовищ.

Гази, що супроводжуються нафтою в родовищах та містять крім метану важкі вуглеводні, що легко конденсуються, називають «жирними».

З жирних природних газів одержують скраплені гази відділенням важких вуглеводнів – пропану та бутану. Дані гази конденсуються за тиску понад 0,6 МПа (6 атм). Тому їх зберігають та транспортують до споживача у спеціальних цистернах або балонах. При зниженні тиску рідина випаровується та в газоподібному стані спалюється у пальниках.

Коксовий газ – супутній продукт виробництва коксу.

Генераторний газ – газ, що отримують в результаті генераторного процесу, який здійснюється в газогенераторах. Цей процес являє собою термічну обробку твердого палива в присутності окислювача (вільного або зв'язаного кисню з водяною парою) з переведенням всієї горючої частини палива в газ.

Зріджені гази – це пропанбутанові фракції, що витягаються з газів нафтових та газоконденсатних родовищ. За атмосферних умов ці фракції знаходяться в газоподібному стані, за підвищеного тиску або за низьких температур – в рідкому. Зріджений газ зберігають в балонах за тиску 0,8...1,0 МПа та температури 20 °С.

Зріджені гази застосовують у тих випадках, коли підприємства позбавлені системи централізованого газопостачання, а також на пересувних підприємствах громадського харчування, які працюють у «польових» умовах.

Системи газопостачання підприємств харчових виробництв працюють при тисках до 2000 Па (0,2 атм) та належать до систем низького тиску. Основою системи є газопровід – розгалужений канал зі сталевих труб, що транспортує газ від входу до будівлі апаратів.

У порівнянні з твердим та рідким паливом природні гази мають такі основні переваги:

- велика теплотворна здатність (температура горіння в окисному середовищі може досягати 3000 °С);
- високий ККД (до 70%);
- можливість плавного регулювання температурного режиму;
- низька теплова інерційність;
- можливість автоматизації роботи обладнання;
- найкращі санітарно–гігієнічні умови роботи обладнання;
- менші габаритні розміри обладнання порівняно з твердопаливним.

Завдяки перерахованим перевагам газове теплове обладнання нині має значне поширення. Головними недоліками газоподібного палива є вибухонебезпечність та шкідливий вплив на здоров'я людини у разі витоку газу або його неповного згорання.

Для транспортування теплоти на певні відстані використовують спеціальні речовини – *теплоносії*. Основними теплоносіями служать: вода і водяна пара, повітря, мінеральні масла, кремнійорганічні рідини, продукти згорання палива та ін.

У теплових апаратах ці речовини іноді розміщують між робочими камерами і нагрівальними елементами, тоді їх називають проміжними теплоносіями (рис. 3.4). Проміжні теплоносії окрім транспортування теплоти вирівнюють температурне поле на нагрівальних поверхнях та обмежують температуру в зоні контакту нагрівальної поверхні та харчових продуктів. Завдяки цьому забезпечується м'який непрямий обігрів стінок робочої камери та зменшується ймовірність підгорання продукту при варінні або перегрів харчових жирів у жарових процесах.

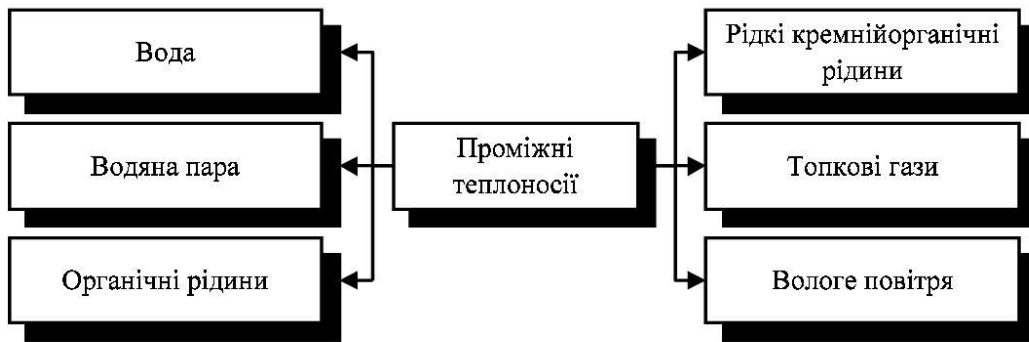


Рисунок 3.4 – Характеристика проміжних теплоносіїв

Усі теплоносії прийнято ділити на дві групи: низькотемпературні та високотемпературні.

Низькотемпературні теплоносії (вода, водяна пара) застосовують у варильних апаратах, де вони працюють за температур до 110...130 °С.

Високотемпературні теплоносії (мінеральні олії, кремнійорганічні рідини, продукти згоряння палива, органічні теплоносії) застосовують для непрямого обігріву жарильного обладнання, де вони працюють при температурах до 300 °С.

3.2. Класифікація та характеристика основних видів електронагрівачів

Найбільшого поширення набуло теплове обладнання з електронагрівачами різних типів (рис. 3.5). На його частку припадає понад 90 % всього теплового обладнання підприємств харчування. Це пояснюється такими основними перевагами:

- екологічна чистота,
- безпека та надійність експлуатації,
- простота регулювання та автоматизації роботи тощо.

Електронагрівачі безпосереднього перетворення електричної енергії на теплову. Ці електронагрівачі можуть бути рідинними та металевими.

Принцип роботи рідинних електронагрівачів ґрунтується на проходженні електричного струму через провідник з великим питомим електроопором, що супроводжується виділенням певної кількості теплоти за фізичним законом Джоуля–Ленца. Рідинним електронагрівачем є електроліт (водний розчин солі), через який пропускають електричний струм. Для цього розчин електроліту занурюють пластини-електроди, підключені до джерела струму. Теплова потужність електронагрівачів залежить від питомого опору електроліту, площі пластин, що омиваються, та відстані між ними. Незважаючи на простоту дії, рідинні нагрівачі не набули широкого поширення. Їх основним недоліком є нестійкість нагрівання через залежність питомого опору електроліту від його концентрації.

Температура нагрівання найбільш поширених резистивних електронагрівачів (металевих нагрівачів) становить не більше 400...500 °С, що значно нижче температури горіння твердого, рідкого та газоподібного палива. Теплове

обладнання з резисторними електронагрівачами характеризується високою тепловою інерційністю, здебільшого воно не забезпечує плавного регулювання тепловкладення в продукт. Таке обладнання поступається газовому за продуктивністю та функціональними можливостями. Резистивні електронагрівачі за рівнем герметичності поділяються на відкриті, закриті та герметичні. Вони нагріваються за рахунок пропускання електричного струму через дріт навитий у вигляді спіралі та виготовлений зі спеціального сплаву – ніхрому, що володіє великим електроопором. Найбільшого поширення набули відкриті електронагрівачі, конфорки та герметичні трубчасті електронагрівачі (ТЕНи).

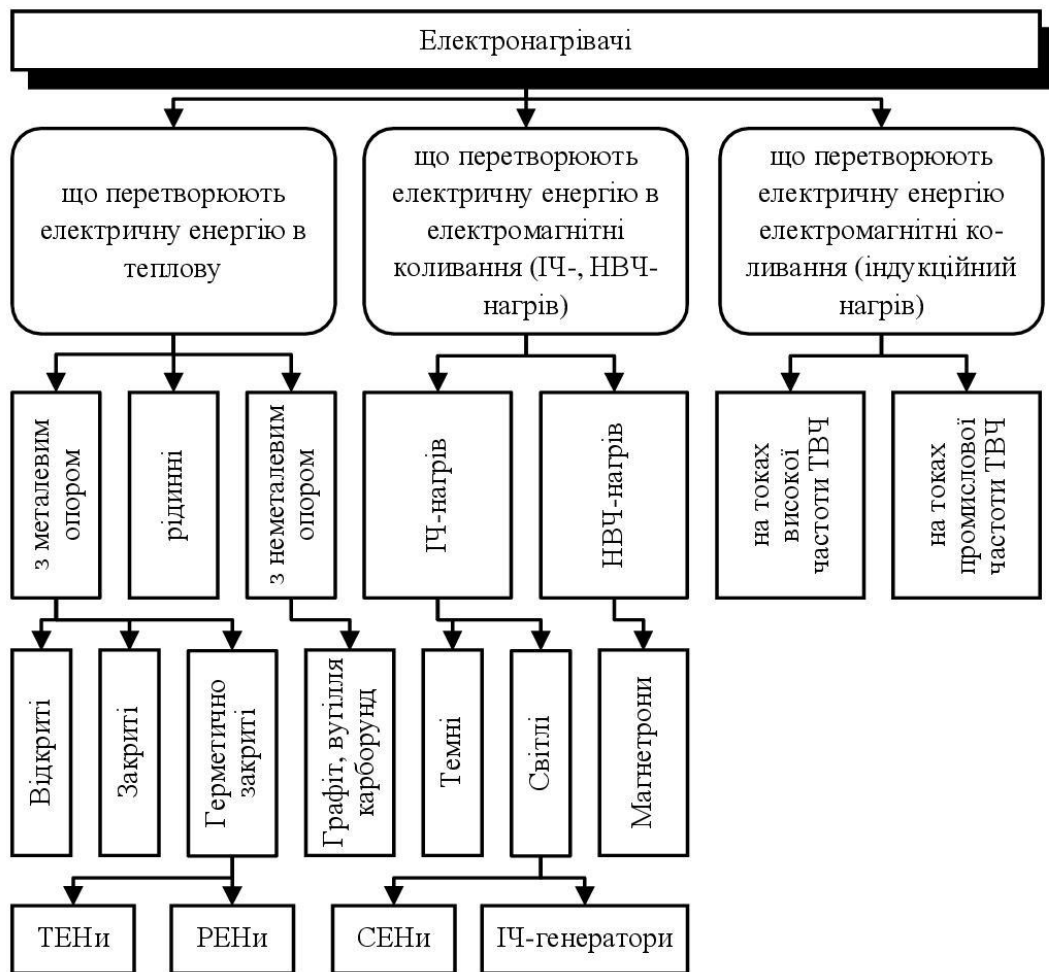


Рисунок 3.5 – Класифікація електронагрівачів

Відкриті електронагрівачі є дротяною спіраллю, електроізолюваною від корпусу та інших частин обладнання керамічними ізоляторами (рис.3.6).

Діаметр дроту спіралі зазвичай становить 0,4...0,8 мм. Перевагами таких пристроїв є простота конструкції, швидкий вихід на робочі режими та хороші умови теплопередачі. Температура нагрівання спіралі може досягати 800 °С. До недоліків відкритих спіралей відносяться низький рівень електроізоляції та недовговічність внаслідок окислення киснем повітря, їхній робочий ресурс не перевищує 1500 годин. Наразі відкритими електронагрівачами переважно

оснащують деякі різновиди електрогрилів (тостери, ростери, пристрої для приготування шаурми тощо) та тут вони виконують роль ІЧ-випромінювачів.

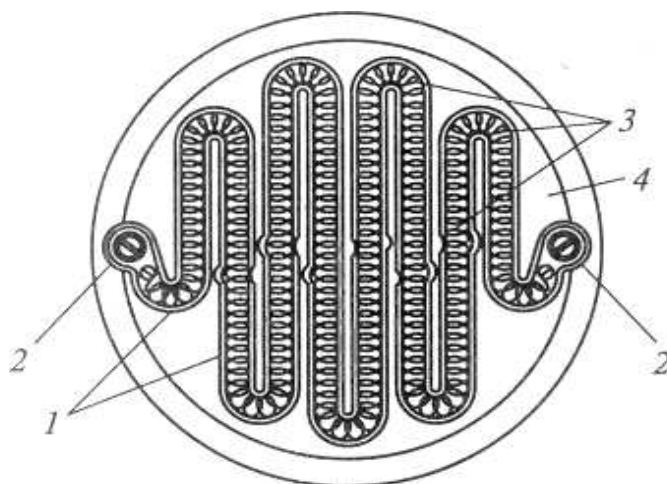


Рисунок 3.6 – Відкритий електронагрівач: 1 – канавки для укладки спирали, 2 – клеми для підключення до електромережі, 3 – нагрівальна спіраль, 4 – керамічна основа

Конфорки є *закритими електронагрівачами* з плоскою робочою поверхнею, на яку встановлюють наплитний посуд. Через зниження інтенсивності взаємодії з повітрям робочий ресурс конфорок у 2...3 рази вищий, ніж відкритих спіралей. Ними обладнають електроплити. Температура нагрівання конфорок зазвичай знаходиться в діапазоні 200...700 °С. Для підприємств харчування вітчизняними виробниками випускаються електрконфорки розмірами 417×295 мм та площею 0,12 м², а також круглі діаметром 280 мм та площею 0,06 м².

Конструкція прямокутної конфорки представлена рис.3.7.

Трубчасті електронагрівачі (ТЕН) є найпоширенішим видом електро-нагрівачів для теплового обладнання підприємств харчування, що насамперед пояснюється високим робочим ресурсом – понад 9000 годин. Вони мають трубчастий герметичний металевий корпус, всередині якого розміщена дротяна нагрівальна спіраль. Між спіраллю та стінками корпусу є шар електроізоляції з кварцового піску або периклазу, що мають хорошу теплопровідність для зниження перепаду температур між спіраллю та поверхнею корпусу. Для струмопідведення до спіралі використовують контактні стрижні, до яких кріпляться дроти від електромережі живлення (рис. 3.8).

ТЕНи виготовляють різної конфігурації з довжиною трубки до 2,5 м та номінальною потужністю залежно від робочого середовища відповідно:

- повітряні – від 0,2 до 1,2 кВт;
- водяні – від 0,3 до 5 кВт,
- масляні – від 0,3 до 0,8 кВт.

Електронагрівачі з проміжним нагріванням. До цього типу відносять ІЧ-випромінювачі. Джерелом ІЧ-випромінювання є будь-яке тіло, що має температуру поверхні вище абсолютного нуля. У зв'язку з цим, головна відмінність

ІЧ-нагрівачів полягає в тому, що нагрівання при використанні конфорок та ТЕН відбувається в основному за рахунок конвекції, а при використанні ІЧ-генераторів – за рахунок променистого теплообміну.

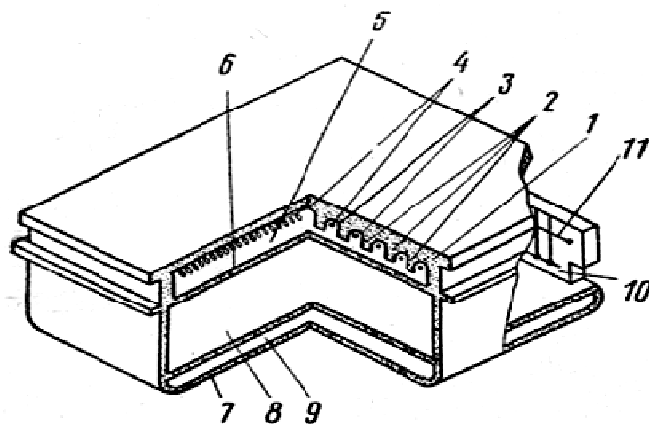


Рисунок 3.7 – Прямокутна конфорка: 1 – чавунна плита, 2 – ребра, 3, 4 – нагрівальні спіралі; 5 – електроізоляція; 6 – сталевий лист з прокладкою з алюмінієвої фольги, 7 – сталевий кожух, 8 – повітряний прошарок, 9 – ізоляція з двох шарів фольги та листового азбесту, 10 – електроколодка, 11 – електроконтакти

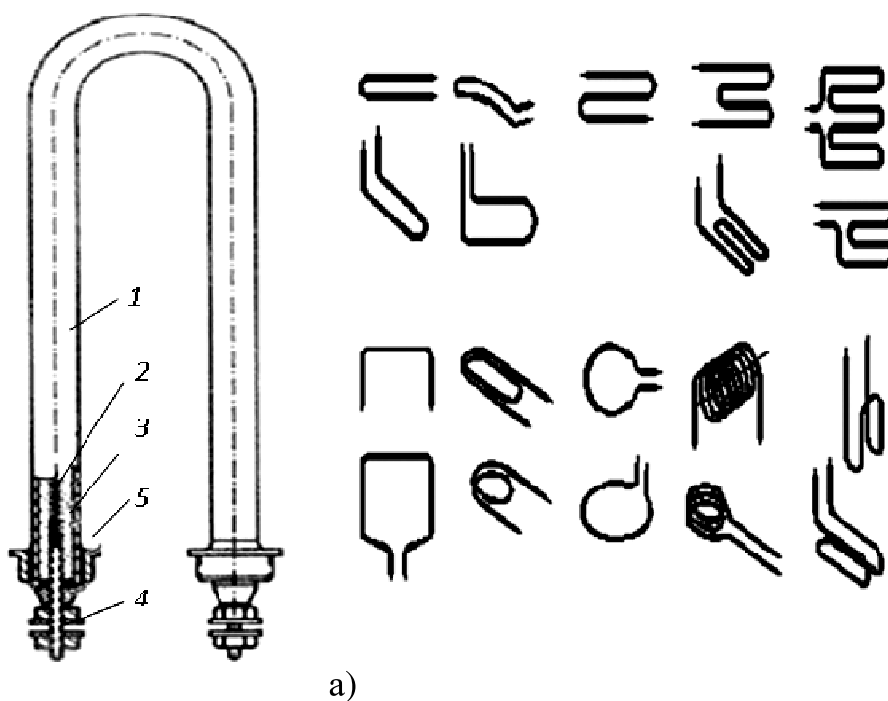


Рисунок 3.8 – Конструкція та зовнішній вигляд трубчастих електронагрівачів: а) ТЕН у розрізі; б) типи ТЕНів по конфігурації; 1 – трубчастий корпус, 2 – нагрівальна спіраль; 3 – електроізоляційний шар; 4 – контактний стрижень; 5 – штуцер для кріплення ТЕНу до корпусу обладнання; 6 – порцеляновий ізолятор, 7 – термостійкий герметик

Теплова обробка з використанням ІЧ-випромінювачів ґрунтується на здатності продуктів поглинати променисту теплову енергію. Однак, вони здатні

по-різному пропускати, відбивати та розсіювати променисту енергію в залежності від довжини хвилі. Чим більша довжина хвилі, тим нижча температура поверхні випромінювання нагрівача та менше глибина проникнення теплових хвиль у продукт, що нагрівається, та навпаки – зі зменшенням довжини хвилі температура нагрівання та глибина проникнення підвищується. Більшість продуктів глибина проникнення ІЧ-випромінювання невелика. У результаті цього основне нагрівання відбувається в поверхневому шарі, що призводить до утворення характерної піджаристої скоринки та моделює процес смаження. Довгохвильові ІЧ-випромінювачі використовують у мармітах для підтримки температури готового продукту в процесі реалізації.

Залежно від довжини хвилі ІЧ-випромінювачі поділяються на світлі та темні.

До *світлих* відносять ІЧ-випромінювачі, 90 % теплових хвиль яких мають довжину в діапазоні 0,77...4 мкм. Такий діапазон входить у спектр видимого випромінювання та робочі поверхні випромінювачів характеризуються світінням від темно-малинового до яскраво-червоного кольору, які температура може становити від 500 до 2500 °С.

Основа конструкції електричних ІЧ-нагрівачів, як і ТЕНів, представляє дротяна спіраль. Відмінність ІЧ-випромінювачів полягає в наявності додаткових конструктивних елементів та прийомів, що підвищують густину та інтенсивність теплового потоку. Для цього використовують прозорі корпуси та різні типи відбивачів теплового потоку. Найбільшого поширення серед світлих ІЧ-випромінювачів у тепловому обладнанні набули:

1. Біспіраль на керамічній трубці, що складається з отвору кріплення 1, керамічної трубки 2, ніхромової спіралі 3 та контактних пластин 4 (рис 3.9, а). У процесі роботи керамічна трубка нагрівається та стає додатковим джерелом ІЧ-випромінювання, підвищуючи інтенсивність та рівномірність теплового потоку. Відкрита ніхромової спіраль має температуру 1000...1200 °С. Головний недолік – низький робочий ресурс (не більше 3000 годин) через окислення повітрям.

2. Кварцові інфрачервоні випромінювачі з йодним наповнювачем типу КІ та КІО (рис 3.9, б та в) є найнадійнішими та найефективнішими електричними ІЧ-випромінювачами. У герметичній кварцовій трубці створюється вакуум, що дозволяє використовувати високотемпературну вольфрамову спіраль. Кварцове скло має низький коефіцієнт заломлення світла, що підвищує концентрацію теплового потоку. Цьому також сприяють пари йоду, якими заповнюється порожнина трубки. Кварцові ІЧ-випромінювачі складаються з вводу 1, цоколя 2, фольгової ланки 3, молібденового введення 4, герметичної кварцової трубки 5, спіралі з вольфрамового дроту 6 та вольфрамової підтримки 7. Температура нагрівання вольфрамового випромінювача досягає більше 2500 °С.

3. Сушильна лампа ІКЗ (рис 3.9, г) складається з цоколя 1, внутрішнього покриття 2, хромової або вольфрамової спіралі 3, скляної колби 4. Зазвичай застосовується в апаратах для сушіння продуктів.

4. Закритий кварцовий генератор з хромонікелевою спіраллю, що складається з виводу 1, керамічного ізолятора 2, спіралі 3 та кварцової трубки 4

(рис. 3.9, д), має вищий робочий ресурс у порівнянні з біспіраллю на керамічній трубці.

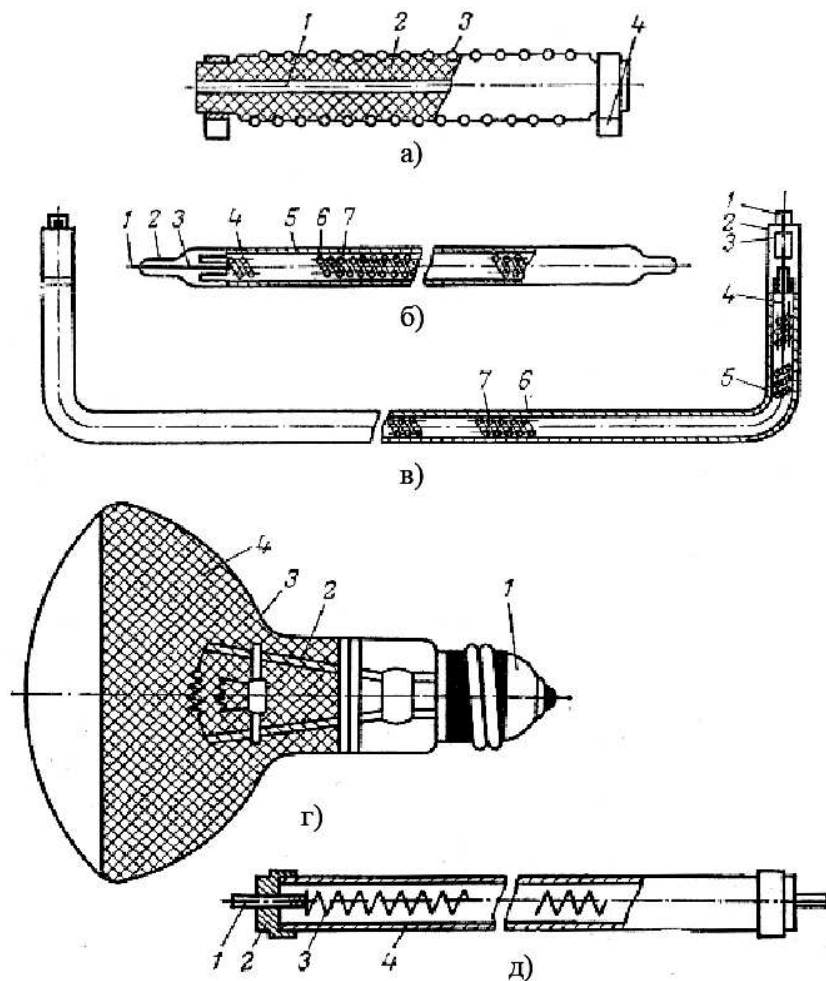


Рисунок 3.9 – Конструкції основних типів ІЧ-генераторів: а) біспіральний; б), в), д) – кварцові; г) ламповий

До *темних* ІЧ-випромінювачів відносять такі випромінювачі, 90 % теплових хвиль яких мають довжину хвилі понад 4 мкм. Найчастіше – це звичайні ТЕН-и з температурою нагрівання до 500 °С.

НВЧ-генератори. В них перетворення електричної енергії в електромагнітні коливання відбувається без проміжного нагрівання. Нагрівання харчових продуктів у НВЧ-полі є складним процесом. Його основу становлять поляризаційні явища, що виникають під дією зовнішнього електромагнітного поля, в яке вміщено продукт, як діелектрик. Дипольні молекули та атоми, що утворилися в результаті поляризації, під дією високочастотного змінного електромагнітного поля починають інтенсивно переміщуватись, здійснюючи коливальні та обертальні рухи. У результаті механічних сил тертя, що виникають між молекулами при їх переміщенні під дією надвисокочастотного електромагнітного поля, енергія, витрачена на поляризацію, по всьому об'єму продукту перетворюється на теплоту. Таке нагрівання практично не залежить

від теплопровідних властивостей продукту, що забезпечує високу швидкість та рівномірність.

Зі зростанням частоти коливання НВЧ-поля знижується глибина його проникнення в глиб продукту. У зв'язку з цим виникає необхідність підбору певної товщини продукту, щоб уникнути перегріву окремих шарів.

Головними перевагами НВЧ-нагрівання є відносно рівномірне нагрівання продукту по всьому обсягу, що прискорює теплову обробку в порівнянні з традиційними методами у 6 та більше разів. Рівномірність нагрівання дозволяє умовно відносити такий спосіб теплової обробки до варіння. Його широко використовують для швидкого розморожування невеликих обсягів продуктів. Це ж є та головним недоліком способу, тому що він не дозволяє отримати підсмаженої скоринки на поверхні продукту, характерної для смаження. Тому НВЧ-нагрів рекомендується застосовувати в комбінації з ІЧ та іншими традиційними способами нагрівання.

Пристрій для створення НВЧ-поля у тепловому обладнанні називається магнетроном (рис. 3.10).

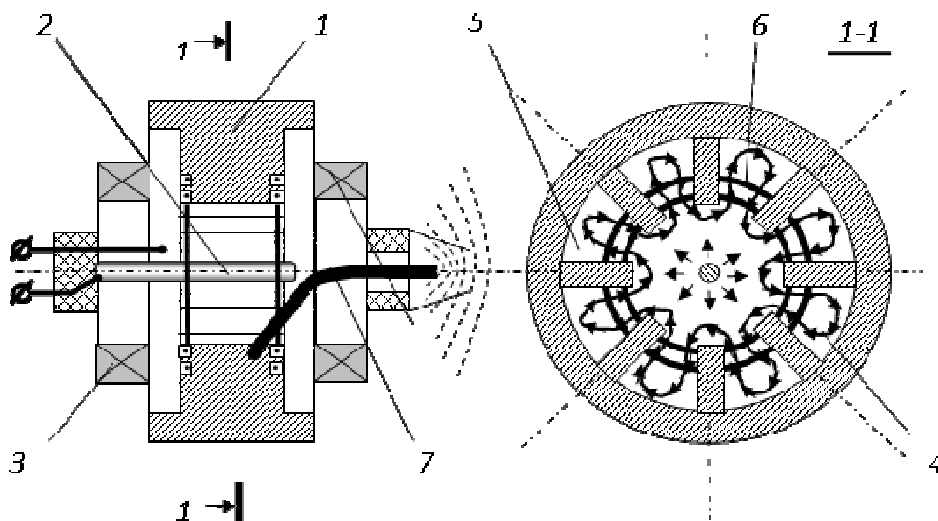


Рисунок 3.10 – Схема конструкції магнетрона

Принцип дії магнетрона спрощено можна пояснити наступним чином. Між катодом 1 та анодом 2 при подачі напруги 3–4 кВ створюється електричне поле під дією якого електрони рухаються від катода до анода по найкоротшій відстані. Уздовж осі магнетрону проходять силові лінії потужного магнітного поля, створюваного зовнішніми постійними магнітами 3, які змінюють траєкторію руху електронів та змушують їх здійснювати обертальний рух у зазорі між катодом та анодом, утворюючи електродну хмару 4. Електрони, проходячи поблизу щілинних зазорів руху, створюючи у дрітчастих перемичках 6 надвисокочастотне електромагнітне поле, яке за допомогою хвилеводу 7, генерується в простір робочої камери мікрохвильової печі та нагріває продукт.

Індукційне нагрівання. Принцип такого нагрівання ґрунтується на тому, що в металах, розміщених у високочастотне електромагнітне поле, виникають вихрові індукційні струми. Це призводить до швидкого нагрівання металів через їх електроопір. Особливістю індукційного нагрівання є те, що теплова енергія експоненційно зменшується залежно від глибини проникнення електромагнітного поля. Тому швидкому нагріванню піддаються лише поверхневі шари.

Структурна схема використання індукційного нагрівання представлена на рис. 3.11.

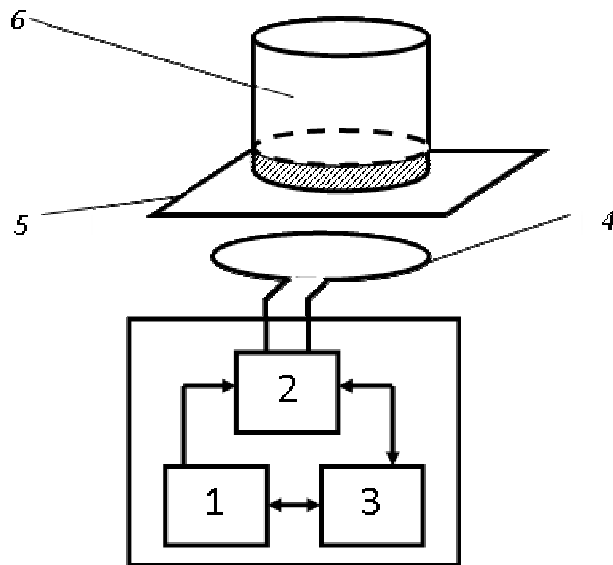


Рисунок 3.11 – Структурна схема індукційного нагрівання

Установка складається з випрямляча 1, який підключений до мережі змінного струму, високочастотного перетворювача 2, керування блоку 3, індуктора 4 та діелектричної конфорки 5 на яку встановлюється наплитний посуд 6.

Індукційні конфорки мають ряд істотних переваг, порівняно з резистивними:

- висока надійність (ресурс обчислюється десятками тисяч годин);
- низька теплова інерційність (дно наплитного посуду нагрівається одночасно з включенням конфорки);
- високий ККД та низька витрата електроенергії;
- робоча поверхня конфорки сильно не нагрівається, що виключає ймовірність опіків, що мають місце під час роботи зі звичайними конфорками;
- можливість повної автоматизації роботи обладнання.

3.3. Способи підключення електронагрівачів

Під час роботи теплового електрообладнання з метою забезпечення заданих режимів теплової обробки продуктів необхідно проводити регулювання потужності електронагрівачів. Виходячи з того, що потужність електро-

нагрівачів $P = \frac{U^2}{R}$ її регулювання зазвичай проводять шляхом зміни загального

опору електронагрівача P , так як регулювання напруги пов'язане зі збільшенням габаритів та вартості обладнання.

В електроустановці, призначеному для роботи від однофазної електричної мережі напругою 220 В, використовують електронагрівачі, що складаються з двох секцій провідників з однаковим опором R_0 . Регулювання потужності здійснюють шляхом різного з'єднання цих секцій (рис. 3.12):

- для сильного нагрівання – паралельно ($R = \frac{R_0}{2}$);
- для середнього нагрівання включають лише одну секцію ($R = R_0$);
- для слабого нагрівання секції включають послідовно ($R = 2R_0$).

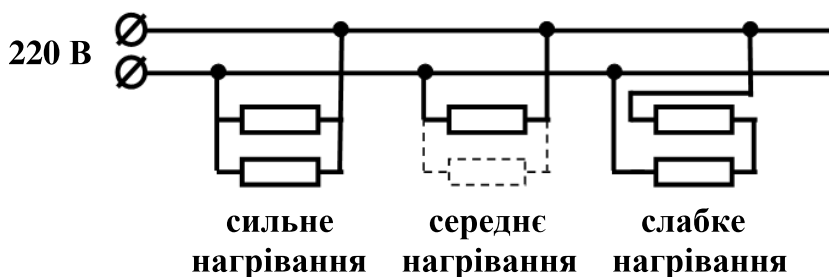


Рисунок 3.12 – Схема регулювання потужності конфорок, підключених до однофазної мережі напругою 220 В

Тоді теплова потужність P електронагрівача при різних способах підключення секцій провідників відповідатиме:

$$\text{сильне нагрівання} - P_{\text{сил}} = 2 \frac{U^2}{R_0}, \quad (3.1)$$

$$\text{середнє нагрівання} - P_{\text{ср.}} = \frac{U^2}{R_0}, \quad (3.2)$$

$$\text{слабке нагрівання} - P_{\text{слаб.}} = \frac{U^2}{2R_0}, \quad (3.3)$$

Співвідношення потужностей електронагрівачів такого типу за різних способів підключення відповідає

$$P_{\text{сил.}} : P_{\text{ср.}} : P_{\text{слабкий.}} = 4 : 2 : 1. \quad (3.4)$$

В обладнанні, що призначене для підключення до 3-х фазної електромережі використовують електронагрівачі з трьома секціями опорів. Теплова потужність електронагрівачів у цьому випадку визначається, як

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos\phi, \quad (3.5)$$

де P_{ϕ} , U_{ϕ} , та I_{ϕ} – відповідно міжфазна потужність, напруга, струм та кут зміщення.

Розрізняють два способи підключення до 3-х фазної мережі – «трикутником» та «зіркою» (рис.3.13 та 3.14, а).

$$\text{При з'єднанні «зіркою»} - P_Y = 3U_{\phi} \cdot I_{\phi} = \frac{U_L^2}{R_0}. \quad (3.6)$$

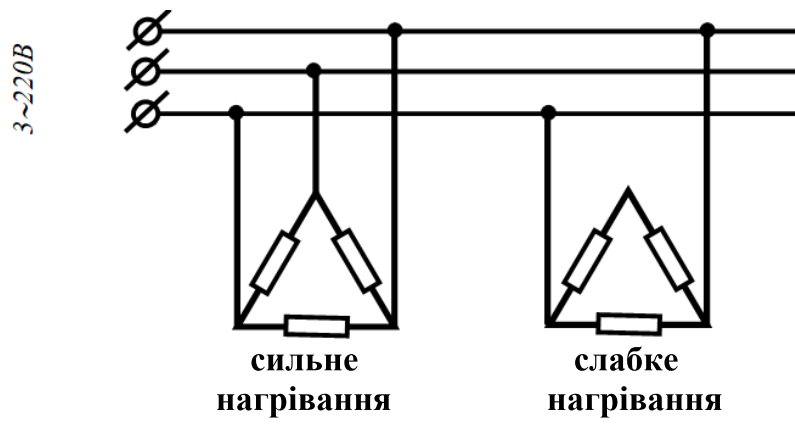
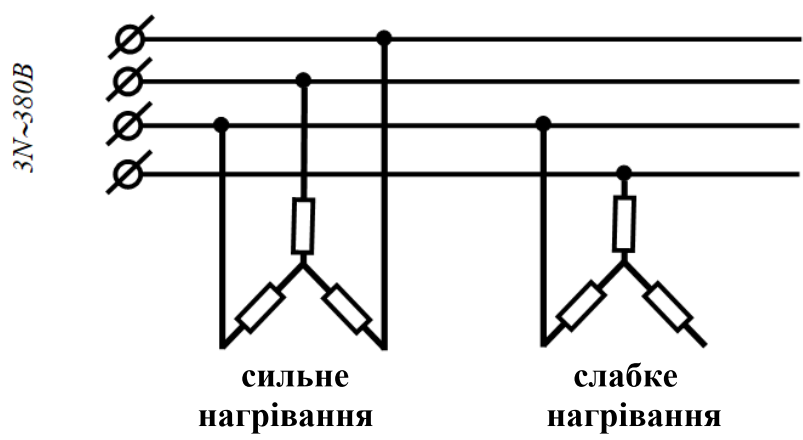
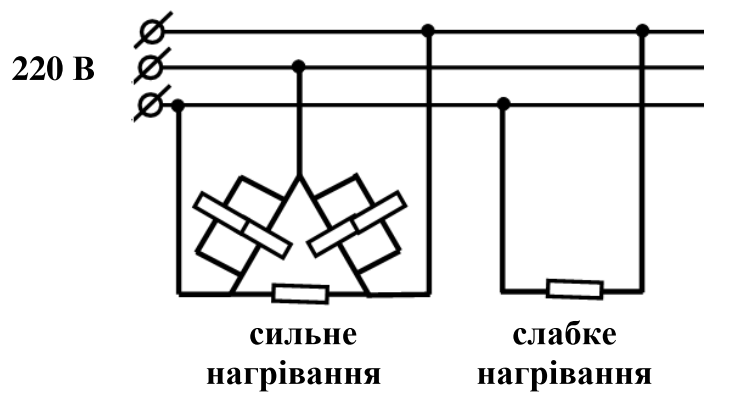


Рисунок 3.13 – Схема з'єднання «трикутником» до 3-х фазної мережі змінного струму напругою 220 В



а)



б)

Рисунок 3.14 – Схеми з'єднання «зіркою» до 3-х фазної мережі змінного струму: а) напругою 380 В; б) напругою 220 В

При з'єднанні «трикутником» –
$$P_{\Delta} = 3U_{\phi} \cdot I_{\phi} = 3 \frac{U_{л}^2}{R_0}, \tag{3.7}$$

Таким чином, співвідношення теплової потужності при з'єднанні "трикутником" та "зіркою" буде рівним 3 : 1.

Більш зручно для регулювання теплової потужності електронагрівачів при підключенні до 3-х фазної мережі використовувати один спосіб підключення. Так, при підключенні 3 секцій електронагрівачів до 3-х фазної мережі з напругою 220 В зазвичай використовують спосіб «трикутника», а з напругою 380 В – «зіркою».

За наявності 6 електронагрівачів підключення до 3-х фазної мережі змінного струму з напругою 220 можна виробляти за схемою, представленою на рис. 3.14, б. Співвідношення між тепловою потужністю при сильному та слабкому нагріванні у всіх зазначених способах складе 6 : 1. Можливі й інші варіанти регулювання потужності електронагрівачів.

3.4. Газові пальники

Останнім часом все більшого поширення набуло газове обладнання. Газ – головний альтернативний стосовно електричної енергії енергоносіє. Головна перевага газоподібного палива перед електричним – мала інерційність нагрівання, можливість плавного регулювання, відносна дешевизна теплоти, що виробляється.

Пристрої, що забезпечують спалювання газу з метою одержання теплоти, називають газовими пальниками. На підприємствах харчових виробництв застосовують переважно інжекційні пальники. У цих пристроях попередньо перемішуються газ та необхідне для горіння повітря. Повітря подається в спеціальний змішувач за рахунок кінетичної енергії потужного високошвидкісного струменя газу, що витікає через спеціальний отвір малого перерізу («сопло»). До складу горючої суміші входить 30...70 % повітря необхідного для повного спалювання. Згоряння в цьому випадку відбувається у вигляді факела (рис. 3.15), що виходить із сопла пальника 1 та складається з двох зон. У внутрішньому конусі 2 (світлому та прозорому) згоряння відбувається за рахунок кисню повітря підготовленої горючої суміші (первинне повітря), а у зовнішньому конусі 3 – за рахунок додаткового повітря (вторинний повітря), що надходить через поверхню факела.

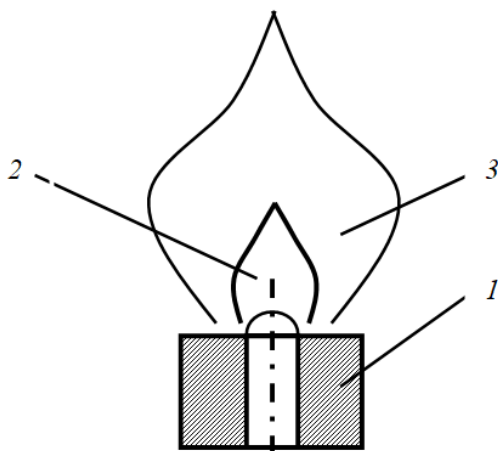


Рисунок 3.15 – Структура факела інжекційного газового пальника

В інжекційних газових пальниках, влаштованих за схемою рис. 3.16 газ трубопроводом 1 з газової магістралі надходить у змішувач 2. У змішувачі газ змішується з киснем повітря, утворюючи горючу суміш, та надходить у насадку 3, яка рівномірно розподіляє суміш по безлічі вогневих отворів 4. Форма вогневих отворів насадок може бути різноманітною. Залежно від цього вони поділяються на кільцеві, трубчасті, щілинні тощо.

Факел буває стійким лише у певному діапазоні тисків газу перед пальником, який регулюється спеціальним корковим краном. Якщо тиск дуже високий, то горіння стає шумним, факел пульсує щодо вогневого каналу та може згаснути. Це явище називають «відривом» факела. При малих тисках газу факел може проникнути всередину пальника – настає проскок полум'я. У межах від проскоку до відриву полум'я згоряння газу відбувається стійко та якісно. В окремих випадках, має місце неповне згоряння, що характеризується високим копченим факелом або відривом полум'я. У цьому випадку слід відрегулювати положення регулятора первинного повітря 6 та досягти стійкого горіння прозорого блакитного факела.

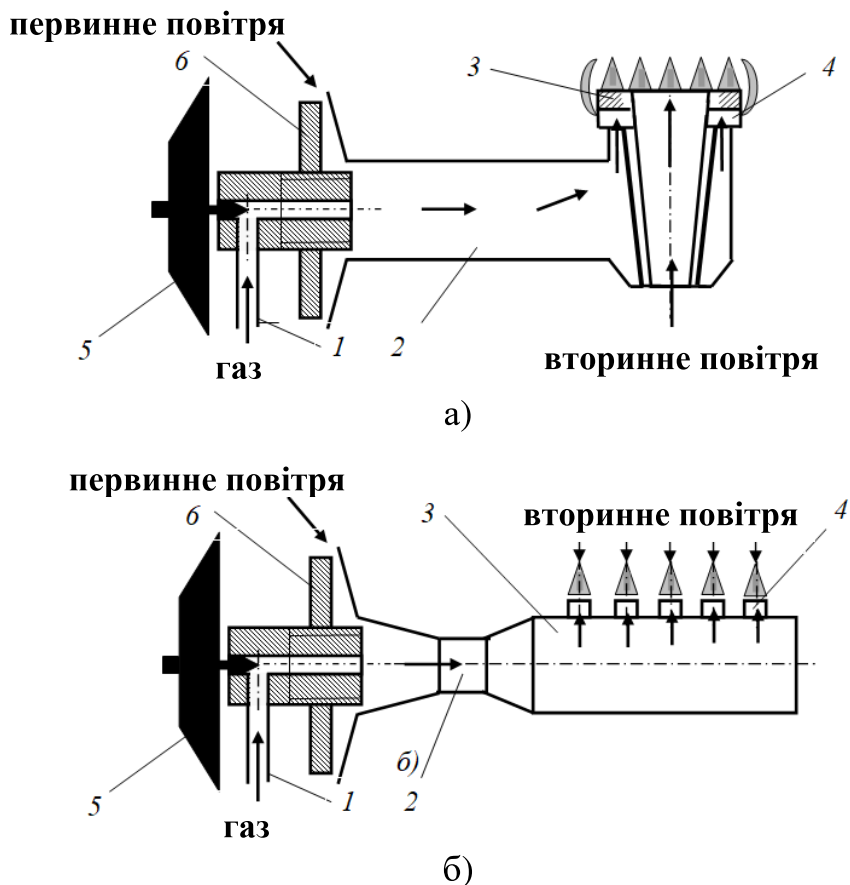


Рисунок 3.16 – Схеми інжекційних газових пальників: а) конфорковий пальник; б) трубчаста конфорка

Теплова потужність (Вт) газових пальників визначається за формулою

$$Q = V_2 \cdot Q_{нр}, \quad (3.8)$$

де V_2 – об'ємна витрата газу, м³/с; $Q_{нр}$ – нижча робоча теплота згоряння газу, Дж/м³.

Теплотою згоряння називають кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні 1м³ пального газу, якщо він надходить у паливник за нормальних умов (атмосферному тиску 760 мм рт.ст. та температурі 0 °С).

Витрата газу можна плавно регулювати ручкою 5 газового запірно-регулювального крана. Діапазон регулювання від «проскоку» до «відриву» факела паливника називають межею теплової потужності.

Деякі газові грилі та плити оснащуються інфрачервоними паливниками. Інфрачервоними (ІЧ) газовими горілками (рис. 3.17) називають **безполум'яними** або, що правильніше, **мікрофакельними**. Вони забезпечують високоякісне спалювання газу внаслідок інжекції повітря, необхідного для горіння.

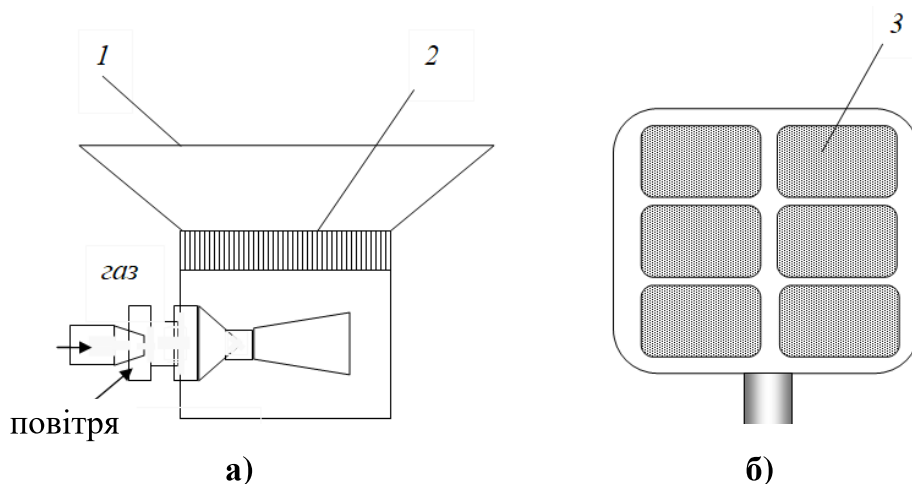


Рисунок 3.17 – Інжекційні паливники інфрачервоного випромінювання: а) – принципова схема пристрою; б) – відкритий ІЧ-паливник з 6 плиток; 1 – рефлектор, 2 – керамічна насадка, 3 – керамічна плитка для насадки безполум'яного паливника

Газ згоряє у вогневих отворах малого діаметра 0,8...1,5мм. При цьому факел складається з внутрішнього конуса, він прозорий та майже не видно. Теплота предметам, що нагріваються, передається ІЧ-випромінюванням від керамічних насадок 2 або плиток 3, всередині яких розташовані вогневі канали. Температура нагрівання керамічних плиток може досягати 850...1000 °С. Регулювати потужність мікрофакельних (ІЧ) паливників можна лише у дискретному режимі – «Увімкнено» – «Вимкнено», що знижує інші їхні позитивні якості.

3.5. Парові нагрівальні елементи

Волога насичена пара. Основним низькотемпературним теплоносієм, що працює у двофазному стані, є волога водяна пара. Застосовують його у варильному устаткуванні. Виробляють вологу насичену пару при використанні дешевого палива, газу та вугілля. Тому теплота, отримана від вологої насиченої

пари, за собівартості значно дешевша, ніж при електронагріві, але дорожча, ніж при прямому спалюванні палива.

Застосування пари для нагрівання кулінарних технологічних апаратів має низку істотних переваг, які пов'язані з його властивостями. Розглянемо основні з цих якостей.

Волога водяна пара утворюється при кипінні води і характеризується одночасним існуванням двох фаз: киплячої рідини та сухої насиченої пари.

Масову частку сухої насиченої пари у цій суміші, тобто у вологій насиченій парі, називають ступенем сухості.

$$x = m''/(m' + m''), \quad (3.9)$$

де m' – маса киплячої рідини у вологій парі, кг; m'' – маса сухої насиченої пари, що міститься у вологому, кг.

Ступенем вологості насиченої пари називають масову частку в ній киплячої рідини:

$$y = m'/(m' + m''). \quad (3.10)$$

Очевидно, що

$$x + y = 1, \quad (3.11)$$

або вологість пари може бути виражена через її сутність сухості:

$$y = 1 - x. \quad (3.12)$$

Фізична картина одночасного існування двох фаз може бути різною. Наприклад, волога насичена пара утворюється при кипінні води. У цьому випадку в нижній частині ємності знаходиться кипляча рідина, а над її поверхнею – суха насичена пара. Така картина може бути доповнена бульбашками насиченої сухої пари, що рухаються всередині шару киплячої рідини.

У середовищі сухої насиченої пари можуть бути розподілені найдрібніші крапельки конденсату (киплячої рідини), тобто спостерігається туманоподібний стан. У зоні контакту сухої насиченої пари з холодною поверхнею є конденсатна плівка або утворюються краплі конденсату. Такий розподіл фаз у вологій насиченій парі має місце в зоні теплопередаючої поверхні теплообмінника, що розділяє гріючий пар і середовище, що нагрівається.

Як правило, у реальних умовах усі зазначені вище випадки існують одночасно, але більшою чи меншою мірою, і при аналізі умов теплообміну виділяють переважний.

Особливість стану вологої водяної пари полягає в тому, що якщо тиск постійно, то й температура такої суміші не змінюється (процес ізобарно-ізотермічний). При підведенні теплоти частина окропу випаровується і переходить у стан сухої пари, а при охолодженні, навпаки, суха пара конденсується і перетворюється на киплячу рідину. В результаті зміни змінюється лише ступінь сухості пари.

Властивість ізотермічності вологої пари при сталості тиску використовують у тепловому обладнанні, щоб забезпечити рівномірний обігрів стінок робочих камер та обмежити рівень температур на них. Це важливо, оскільки харчові продукти, що нагріваються, чутливі до перегріву, а нерівномірне нагрівання камери виключає можливість автоматизації теплового режиму.

Реально в тепловому обладнанні для нагріву використовують вологу насичену пару з найбільшим ступенем сухості ($x \approx 1$), тобто практично сухий, який при конденсації виділяє приховану теплоту пароутворення. Ця теплота при тисках, близьких до атмосферного, дуже велика (2200 кДж/кг), що дає можливість використовувати малу (за масою) кількість пари для транспортування великої кількості енергії.

Щільність вологи пари за $x = 1$ невелика ($1,5 \text{ кг/м}^3$), тобто, приблизно в 600 разів менше щільності води, що дозволяє легко його транспортувати за малих потужностей насосів, що перекачують, і високих швидкостей транспортування без видимої втрати теплоти. Тепловіддача від вологої пари відбувається значно інтенсивніше, ніж від рідин або тим більше від газів, що призводить до зменшення розмірів парових теплообмінників і зниження вартості апаратів.

Таким чином, сталість температури пари забезпечує абсолютну ізотермічність стінок робочих камер, що обігріваються, а підтримання температур на рівні $110 \dots 115 \text{ }^\circ\text{C}$ шляхом обмеження тиску в межах $150 \dots 170 \text{ кПа}$ ($1,5 \dots 1,7 \text{ атм}$) виключає можливість пригорання харчового продукту. Залежність температури сухої насиченої пари від тиску дозволяє керувати температурою за допомогою манометричних датчиків. Мала щільність дозволяє створювати малоінерційні теплові апарати з непрямим обігрівом, а високий коефіцієнт тепловіддачі робить їх компактними та малометалоємними порівняно з тими, які використовують в однофазних теплоносіях.

Конструкції парових теплообмінників. Пристрої, що забезпечують конденсацію вологої пари та одержання теплового потоку називають паровими теплообмінниками.

З безлічі парових теплообмінників у тепловому обладнанні підприємств харчових виробництв застосовуються (рис. 3.18): ємнісні-сорочкові (а) та з привареною до корпусу поверхнею, що гріє (б); проточні-змієвикові (в) і кожухотрубні (г), типу «труба в трубі» (д).

Спосіб підключення парового теплообмінника розглянемо на прикладі (рис. 3.19). При підключенні теплообмінника використано паровий вентиль, манометр, запобіжний клапан, конденсатовідвідник та зворотний клапан.

Паровий вентиль. Призначений для включення нагрівача, а також для регулювання теплової потужності шляхом зміни витрати пари.

Манометр використовують для контролю за рівнем тиску. Гранично допустимий рівень позначений червоною межею на шкалі приладу.

Запобіжний клапан – пристрій, який спрацьовує при перевищенні допустимого рівня тиску пари та скидає пару в атмосферу, тим самим запобігаючи вибуху апарату. У період включення подачі пари за допомогою «повітряного» вентиля скидається все повітря, що є в теплообміннику. Операція триває 1-2 хвилини. Якщо цього не зробити, то теплообмін погіршиться, що призведе до уповільнення нагріву і перевитрати пари, що гріє.

Конденсатовідвідник закриває вихід пари, якщо та не сконцентрувалася в теплообміннику і викриває вихід конденсату при повній конденсації пари. Завдяки цьому витрати пари знижуються до мінімальних.

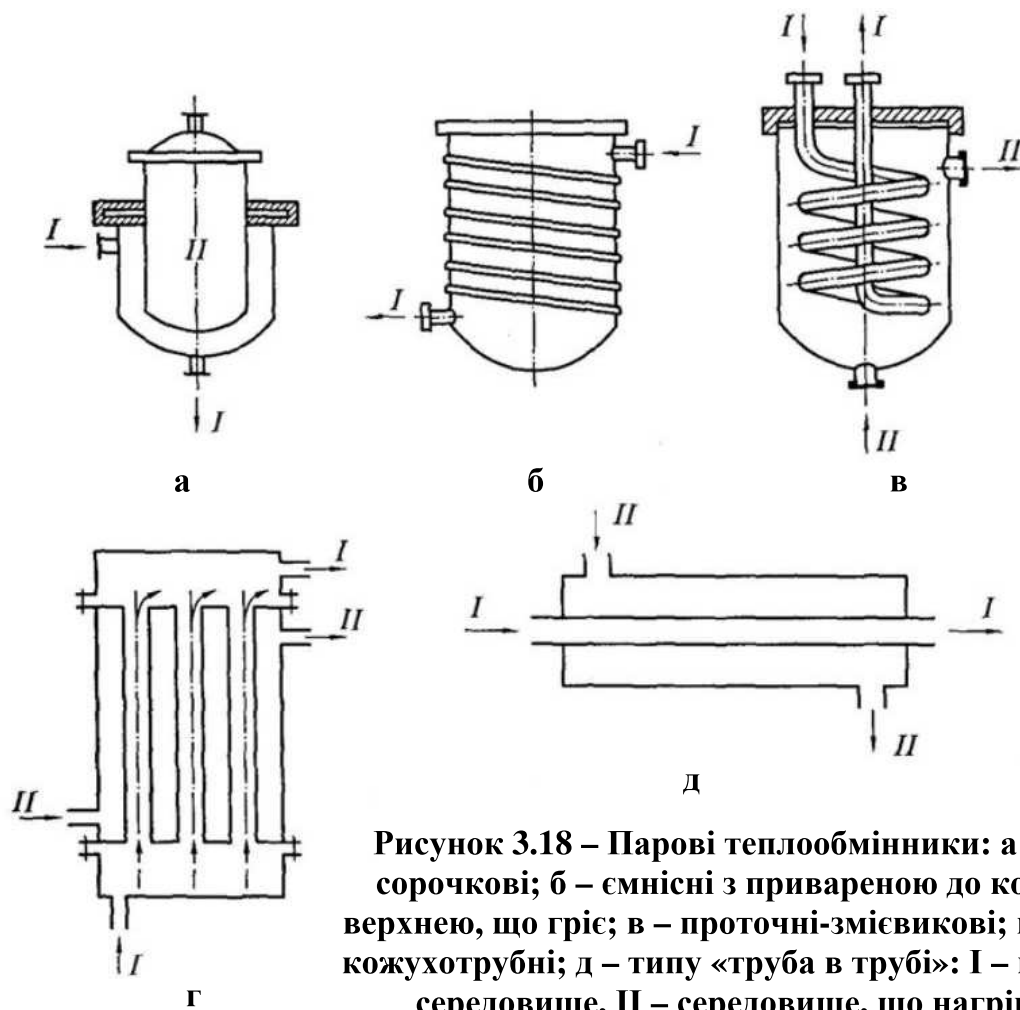


Рисунок 3.18 – Парові теплообмінники: а – ємнісні-сорочкові; б – ємнісні з привареною до корпусу поверхнею, що гріє; в – проточні-змійовикові; г – проточні кожухотрубні; д – типу «труба в трубі»: I – нагрівальне середовище, II – середовище, що нагрівається

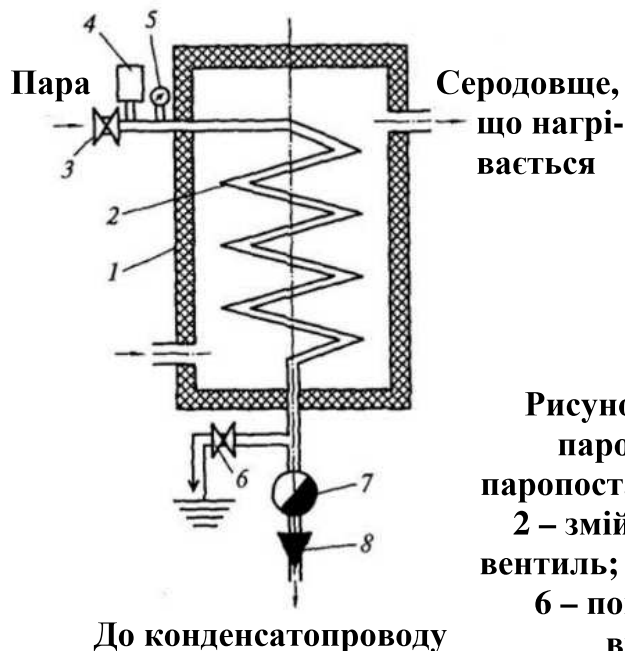


Рисунок 3.19 – До прикладу підключення парового теплообмінника до системи паропостачання: 1 – теплоізований корпус; 2 – змійовиків теплообмінник; 3 – паровий вентиль; 4 – запобіжний клапан; 5 – манометр; 6 – повітряний вентиль; 7 – конденсатівідвідник 8 – зворотній клапан

Зворотний клапан запобігає зворотному руху конденсату у теплообмінник. Така ситуація зазвичай виникає при відключенні подачі пари до парового

теплообмінника. У результаті спрощується операція повторного запуску теплообмінника.

3.6. Твердо- та рідинно-паливні нагрівачі

До твердого палива належать дрова, торф, буре вугілля, кам'яне вугілля та антрацит.

Теплова енергія палива, як і газу, характеризується його нижчою робочою теплотою згоряння $Q_{н,р}$, яка виділятиметься при згорянні 1 кг палива.

Склад органічної маси твердого палива можна представити як суміш перебуваюча у зв'язаному стані вуглецю, водню, кисню та азоту, що включає баластні домішки у вигляді вологи, золи та сірки. При нагріванні твердого палива виділяється велика кількість летких газоподібних речовин, що беруть участь у горінні.

Як рідке паливо використовують продукти нафтоперегонки: легкі (бензин, гас); середні (дизельні олії, газойль та солярове масло); важкі (мазут).

У побутових умовах найчастіше застосовують гас. Це паливо використовують у опалювальних печах, водонагрівачах та пристроях для теплової обробки їжі. Використання газу в промислових умовах обмежене через його низьку температуру спалаху і, отже, підвищену пожежну небезпеку. Крім того, утруднено і поповнення запасів гасу.

На підприємствах харчових виробництв рідке паливо застосовують рідко – головним чином на пересувних та польових підприємствах громадського харчування, позбавлених централізованих енергетичних джерел. Основний вид палива тут це, як правило, дизельні олії різних сортів, які спалюються в дизельних форсунках або пальниках. Теплові апарати зазвичай мають такий пристрій, який дозволяє спалювати різні види твердого палива.

Паливні камери. Тверде, рідке та газоподібне паливо, спалюються у спеціальних теплообмінних пристроях паливних камерах, які поділяють залежно від форми на циліндричні, коробчасті та щілинні. Стінки камер згорання, як правило, частково або повністю екрановані водою. Збільшення ступеня екранування водою стінок камери згорання призводить до зростання її ККД та зменшення габаритів.

При шаровому спалюванні тверде паливо розміщують на колосникових ґратах, що перекривають нижній переріз топкової камери. Цю решітку (рис. 3.20), що утворює настил з круглими або прямокутними отворами, зазвичай виконують із чавуну або сталі. Решітка повинна утримувати паливо, що горить, і одночасно забезпечувати подачу в його розпечений шар необхідного для горіння повітря, що надходить через отвори решітки із зольникової камери, розташованої під топкою.

При нагріванні твердого палива відбувається сублімація, тобто з нього виділяються летючі горючі гази, які, змішуючись з повітрям, утворюють горючу суміш, що згоряє у вигляді факела. Додатковий об'єм повітря (вторинне повітря), необхідний для горіння, подається до факелу з камери згорання (рис. 3.21).

Розміри отворів колосникових ґрат повинні відповідати розмірам шматків палива, що спалюється. У тому випадку, якщо вони великі, можливий значний

механічний недопал, пов'язаний з провалом палива, а при малому перерізі отворів різко зростає аеродинамічний опір і ускладнюється підведення первинного повітря, що призводить до великого хімічного недопалу.

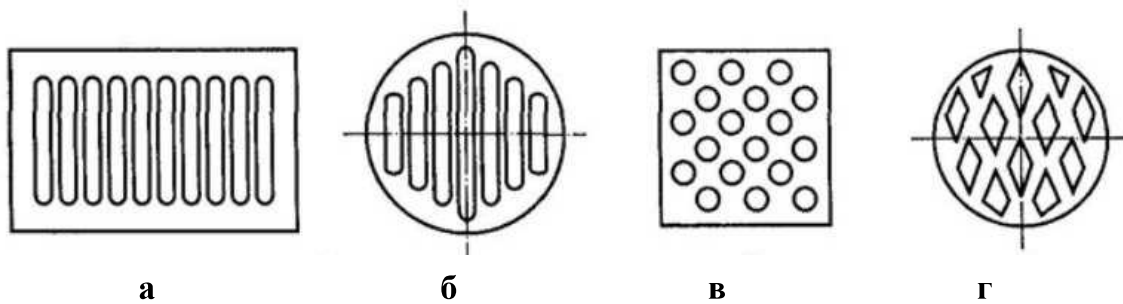


Рисунок 3.20 – Колосникові ґрати: а, б – з прямокутними отворами; в – з круглими отворами; г – з ромбовидними отворами

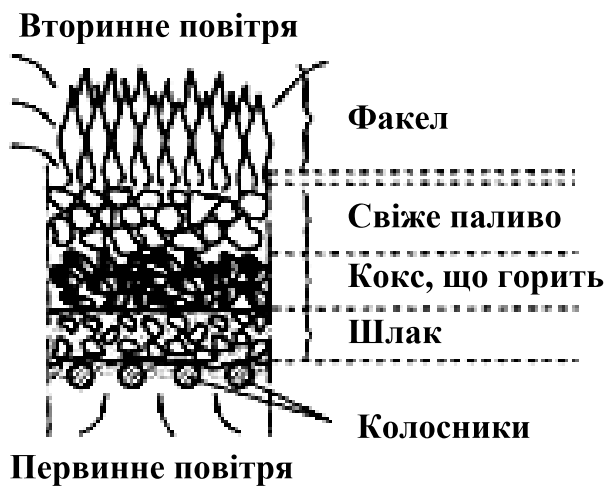


Рисунок 3.21 – Структура шару, що горить, твердого палива

Контрольні запитання

- 1) Наведіть основні види енергоносіїв у тепловому обладнанні.
- 2) Що таке паливо? Які основні види палива?
- 3) Наведіть характеристику проміжних теплоносіїв.
- 4) Які основні переваги електронагрівачів?
- 5) Наведіть класифікацію електронагрівачів.
- 5) Наведіть характеристику рідинних електронагрівачів.
- 6) Наведіть характеристику резистивних електронагрівачів.
- 7) Наведіть характеристику відкритих електронагрівачів.
- 8) Наведіть характеристику конфорок.
- 9) Наведіть характеристику трубчастих електронагрівачів.
- 10) Наведіть характеристику електронагрівачів з проміжним нагріванням.
- 11) Світлі та темні ІЧ-випромінювачі.
- 12) Наведіть характеристику НВЧ-генераторів.
- 13) Поясніть схему конструкції магнетрона.
- 14) Принцип здійснення індукційного нагрівання.

15) Наведіть схему регулювання потужності конфорок, підключених до однофазної мережі напругою 220 В.

16) Наведіть схему з'єднання «трикутником» до 3-х фазної мережі змінного струму напругою 220 В.

17) Наведіть схеми з'єднання «зіркою» до 3-х фазної мережі змінного струму напругою 380 В та напругою 220 В.

18) У чому перевага газоподібного палива?

19) Надайте характеристику газових пальників.

20) Структура факела інжекційного газового пальника.

21) Поясніть схему інжекційних газових пальників.

22) Як визначається теплова потужність газових пальників?

23) Що таке теплота згоряння?

24) Поясніть принцип роботи інжекційних пальників ІЧ-випромінювання.

25) Надайте характеристику вологої насиченої пари.

26) Які конструкції парових теплообмінників?

27) Наведіть приклад підключення парового теплообмінника до системи паропостачання.

28) Надайте характеристику твердому та рідкому паливу.

29) Що таке паливні камери?

30) Наведіть структуру шару, що горить, твердого палива.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Процеси і апарати харчових виробництв. У 3 ч. Ч. 2. Теплообмінні процеси [Електронне видання] : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 181 «Харчові технології» / В.М. Михайлов, А.О. Шевченко, С.В. Прасол, О.А. Маяк. Харків : ДБТУ, 2024. 152 с. URL : <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/54799>.

2. Теплове обладнання : опорний конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» усіх форм навчання / Г.В. Дейниченко, З.О. Мазняк, В.М. Червоний. Харків : ХДУХТ, 2012. 104 с. URL : <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/20092>.

3. Теплове обладнання підприємств харчування : підручник / В.О. Дорохін, Н.В. Герман, О.П. Шеляков. Полтава : РВВ ПУСКУ, 2004. 583 с.

4. Устаткування закладів ресторанного господарства. Ч. 1 Механічне та теплове устаткування : конспект лекцій для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія» (Технологія харчування) та «Устаткування закладів готельно-ресторанного господарства» для студентів напряму підготовки 6.140101 «Готельно-ресторанна справа» / В.Ф. Доценко, В.О. Губеня. Київ : НУХТ, 2010. С. 62-79.

5. Теплове обладнання підприємств харчування : навч. посібник / Б.М. Кисимов, Е.Д. Сторожева. Вид-во ЮУрГУ, 2006. 79 с.

6. Випарювання і випарні апарати у розрахунках і конструюванні : навч. посібник / В.Р. Кулінченко, В.Г. Мирончук. Київ : Кондор, 2006. 392 с.

7. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник. 2-ге вид., доп. та випр. / О.І. Черевко, А.М. Поперечний. Харків : Світ Книг, 2014. С. 209-379.

8. Теплове обладнання підприємств харчових виробництв (спец. 133 «Галузеве машинобудування») [Електронний ресурс] : Портал дистанційного навчання Державного біотехнологічного університету. URL : <http://moodle.btu.kharkiv.ua/course/view.php?id=2358>.

Навчальне електронне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

**ТЕПЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ
ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

**Частина 1.
ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ТЕПЛОВУ ОБРОБКУ, ОБЛАДНАННЯ ТА
ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

Конспект лекцій

Укладачі:

ШЕВЧЕНКО Андрій Олександрович
МИХАЙЛОВ Валерій Михайлович
ПРАСОЛ Світлана Володимирівна

Підп. до друку 18.02.2025 р. Один електронний оптичний диск (CD-ROM);
супровідна документація. Об'єм даних 5,25 Мб. Тираж 10 прим.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44