



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,  
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**Харківський державний університет  
харчування та торгівлі**

**РОЗРАХУНОК АПАРАТІВ ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ КУЛІНАРНИХ  
ВИРОБІВ КОМБІНОВАНИМИ СПОСОБАМИ НА ОСНОВІ  
ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРІВАННЯ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання курсового проекту  
з дисциплін «Процеси та апарати харчових виробництв»,  
«Технологічне обладнання галузі»  
для студентів, що навчаються за напрямками підготовки:  
6.050502 «Інженерна механіка»,  
6.051701 «Харчові технології та інженерія»

Харків

2012

Затверджено на засіданні кафедри процесів,  
апаратів та автоматизації харчових виробництв,  
протокол № 3 від « 2 » листопада 20 11 р.

Схвалено навчально-методичною комісією  
факультету обладнання та технічного сервісу,  
протокол № 3 від « 28 » листопада 20 11 р.

Рецензент к.т.н., доц. Д.П. Семенюк

## **ВСТУП**

Методичні вказівки призначені для курсового проектування з дисциплін:

- «Процеси та апарати харчових виробництв» для студентів, що навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка»;
- «Технологічне обладнання галузі» для студентів, що навчаються за напрямом підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія».

Теоретична та розрахункова частини також можуть бути використані під час виконання випускових робіт освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» для студентів спеціальності 8.05050313 «Обладнання переробних та харчових виробництв».

## **1 ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

### **1.1 Учбово-методичні завдання курсового проектування**

Виконання курсового проекту є завершальним етапом вивчення теорії та практичного застосування знань з дисциплін «Процеси та апарати харчових виробництв» та «Технологічне обладнання галузі».

Мета виконання курсового проекту – закріпити та поглибити знання з дисциплін, набути практичних навичок застосування цих знань у роботі з проектними матеріалами.

Тематика курсового проекту пов'язана з проектуванням обладнання для підприємств харчової промисловості та ресторанного господарства. При цьому враховуються напрямки розвитку харчової промисловості в Україні, досягнення науки і техніки на сучасному етапі, перспективи розвитку галузей і зарубіжний досвід.

## **1.2 Обсяг і зміст завдань**

Після ознайомлення із завданням студенту необхідно підібрати зазначену літературу і довідкові матеріали (креслення, інструкції з монтажу й експлуатації апарата та ін.).

Приставаючи до роботи над курсовим проектом, студент має вивчити конструкцію апарата, чітко і ясно зрозуміти фізичний зміст процесів, розглянутих у теоретичній частині, а потім приступити до розробки окремих частин апарата і розрахунково-пояснювальної записки.

Проект складається з пояснювальної записки (20...30 стор. машинописного тексту) та графічної частини (1 лист формату А1).

Виконання графічної частини може бути здійснено олівцем, але бажаним є застосування сучасних комп'ютерних програм, зокрема графічного пакету AutoCAD. Масштаби відображень на кресленнях повинні обиратися з наступного ряду: 1:1; 1:2; 1:2,5; 1:4; 1:5; 1:10; 1:20; 1:25; 1:50; 1:100.

## **1.3 Оформлення розрахунково-пояснювальної записки**

Пояснювальна записка повинна містити наступні розділи:

1. Теоретичні основи технологічного процесу, для якого розробляється проект. Літературний огляд існуючого обладнання для реалізації процесу. Обґрунтування вибору апарата.
2. Вимоги до апарату, що проектується.
3. Будова та принцип дії апарата.
4. Проектний розрахунок апарата.
5. Правила експлуатації та техніка безпеки.
6. Техніко-економічне порівняння спроектованого апарату з існуючими.
7. Висновок.
8. Список використаної літератури.

## 2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Процеси теплової обробки кулінарних виробів шляхом смаження, випікання та запікання

Під час теплової обробки сировини відбувається низка перетворень, пов'язаних зі зміною структурно-механічних, фізико-хімічних та органолептичних властивостей, що в сукупності визначають готовність кулінарного виробу, його консистенцію, колір, запах, смак. Загалом теплові процеси поділяють на основні та специфічні. До основних відносять смаження (смаження з використанням та без жиру, випікання, запікання тощо). До специфічних процесів – електрофізичні методи (інфрачервоне, електроконтактне нагрівання та ін.).

Смаженням називають процес нагрівання продукту з жиром чи без нього за температури вище  $100^{\circ}\text{C}$ , під час якого відбувається вилучення з продукту деякої частини вологи та повна або часткова зміна кольору. Цей метод теплової обробки характеризується складними фізико-хімічними, масообмінними, структурно-механічними та іншими супутніми процесами. За технологічним принципом смаження поділяють на основні, допоміжні та комбіновані процеси.

Основні процеси здійснюються за температури  $150\dots 190^{\circ}\text{C}$  на відкритій нагрівальній поверхні, змащеній невеликою кількістю жиру, та забезпечують доведення продукції до кулінарної готовності з утворенням на поверхні специфічної підсмаженої скоринки.

Під час смаження використовують тонкий шар жиру, що виконує функції проміжного теплоносія для попередження перегріву окремих ділянок поверхневих шарів продуктів та зниження адгезії. Жир проникає всередину продукту і підвищує його харчову цінність. Однак, у випадку щільного контакту продукту з нагрівальною поверхнею та за наявності протиадгезійного шару смаження може відбуватися і без використання жиру. Зазвичай, таким способом обробляють продукти, що мають у своєму складі досить велику кількість жиру, який під час нагріву виплавляється, створюючи на нагрівальній поверхні тонкий проміжний шар.

За умов смаження з використанням жиру механізм теплопередачі складається з чотирьох послідовних етапів: на першому етапі теплота передається конвекцією від нагрівальної поверхні до жиру; на другому – теплопровідністю в тонкому шарі жиру; на третьому – конвекцією від жиру до продукту; на четвертому – теплопровідністю від зовнішніх до внутрішніх шарів продукту.

Серед переваг смаження перед іншими видами теплової обробки слід відмітити більш високі теплотехнічні характеристики процесу. Це зумовлено тим, що теплота від нагрівальної поверхні передається безпосередньо продукту лише через тонкий шар жиру.

До основних процесів смаження також відносять випікання. Цей процес здійснюють шляхом розміщення у змащеній жиром судині виробів, її встановлені в закритій камері з нагрітим до 150...350° С повітрям. Підведення теплоти здійснюється від нагрітої поверхні та теплоносія одночасно.

Основним недоліком випікання є деяка нерівномірність температурного поля за об'ємом напівфабрикату. Шар продукту, який прилягає до судини, переважно нагрівається більш інтенсивно внаслідок передачі теплоти теплопровідністю.

Загальним недоліком наведених процесів є ймовірність отримання на поверхні продукту нерівномірної скоринки, в результаті чого погіршується зовнішній вигляд та відбуваються місцеві перегріву. Це зумовлюється тим, що харчові продукти мають складну форму та їхня поверхня не є гладкою.

Допоміжні процеси поділяються на обжарювання, пасерування і запікання. Їх метою є отримання додаткового технологічного ефекту в процесі теплової обробки. Так, під час обжарювання продуктів отримують лише підсмажену скоринку та специфічний аромат, а до стану кулінарної готовності їх доводять іншими способами теплової обробки.

Запікання використовують для отримання рум'яної підсмаженої скоринки на поверхні продуктів, які попередньо пройшли теплову обробку і дійшли до стану напівготовності. Продукти запікають у середовищі нагрітого повітря в судині, змащеній жиром, що запобігає їхньому прилипанню, з додаванням

соусів, яєць або молока. Деякі види продуктів (рибу, м'ясо) запікають сирими і доводять відтак до кулінарної готовності.

У більшості випадків смаження не дозволяє отримати необхідного технологічного ефекту, тобто довести продукти до стану кулінарної готовності, на що впливають особливості їх структури, геометричні розміри тощо. Внаслідок цього на певному етапі, або паралельно використовують додатковий тепловий вплив, наприклад електрофізичними методами обробки – інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням, електричним струмом (електроконтактне нагрівання) тощо. Такі процеси відносять до комбінованих способів теплової обробки. Вони забезпечують високі техніко-економічні показники, зниження трудомісткості та екологічну чистоту й нешкідливість технології.

## **2.2 Процес електроконтактного нагрівання**

Процес, під час якого електрична енергія перетворюється в теплову безпосередньо в провідному середовищі, називають електроконтактним нагрівом (ЕКН). Отримання при цьому внутрішньої енергії за всім об'ємом продукту є важливою перевагою метода. Теплота виділяється безпосередньо в оброблюваному матеріалі, а навколишні деталі залишаються холодними. Серед інших переваг можна відмітити простоту апаратного оформлення, швидкоплинність та можливість контролю і регулювання енергетичних параметрів.

Контактне нагрівання також називають прямим електронагрівом опором, що в свою чергу поділяється на електроконтактний (нагрів металевих тіл) та електродний (нагрів струмопровідних матеріалів з іонною провідністю).

Основні розробки цього методу проводились до середини 80-х р.р. минулого сторіччя. В класифікації, наведеній в [4] розділяють низькочастотні процеси [4, с. 4-9] та процеси високочастотного нагріву [4, с. 9-19].

Щодо застосування ЕКН, то в деяких випадках пропонується його використання під час виробництва хлібобулочних виробів. Випікання електрострумом протікає досить швидко. Його тривалість залежить від напруги в електромережі, з чим безпосередньо пов'язана кількість теплоти, яку отримує

тісто. Нагрів можна здійснювати, підтримуючи постійну напругу на контактуючих клеммах (сила струму змінюється), або змінюючи напругу, тоді сила струму – постійна. З практичної точки зору більш простим є перший спосіб.

ЕКН застосовують для розморожування харчових продуктів, наприклад, рибних блоків. Для цього процесу використовують струми промислової частоти. Бічні грані блоків риби, що занурені у воду, контактують з електродами. В результаті відбувається нагрів та відповідне розморожування.

В процесах сушіння на тютюновому виробництві ЕКН впливають на вологий матеріал (листя тютюну) та тютюнові блоки.

Використовують ЕКН в ковбасному виробництві та для виробництва продукції на основі січеної сировини. До складу таких фаршевих гетерогенних систем входять подрібнені на м'ясорубці продукти (діелектрики) та розчин солей (електроліт), що утворюється з водного розчину NaCl та рідини зі зруйнованих під час подрібнювання клітин продуктів.

З фізичної точки зору ЕКН, або нагрівання електричним опором харчових продуктів описується законом Джоуля-Ленца. Тобто електроконтактним нагрівом є процес проходження впродовж часу електричного струму через продукт з певним електричним опором, що викликає виділення в ньому теплової енергії:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \quad (2.1)$$

де  $Q$  – теплова енергія, Дж;  $I$  – сила струму, А;  $R$  – опір, Ом;  $\tau$  – час, с.

### **2.3 Комбіновані теплові процеси**

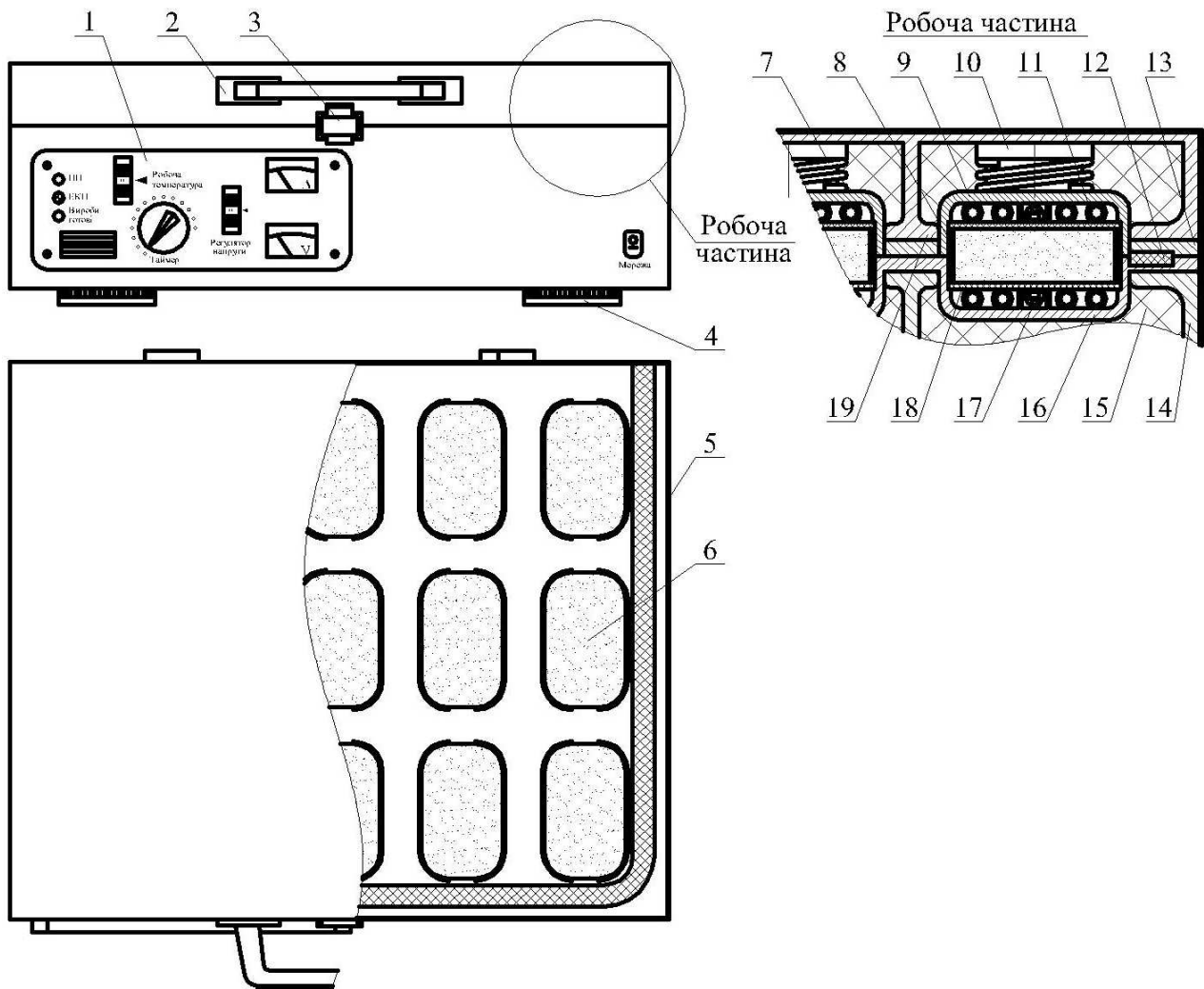
З метою уникнення недоліків традиційних технологій виробництва, що в більшості випадків полягають у значній тривалості процесів, високій трудомісткості та енерговитратах, низькому ККД та деколи невідповідній якості виробів, використовують комбіновані процеси. Також доцільним є комбінування ЕКН з іншими процесами, що дозволить отримувати скоринку на поверхні виробів.



В комбінованих способах теплової обробки використовуються два джерела нагріву харчових продуктів. Можливі варіанти комбінації як традиційних так і електрофізичних методів теплового впливу. Так комбінують нагрівання ІЧ та поверхневе; НВЧ та ІЧ; НВЧ та конвективне нагрівання. Комбіновані способи теплової обробки харчових продуктів дозволяють значно підвищити смакові якості та біологічну цінність готової кулінарної продукції.

## **2.4 Апарати для комбінованої теплової обробки на основі ЕКН**

*Пристрій комбінованого смаження січених кулінарних виробів* відноситься до апаратів комбінованого смаження харчових продуктів з використанням електроконтактного та поверхневого нагрівів і може використовуватися у харчовій промисловості та на підприємствах ресторанного господарства для смаження січеної кулінарної продукції. Його сутність пояснюється принциповою схемою, наведеною на рис. 2.1. Він складається з двох шарнірно поєднаних нижнього 14 та верхнього 19 каркасів з теплоізоляцією 15. До нижнього каркасу 14 закріплено цільну штамповану основу 16, а до верхнього каркасу 19 – плиту 13 з отворами, в які входять рухомі утримувачі 9, що закріплені у фіксаторах 10 на пружинах 7. У штампованій основі 16 виконано канавку для розміщення прокладки з термостійкої гуми 12, що запобігає виходу пари з передньої частини пристрою і тим самим захищає обслуговуючий персонал від опіків. З внутрішнього боку рухомих утримувачів 9 і западинах штампованої основи 16 в пазах розміщено гріючі плитки 18, які фіксуються закріпленими електродами 8. В об'ємах, що утворюються гріючими плитками 18 та електродами 8, розміщуються напівфабрикати 6. Нагрівання гріючих плиток 18 здійснюється електронагрівачами 11, розміщеними з їх внутрішнього боку. Для визначення температури та її регулювання на поверхні гріючих плиток встановлено термодатчики 17. Ззовні пристрій облицьовано сталевими листами 5, на передній панелі змонтовано пульт керування 1. Пристрій встановлюється на чотири опорні ніжки 4 і закривається ручкою 2 за допомогою механічного затискувача 3.



**Рисунок 2.1 – Пристрій комбінованого смаження січених кулінарних виробів:**

**1 – пульт керування; 2 – ручка; 3 – механічний затискувач; 4 – опорні ніжки; 5 – облицьовочні сталеві листи; 6 – напівфабрикати; 7 – пружини; 8 – електроди; 9 – рухомі утримувачі; 10 – фіксатори; 11 – електронагрівачі; 12 – прокладка з термостійкої гуми; 13 – плита з отворами; 14, 19 – нижній та верхній каркаси, відповідно; 15 – теплоізоляція; 16 – штампована основа; 17 – термодатчики; 18 – гріючі плитки**

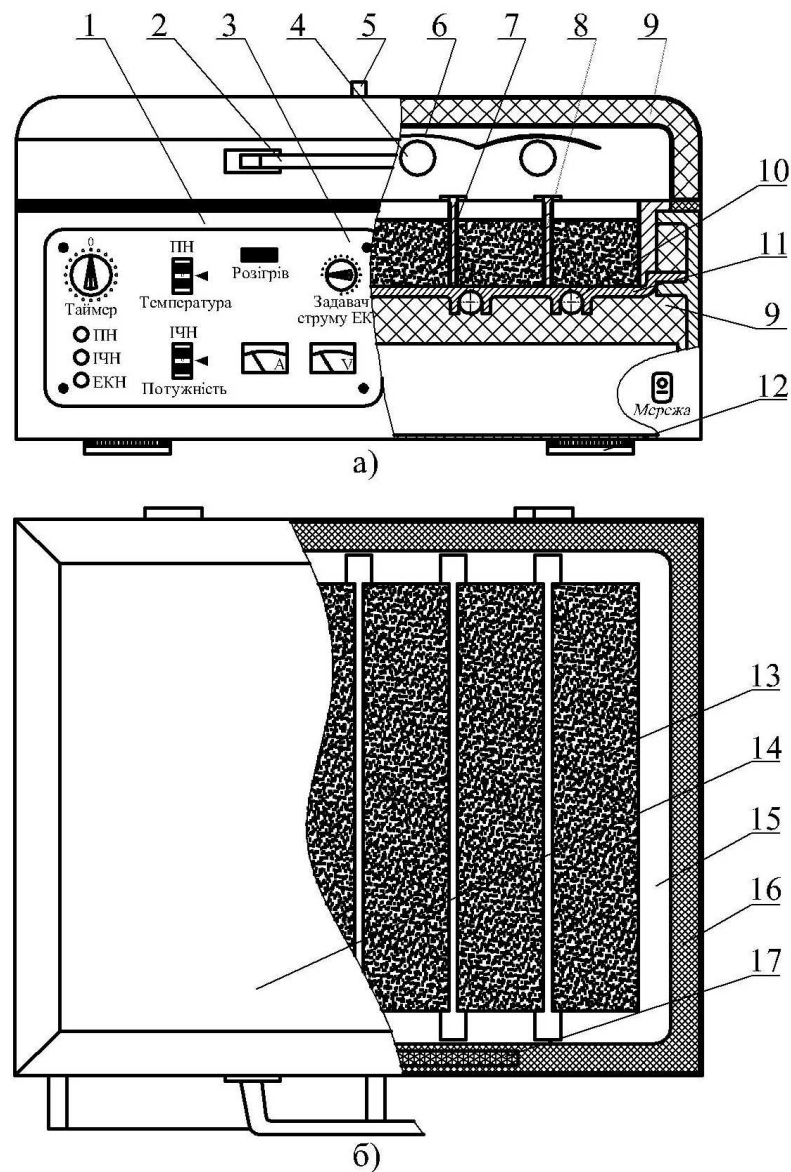
У разі вмикання пристрою за допомогою вимикача «Мережа» у пристрій подається електричний струм. Для розігріву робочих плиток 18 на пульті керування 1 регулятором задають значення температури, при досягненні якої спрацьовують термодатчики 17, що дозволяє автоматичним ввімкненням та вимкненням електронагрівачів 11 підтримувати заданий температурний режим. За допомогою регулятора напруги електричного струму ЕКН встановлюють її необхідне значення в залежності від виду напівфабрикатів.

За допомогою ручки 2 піднімають верхній каркас 19, на гріючі плитки 18 між парами електродів 8 кладуть сформовані січені напівфабрикати 6 і закривають пристрій за допомогою ручки 2 на механічний затискувач 3. Щільний контакт напівфабрикату 6 з гріючими плитками 18 і електродами 8 забезпечується рухомими утримувачами 9, що притискаються пружинами 7, якими створюється тиск  $10^4$  кПа на напівфабрикат 6. На пульті керування 1 задають тривалість процесу смаження за допомогою таймера, а також контролюють величину напруги і сили електричного струму за показаннями вмонтованих амперметра та вольтметра.

Після закінчення заданого часу процес нагрівання припиняється, про що повідомляється спеціальною індикацією та звуковим сигналом. Для вивантаження виробів механічний затискувач 3 розмикають, пристрій розкривають за ручку 2, піднімають верхній каркас 19 і фіксують його у вертикальній позиції. Вироби виймають за допомогою дерев'яної лопатки, після чого робочі поверхні очищують спеціальними скребками, промивають і насухо витирають.

***Багатофункціональний пристрій теплової обробки харчових продуктів*** належить до групи теплових апаратів, призначених для здійснення теплової обробки харчових продуктів з використанням поверхневого, інфрачервоного та електроконтактного нагріву, або їх комбінації та може використовуватися на підприємствах ресторанного господарства та харчової промисловості для смаження, запікання та випікання широкого асортименту кулінарної продукції. Пристрій (рис. 2.2) становить собою металевий корпус 1 з теплоізоляцією 9, встановленого на опорні ніжки 12. На передній панелі пристрою змонтовано пульт керування 3. Усередині корпусу розміщена завантажувальна чаша, що складається з чавунної основи 11 та діелектричних бортів 15. Основа чаші з внутрішнього боку (робоча зона) покрита протипригарним фторопластовим покриттям, а ззовні в спеціальних пазах установлені електричні нагрівальні елементи 10. На двох протилежних бічних поверхнях бортів 15 з певним кроком виконано пази, в які вставляються електродні секції 8 з електродами 7. При цьому забезпечується з'єднання електродів з джерелом електричного

струму через регулятор напруги. Верхня частина пристрою має відкидну кришку 14 з ручкою 2, на внутрішньому боці якої змонтовано ІЧ-нагрівачі 4 з відбивачами 6, а в середині виконано отвір для розміщення парового клапану 5. Кришка 14 щільно закриває корпус 1 за допомогою прокладки з термостійкої гуми 16 і магніту 17.



**Рисунок 2.2 – Багатофункціональний пристрій теплової обробки харчових продуктів: а) вид спереду; б) вид зверху; 1 – корпус; 2 – ручка; 3 – пульт керування; 4 – ІЧ-нагрівачі; 5 – паровий клапан; 6 – відбивач; 7 – електроди; 8 – електродні секції; 9 – теплоізоляція; 10 – електричні нагрівальні елементи; 11 – основа чаші; 12 – опірні ніжки; 13 – напівфабрикат; 14 – відкидна кришка; 15 – борт чаші; 16 – гумова прокладка; 17 – магніт**

Принцип дії пристрою полягає в наступному. Перед початком роботи відкривають відкидну кришку 14, після чого в пазах бортів 15 вставляють електродні секції 8 з електродами 7. Натисненням на пульті керування 3 відповідного вмикача забезпечують розігрів основи 11 завантажувальної чаші до робочої температури, а також задають вихідні параметри процесу теплової обробки (температуру поверхні нагріву, потужність ІЧ-нагріву, напругу для ЕКН).

Після цього в завантажувальній чаші на основі 11 між електродними секціями 8 розміщують напівфабрикати 13 і закривають кришку 14. За допомогою таймера на пульті керування 3 встановлюють час, що необхідний для теплової обробки.

В момент закінчення часу теплової обробки нагрів припиняється, про що свідчить звуковий сигнал. Далі вимикають пристрій, відкривають відкидну кришку 14 і вироби виймають за допомогою дерев'яної лопатки. Електродні секції 8 витягують, поверхню завантажувальної чаші 11 та електродів 7 очищують, промивають теплою водою і насухо витирають.

### 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

#### 3.1 Завдання курсового проекту

Виконати розрахунок пристрою для комбінованої теплової обробки кулінарних виробів з використанням ЕКН за варіантом.

#### Варіанти завдання

Варіант	1	2	3	4	5	6
призначення пристрою	сма- ження	сма- ження	запі- кання	запі- кання	випі- кання	випі- кання
кількість напівфабрикатів $n$ , од.	15	15	6	5	6	5
розміри напівфабрикату (шир. $\times$ висота $\times$ довжина) $(a \times b \times h) \cdot 10^3$ , м, або лінійний розмір $l \cdot 10^3$ , м	3	2,5	50 $\times$ 25 $\times$ 300	60 $\times$ 30 $\times$ 250	50 $\times$ 25 $\times$ 300	60 $\times$ 30 $\times$ 250
маса напівфабрикату $m$ , кг	0,122	0,118	0,450	0,500	0,450	0,500

Продовження таблиці

Варіант	1	2	3	4	5	6
початкова температура напівфабрикатів $t_0, ^\circ\text{C}$	18	20	18	20	18	20
кінцева температура в середині напівфабрикатів $t_1, ^\circ\text{C}$	80	90	90	90	80	80
кінцева температура скоринки $t_2, ^\circ\text{C}$	115	120	120	120	115	115
робоча температура нагрівальної поверхні $t, ^\circ\text{C}$	160	170	180	160	170	160
тривалість розігріву до робочої температури $\tau_p, \text{c}$	300	320	300	360	300	360
середня питома електропровідність, $\sigma_{\text{пит.}}, \text{Om}^{-1}/\text{M}$	2,3	2,5	2,5	2,7	1,9	1,7

### 3.2 Розрахунок апарата

**Розрахунок потужності пристрою.** Пристрій працює в двох режимах – розігріву до робочої температури нагрівальної поверхні (нестационарний режим) та робочому режимі – теплової обробки поверхневим, променистим та електроконтактним нагріванням (стаціонарний режим). При цьому потрібна потужність визначається з рівнянь теплового балансу

$$Q' = Q'_5 + Q'_6, \quad (3.1)$$

$$Q'' = Q''_1 + Q''_5, \quad (3.2)$$

де  $Q', Q''$  – потужність нагрівання, відповідно в нестационарному та стаціонарному режимах, Вт;

$Q'_5, Q''_5$  – втрата енергії зовнішніми огорожами у навколишнє середовище, відповідно в нестационарному та стаціонарному режимах, Вт;

$Q'_6$  – витрата потужності на розігрів конструкції, Вт;

$Q''_1$  – корисно використана енергія, Вт.

Потужність, що втрачається зовнішніми стінками пристрою у навколишнє середовище визначається, як

$$Q_5 = \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i (t_{ni} - t_c), \text{ Вт}, \quad (3.3)$$

де  $F_i$  – площа зовнішньої поверхні  $i$ -го елемента,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha_i$  – коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище  $i$ -тим елементом зовнішньої поверхні,  $(\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;

$t_{ni}$  – середня температура  $i$ -го елемента зовнішньої поверхні,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_c$  – температура навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

При цьому коефіцієнт тепловіддачі в навколишнє середовище визначається з емпіричної залежності

$$\alpha = 9,74 + 0,07(t_{ni} - t_c). \quad (3.4)$$

Витрати потужності на розігрів конструкції пристрою складаються:

$$Q'_6 = Q_6^{p.n.} + Q_6^{iz}, \quad (3.5)$$

де  $Q_6^{p.n.}$  – витрата енергії на розігрів робочої поверхні пристрою, Вт ;

$Q_6^{iz}$  – витрата енергії на нагрівання ізоляції, Вт.

Загалом витрата потужності на розігрів конструкції визначається з виразу

$$Q_6 = \sum_{i=1}^n G_i \cdot c_i (t_i - t_c) \cdot \frac{1}{\tau}, \text{ Вт}, \quad (3.6)$$

де  $c_i$  – теплоємність матеріалу  $i$ -го елемента конструкції,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$t_i$  – середня температура нагрітого  $i$ -го елемента конструкції,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_c$  – температура навколишнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\tau$  – тривалість розігріву, с;

$G_i$  – маса  $i$ -го елемента конструкції, кг, що визначається

$$G_i = V_i \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (3.7)$$

де  $V_i$  – об'єм  $i$ -го елемента конструкції,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_i$  – густина конструкційного матеріалу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для визначення витрати енергії на нагрівання теплоізоляційного матеріалу розраховують товщину ізоляційного шару стінок ( $\delta$ , м) для нагрівальної плити

$$\delta = \frac{\lambda(t_1 - t_2)}{q}, \quad (3.8)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;

$t_1, t_2$  – температура внутрішньої та зовнішньої поверхні шару ізоляції відповідно,  $^\circ\text{C}$ ;  $q$  – питомий тепловий потік через шар ізоляції,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Теплові втрати поверхні ізольованої частини

$$q = 0,46t_1 + 40, \quad (3.9)$$

Корисна теплота  $Q_{кор.}$  (Дж), що використовується в стаціонарному режимі теплової обробки, складається з теплоти на нагрівання внутрішніх шарів продукту  $Q_{вн.}$  та на утворення скоринки  $Q_{ск.}$ . При цьому слід зазначити, що теплова обробка в апараті здійснюється комбінованим способом, тобто енергія поступає за рахунок електроконтактного ( $P_{ЕКН}$ ), поверхневого ( $P_{пов.}$ ), та (для багатофункціонального пристрою теплової обробки) променистого ( $P_{пром.}$ ) нагрівання. Припустимо, що теплота від ЕКН використовується на нагрівання внутрішнього шару, а від поверхневого та ІЧ- нагрівів спрямована на формування скоринки. Тоді

$$Q_1'' = \frac{Q_{кор.}}{\tau} = P_{ЕКН} + P_{пов.} + P_{пром.}, \text{ Вт} \quad (3.10)$$



Теплову енергію на нагрівання внутрішніх шарів та скоринки можна представити окремо у вигляді суми енергії на нагрівання напівфабрикату  $Q_n$  та випаровування з нього вологи  $Q_{вип.}$ , що визначаються:

$$Q_n = n \cdot k \cdot G \cdot c \cdot \Delta t, \text{ Дж}, \quad (3.11)$$

де  $n$  – кількість напівфабрикатів;

$k$  – частка від маси напівфабрикату;

$G$  – маса одного напівфабрикату, кг;

$c$  – середня питома теплоємність напів-фабрикату, Дж/кг·°С;

$\Delta t$  – різниця температур, °С;

$$Q_{вип.} = n \cdot k \cdot G \cdot x \cdot r, \text{ Дж}, \quad (3.12)$$

де  $x$  – кількість випареної вологи від початкової маси;

$r$  – скрита теплота пароутворення, Дж/кг.

Для визначення потрібної кількості теплоти на нагрів внутрішніх шарів приймають кількість внутрішнього  $k = 0,75 \dots 0,85$ .

Різниця температур складе  $\Delta t = t_1 - t_0$ , °С. За цієї температури з довідкових таблиць визначається скрита теплота пароутворення  $r$ , Дж/кг.

Вологовміст продукту приймають 50...70%, при цьому середня питома теплоємність  $c$ , Дж/кг·К, визначається з довідкових таблиць.

Кількість випареної вологи від початкової маси приймають 10...20%.

За такою ж послідовністю визначається енергія на утворення скоринки. Зміну температури скоринки представимо як таку, що змінюється поетапно: на 1-му етапі як і для внутрішнього шару  $\Delta t_1 = t_1 - t_0$  °С та на 2-му – від  $t_1$  до  $t_2$  ( $t_2 = 115^\circ \text{C}$  – кінцева температура скоринки), а отже  $\Delta t_2 = t_2 - t_1$ , °С.

Слід зауважити, що на 2-му етапі маса продукту буде меншою за рахунок випареної вологи на 1-му, тому приймаємо на 2-му етапі втрату маси скоринки 40...50%.

Розв'язання рівняння (3.10) можливе за відомої тривалості процесу  $\tau$ , яка визначається з рівняння для теплової енергії поверхневим нагріванням

$$Q_{нов.} = \frac{\Delta t_{сер.} \cdot S \cdot \tau}{\frac{\delta_{ск.}}{\lambda_{ск.}}}, \text{ Дж}, \quad (3.13)$$

звідки

$$\tau = \frac{Q_{нов.} \cdot \frac{\delta_{ск.}}{\lambda_{ск.}}}{\Delta t_{сер.} \cdot S}, \text{ сек}, \quad (3.14)$$

де  $\Delta t_{сер.}$  – середня різниця температур, °С;

$S$  – площа контакту напівфабрикатів з поверхнею нагрівання, м<sup>2</sup>;

$\delta_{ск.}$  – товщини скоринки, м;

$\lambda_{ск.}$  – середнє значення коефіцієнту теплопровідності скоринки ( $\lambda_{ск.}$  приймають в межах 0,25...0,35 Вт/м·К).

Середня різниця температур скоринки за умов, що  $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}} > 2$  ( $\Delta t_{\delta} = t - t_0$  – більша різниця між температурою нагрівальної поверхні  $t$  та початковою температурою напівфабрикату  $t_0$ ;  $\Delta t_{м} = t - t_{сер.}$  – менша різниця між  $t$  і середньою кінцевою температурою скоринки  $t_{сер.}$ ), дорівнюватиме:

$$\Delta t_{сер.} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{2,31 \lg \left( \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}} \right)}, \text{ }^{\circ}\text{С}. \quad (3.15)$$

Середня кінцева температура скоринки під час її формування визначається

$$t_{сер.} = \frac{t_1 + t_2}{2}, \text{ }^{\circ}\text{С}, \quad (3.16)$$

де  $t_1$  – кінцева температура скоринки на 1-му етапі теплової обробки, °С;  
 $t_2$  – кінцева температура скоринки, °С.

Необхідна кількість теплоти на формування скоринки з одного боку буде рівною як від поверхневого нагрівання, так і від променистого ( $Q_{нов.} = Q_{пром.}$ ), тобто дорівнюватиме  $\frac{1}{2} Q_{ск.}$ .

Теплова обробка електричним струмом характеризується виділенням теплової енергії безпосередньо в продукті з мінімальним нагріванням конструктивних елементів апарату, тому припустимо, що вся енергія  $Q_{ЕКН}$  має корисну дію і  $Q_{ЕКН} = Q_{вн.}$

Визначимо потужності нагрівання:

- для ЕКН

$$P_{ЕКН} = \frac{Q_{ЕКН}}{\tau} \text{ Вт}; \quad (3.17)$$

- для поверхневого та ІЧ:

$$P_{нов.} = P_{ІЧ} = \frac{Q_{ск.}}{\tau} \text{ Вт}. \quad (3.18)$$

**Розрахунок електроконтактного нагрівання.** Вхідним параметром, що визначатиме весь перебіг процесу електроконтактного нагрівання є напруга електричного струму, що з точки зору безпеки не повинна перевищувати 42 В та може бути визначена з закону Джоуля-Ленца у вигляді

$$Q_{ЕКН} = U^2 \cdot \sigma_{нум.} \cdot l \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (3.19)$$

звідки

$$U = \sqrt{\frac{Q_{ЕКН}}{\sigma_{нум.} \cdot l \cdot \tau}}, \text{ В}, \quad (3.20)$$

де  $U$  – напруга електричного струму, В;

$\sigma_{num.}$  – середня питома електропровідність, Ом<sup>-1</sup>/м (береться відповідно до завдання);

$l = S_{el.}/h$  – лінійний розмір, м;

$S_{el.}$  – площа контакту електрода з напівфабрикатом, м<sup>2</sup>;

$h$  – міжелектродна відстань, м.

Електричний струм підводиться до кожного напівфабрикату окремо, тому для визначення потрібної напруги необхідно  $Q_{ЕКН}$  поділити на кількість напівфабрикатів  $n$ . Тоді вираз (3.20) приймає вигляд:

$$U = \sqrt{\frac{Q_{ЕКН}}{n \cdot \sigma_{num.} \cdot l \cdot \tau}}. \quad (3.21)$$

Отримана напруга ЕКН має не перевищувати безпечні 42 В, в іншому випадку необхідно виконати перерахунок тривалості процесу за виразом

$$\tau = \frac{Q_{ЕКН}}{U^2 \cdot n \cdot \sigma_{num.} \cdot l}, \text{ с} \quad (3.22)$$

та потужності поверхневого нагрівання за формулою (3.18).

**Розрахунок електронагрівачів в апараті ПКС-0,18.** Потужність одного нагрівача, відповідно, у нестационарному режимі та стаціонарному режимі визначається:

$$P' = \frac{Q'}{n}, \text{ Вт}; \quad P'' = \frac{Q''}{n}, \text{ Вт}, \quad (3.23)$$

де  $n$  – кількість електронагрівачів, од.

До подальшого розрахунку слід прийняти більше значення потужності.

Довжина дроту спіралі:

$$l = \frac{\pi d^2 R_1}{4\rho}, \text{ м} \quad (3.24)$$

де  $d$  – діаметр дроту спіралі, мм ( $d = 0,4 \dots 0,6$  мм);

$\rho$  – питомий опір матеріалу спіралі,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ , ( $\rho = 1,05$  (Ом·мм<sup>2</sup>)/м);

$R_1$  – опір спіралі, що визначається з формули:

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1}, \text{ Ом}, \quad (3.25)$$

де  $U$  – напруга, що подається до електронагрівача, В ( $U = 20 \dots 40$  В).

Довжина витку спіралі:

$$l_g = 1,07\pi(d_{cm} + 2d), \quad (3.26)$$

де  $d_{cm}$  – діаметр стрижня намотки спіралі, м ( $d = 0,3 \dots 0,6$  мм).

Кількість витків:

$$m = \frac{l}{l_g}. \quad (3.27)$$

Довжина спіралі:

$$l_{cn} = (d + a) \cdot (m - 1), \quad (3.28)$$

де  $a$  – відстань між сусідніми витками, м (можна прийняти  $a = 1 \cdot 10^{-3}$  м).

Геометричні характеристики спіралі

$$x = \frac{d}{D_k}; \quad y = \frac{d}{d_g}; \quad z = \frac{D_k}{d_g}; \quad K_1 = \frac{h}{d}, \quad (3.29)$$

де  $D_k$  – діаметр канавки для розміщення спіралі, м ( $D_k = (4 \dots 6) \cdot 10^{-3}$  м);

$d_g$  – діаметр витка спіралі, м;

$h$  – крок намотки спіралі, м ( $h = (3...4) \cdot 10^{-3}$  м).

Питомий тепловий потік на одиницю довжини спіралі

$$q_l = \frac{P_1}{l_{cn} \cdot 10^2}, \text{ Вт/см.} \quad (3.30)$$

Перепад температури в ізоляційному шарі

$$\Delta t_{iz} = \frac{\Delta t}{q_l}, \quad (3.31)$$

де  $\frac{\Delta t}{q_l}$  – перепад температур в ізоляційному шарі нагрівача на одиницю

теплого потоку, що можна прийняти у межах 2...4 (см·°C)/Вт.

Робоча температура спіралі ( $t_{cn}, ^\circ\text{C}$ )

$$t_{cn} = 1,3\Delta t_{iz} + t_{p.n.}, \quad (3.32)$$

де 1,3 – коефіцієнт, що враховує перепад температури у контактному шарі (поверхня дроту – ізоляційна маса);

$t_{p.n.}$  – температура робочої поверхні, °C.

**Розрахунок ТЕНів в апараті ПТО-0,1.** Потужність одного ТЕНу в нестационарному та стаціонарному режимах визначається відповідно до (3.23). До подальшого розрахунку приймають більше значення потужності.

Довжина активної (нагрівальної) частини ТЕНу ( $L_a$ , м)

$$L_a = \frac{P_1}{\pi DW}, \quad (3.33)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр трубки ТЕНу, см;

$W$  – поверхнева потужність ТЕНу, Вт/см<sup>2</sup>.

Повна довжина трубки з урахуванням пасивних кінців ( $L$ , м)

$$L = L_a + 2L_n, \quad (3.34)$$

де  $L_n$  – довжина пасивних кінців трубки, м ( $L_n \approx 0,05$  м),

Струм, споживаний одним ТЕНом ( $J$ , А)

$$J = \frac{P_1}{U}, \quad (3.35)$$

де  $U$  – напруга електромережі, В.

Електричний опір дроту ТЕНу ( $R_1$ , Ом)

$$R_1 = \frac{U}{J}. \quad (3.36)$$

Довжина дроту спіралі, витка спіралі та число витків визначаються за виразами (3.24), (3.26) та (3.27), відповідно.

Крок намотування витків спіралі ( $K$ , мм)

$$K = \frac{L_a}{n}. \quad (3.37)$$

Потрібна кількість дроту (з урахуванням необхідного нагвинчування на кінці контактної стрижня 20 витків спіралі) для одного ТЕНу ( $l_n$ , м)

$$l_n = l + \frac{(2 \cdot 20 \cdot l_s)}{1000}. \quad (3.38)$$

Внутрішній діаметр трубки ТЕНу ( $D_{вн}$ , мм)

$$D_{вн} = D - 2\delta_{тр}, \quad (3.39)$$

де  $\delta_{тр}$  – товщина стінки трубки, мм (зазвичай приймають  $\delta_{тр} = 2$  мм).

Діаметр витка спіралі ( $d_s$ , мм)

$$d_s = 2d + d_{см}. \quad (3.40)$$

Геометричні характеристики спіралі визначають за (3.29).

Питомий тепловий потік на одиницю довжини ТЕНу

$$q_l = \frac{P_1}{L_a}. \quad (3.41)$$

Перепад температури в ізоляційному шарі та робоча температура спіралі визначаються за виразами (3.31) та (3.32), відповідно.

Тип нагрівача обирають зі стандартної серії.

**Розрахунок ІЧ випромінювачів.** Під час нагрівання інфрачервоними променями кількість теплоти  $Q_{\text{пром}}$  складається з конвективної енергії та енергії випромінювання. При цьому конвективна складова дорівнюватиме

$$Q_k = \alpha \cdot \Delta t_k \cdot S \cdot \tau, \text{ Дж}, \quad (3.42)$$

де  $\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_n}{l_k}$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$Nu = c(\text{Pr} \cdot Gr)^n$  – число Нусельта при природній конвекції;

$c, n$  – коефіцієнти, що обираються в залежності від добутку  $\text{Pr} \cdot Gr$ ;

$\text{Pr}$  – критерій Прандля (за температури нагрітого повітря, яку приймають  $t_n = 200 \dots 240$  °С з довідкових таблиць визначають критерій  $\text{Pr}$ );

$Gr$  – критерій Грасгофа;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$l_k = \frac{4S}{\Pi}$  – визначальний геометричний розмір, м;

$\Pi = 2(a + h)$  – периметр, м;

$a, h$  – розміри поверхні нагрівання, м (за умов поставленої задачі);

$\nu_n$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м<sup>2</sup>/с;

$\beta = \frac{1}{t_n + 273} \text{ K}^{-1}$  – коефіцієнт об'ємного розширення повітря;

$\lambda_n$  – коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м·К) (з довідкових таблиць за температури повітря);



$\Delta t_k = t_n - t_{сер}$  °С – різниця між температурою гріючого повітря та середньою температурою поверхні напівфабрикату, °С.

Складова частка енергії за рахунок випромінювання  $Q_в$  дорівнюватиме

$$Q_в = Q_{пром} - Q_k, \text{ Дж} \quad (3.43)$$

При цьому у відповідності до закону Стефана-Больцмана

$$Q_в = \varepsilon \cdot C_0 \cdot S \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \tau, \text{ Дж}, \quad (3.44)$$

де  $\varepsilon$  – ступінь чорноти (зазвичай приймають  $\varepsilon = 0,5$ );

$C_0$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла ( $C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ );

$T_1, T_2$  – відповідно температура випромінювача та середня температура напівфабрикату, К.

З виразу (3.44) температура випромінювача:

$$T_1 = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{Q_в}{\varepsilon \cdot C_0 \cdot S \cdot \tau} + \left( \frac{T_2}{100} \right)^4}, \text{ К}. \quad (3.45)$$

Згідно до закону Віна при нагріві випромінюванням взаємозв'язок між температурою випромінювача та довжиною хвилі  $\lambda_в$  описується рівнянням

$$\lambda_в \cdot T = 2,9 \cdot 10^3 \Rightarrow \lambda_в = 2,9 \cdot 10^3 / T. \quad (3.46)$$

Густина теплового потоку ІЧ-нагрівача:

$$q_{ІЧ} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \text{ Вт/м}^2. \quad (3.47)$$

За отриманими даними підбирають ІЧ-випромінювач.

**Розрахунок продуктивності пристрою.** Продуктивність пристрою:

$$G = \frac{M}{\tau_z + \tau_{обр} + \tau_p} \text{ кг/с}, \quad (3.48)$$

де  $M$  – маса одноразово завантажених продуктів, кг;

$\tau_z$  – тривалість завантаження, с;       $\tau_{обр}$  – тривалість теплової обробки, с;

$\tau_p$  – тривалість розвантаження, с.

Продуктивність за основним часом ( $G_0$ , кг/с)

$$G_0 = \frac{M}{\tau_{обр}}. \quad (3.49)$$

**Розрахунок техніко-економічних і експлуатаційних показників.**

Коефіцієнт корисної дії  $\eta$ :

$$\eta = \frac{Q''_1}{Q''_{обц}}. \quad (3.50)$$

Питома металоємність ( $m$ , кг/м<sup>2</sup>)

$$m = \frac{M}{F}, \quad (3.51)$$

де  $M$  – маса металоконструкції, кг;       $F$  – площа робочої поверхні, м<sup>2</sup>.

Питома витрата теплоти

$$q = \frac{Q''_{обц}}{G_0} \text{ Дж/кг}. \quad (3.52)$$

Теплова напруга нагрівальної поверхні

$$T = \frac{P''_1}{F} \text{ Вт/м}^2. \quad (3.53)$$

## Контрольні запитання

1. Як класифікують теплові процеси?
2. У чому полягає сутність процесів смаження, випікання та запікання?
3. Що таке електроконтактне нагрівання? В яких процесах його застосовують?
4. З якою метою використовують комбіновані процеси?
5. Які основні елементи та принцип дії пристрою комбінованого смаження січених кулінарних виробів?
6. Які основні елементи та принцип дії багатофункціонального пристрою теплової обробки харчових продуктів?
7. У чому полягає сутність розрахунку апаратів для теплової обробки кулінарних виробів комбінованим способом на основі ЕКН?

## Список рекомендованої літератури

1. Поперечний А. М., Черевко О. І., Гаркуша В. Б., Кириченко Н. В., Ласкіна Н. А. Процеси та апарати харчових виробництв. Підручник. / За ред. Поперечного А. М. – К. : Центр учбової літератури, 2007. – 304 с.
2. Черевко О. І. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – Х. : Харк. держ. акад. технол. та орг. харчування, 2002. – 420 с.
3. Черевко О. І. Процеси та апарати жаріння харчових продуктів: навчальний посібник / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна. – Х. : ХДАТОХ, 2000. – 332 с.
4. Электрические методы обработки пищевых продуктов : аннотированный библиографический указатель отечественной и зарубежной литературы за 1950-1961 г.г. – М. : ЦИНТИПП, 1962. – С. 4-19.
5. Матов Б. М. Электрофизические методы в пищевой промышленности / Б. М. Матов, Э. В. Решетько. – Кишинев : Картя молдовеняскэ, 1968. – 128 с.
6. Беляев М. И. Комбинированные тепловые процессы производства продуктов на предприятиях общественного питания : дис. ... докт. техн. наук / М. И. Беляев. – Х., 1980. – 497 с.

Навчальне видання

Укладачі:

ЧЕРЕВКО Олександр Іванович  
МИХАЙЛОВ Валерій Михайлович  
БАБКІНА Ірина Володимирівна  
ШЕВЧЕНКО Андрій Олександрович

**РОЗРАХУНОК АПАРАТІВ  
ДЛЯ ТЕПЛОВОЇ ОБРОБКИ КУЛІНАРНИХ ВИРОБІВ  
КОМБІНОВАНИМИ СПОСОБАМИ НА ОСНОВІ  
ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРІВАННЯ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання курсового проекту  
з дисциплін «Процеси та апарати харчових виробництв»,  
«Технологічне обладнання галузі»  
для студентів, що навчаються за напрямками підготовки:  
6.050502 «Інженерна механіка»,  
6.051701 «Харчові технології та інженерія»

Підписано до друку 12.03.2012 р. Формат 60x84 1/16. Папір газет. Друк офсет. Обл.-вид.  
арк. 1,2. Умов. друк. арк. 1,4. Тираж 50 прим. Зам. № 66

---

Харківський державний університет харчування та торгівлі  
61051, Харків-51, вул. Клочківська, 333.

---

ДОД ХДУХТ, Харків-51, вул. Клочківська, 333.