

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут** Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
**Кафедра** теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту

\_\_\_\_\_ Сергій Блаженко  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Валентин Петренко  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_

Холодильні техніка та технологія

на тему: Порівняльна оцінка методів розрахунку охолодження продуктів та їх впливу на безпеку та якість харчових продуктів у харчовій промисловості

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ХМ-2-8М

Теплицький Андрій Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Серьогін Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Консультант \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

\_\_\_\_\_ (підпис та прізвище здобувача)

Київ – 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого  
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри **ТЕХТ**

Валентин ПЕТРЕНКО

“20” листопада 2023 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Теплицького Андрія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Порівняльна оцінка методів розрахунку охолодження продуктів та їх впливу на безпеку та якість харчових продуктів у харчовій промисловості

керівник роботи проф. д.т.н., Серьогін О.О.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 20.11.2023 року № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 05.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи здійснити аналітичний огляд літературних публікацій з проблеми охолодження харчових продуктів; виконати розрахунки тривалості охолодження харчових продуктів в нерухомому повітряному середовищі існуючими способами; порівняти результати тривалості охолодження розраховані різними способами.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Вступ

2. Методи розрахунку тривалості охолодження

3. Розрахунок тривалості охолодження.

4. Цивільний захист

5. Охорона праці

Використана література, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу



## АНОТАЦІЯ

Дослідження методів розрахунку тривалості охолодження харчових продуктів важливе для розрахунку режимів роботи холодильного обладнання, підбору обладнання та оцінки ефективності роботи обладнання.

У розділі 3 узагальнено теоретичні погляди на процес холодильної обробки (охолодження) харчових продуктів, описано шість методів розрахунку тривалості охолодження продуктів. Розділ 4 містить у собі дев'ять розрахунків для трьох продуктів різної стереометричної форми. В кінці другого розділу знаходиться висновок з аналізом всіх методів розрахунку та зведена діаграма тривалості охолодження.

Розділ 6 містить у собі вимоги до мікроклімату, освітлення, випромінювання в приміщеннях, правила безпеки у робочому приміщенні оператора ПЕОМ. Розділ 5 – цивільний захист, включає в себе організацію, вимоги, здійснення радіаційного контролю персоналу та населення у надзвичайних ситуаціях. Розділ 7 – список використаної літератури. Розділ 8 – додатки, таблиці, діаграми використані в роботі.

### *Актуальність*

Дослідження важливе для розрахунку режимів роботи холодильного обладнання, підбору обладнання та оцінки ефективності роботи обладнання та для вибору оптимального способу розрахунку тривалості охолодження продукту.

### *Метою роботи*

Метою є аналіз вже розроблених способів розрахунку тривалості охолодження харчових продуктів різної стереометричної форми (куля, циліндр, пластина) та вибір оптимального способу із існуючих.

|                    |             |                        |               |             |  |                            |             |                |
|--------------------|-------------|------------------------|---------------|-------------|--|----------------------------|-------------|----------------|
|                    |             |                        |               |             | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i>  |                            |             |                |
| <i>Змн.</i>        | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i>        | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |  |                            |             |                |
| <i>Розробив</i>    |             | <i>Теплицький А.О.</i> |               |             | <i>Порівняльна оцінка методів розрахунку охолодження продуктів та їх впливу на безпеку та якість харчових продуктів у харчовій промисловості</i> | <i>Літ.</i>                | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Керівник</i>    |             | <i>Серьозін О.О.</i>   |               |             |  |                            | 4           |                |
| <i>Консультант</i> |             |                        |               |             |  |                            |             |                |
| <i>Рецензент</i>   |             |                        |               |             |  |                            |             |                |
| <i>Затвердив</i>   |             | <i>Петренко В.П.</i>   |               |             |  |                            |             |                |
|                    |             |                        |               |             |  | <i>НУХТ, ТЕХТ, ХМ-2-8М</i> |             |                |

***Об'єктом дослідження***

Об'єктом є процес охолодження харчових продуктів різної стереометричної форми(куля, циліндр, пластина).

***Предметом дослідження***

Предметом є способи розрахунку тривалості охолодження харчових продуктів та визначення ефективнішого методу.

***Наукова новизна роботи***

Полягає у проведенні аналізу вже існуючих способів розрахунку тривалості охолодження харчових продуктів різної стереометричної форми (куля, циліндр, пластина).

***Практичне значення отриманих результатів.***

Аналіз результатів способів розрахунку охолодження харчових продуктів може використовуватися під час проектування систем охолодження.

***Ключові слова:*** методи розрахунку, тривалість охолодження, харчові продукти, холодильне обладнання, стереометрична форма, ефективність роботи, аналіз результатів.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 5    |

## ABSTRACT

The research on methods for calculating the cooling duration of food products is crucial for determining refrigeration equipment operating regimes, selecting equipment, evaluating equipment performance, and choosing the optimal calculation method for cooling duration.

In Chapter 3, theoretical views on the refrigeration process (cooling) of food products are summarized, and six methods for calculating cooling durations are described. Chapter 4 includes nine calculations for three products of different geometric shapes. A conclusion with an analysis of all calculation methods and a diagram of cooling durations is presented at the end of Chapter 2.

Chapter 6 outlines requirements for microclimate, lighting, radiation in premises, and safety regulations for the operator's workplace with a computer. Chapter 5 covers civil defense, including organization, requirements, and radiation control for personnel and the population in emergencies. Chapter 7 lists the literature used, and Chapter 8 includes appendices, tables, and diagrams used in the work.

### ***Relevance:***

The research is important for determining refrigeration equipment operating regimes, equipment selection, evaluating equipment performance, and choosing the optimal method for calculating product cooling duration.

### ***Objective:***

The aim is to analyze existing methods for calculating the cooling duration of food products of various geometric shapes (sphere, cylinder, plate) and select the most efficient method from existing ones.

### ***Research Object:***

The research object is the cooling process of food products of various geometric shapes (sphere, cylinder, plate).

### ***Research Subject:***

The subject includes methods for calculating the cooling duration of food products and determining the most efficient method.

***Scientific Novelty:***

The novelty lies in analyzing existing methods for calculating the cooling duration of food products of various geometric shapes (sphere, cylinder, plate).

***Practical Value:***

The analysis of cooling calculation methods for food products can be used in designing refrigeration systems.

***Keywords: calculation methods, cooling duration, food products, refrigeration equipment, geometric shape, performance efficiency, results analysis.***

# ЗМІСТ

## 1. ВСТУП

## 2. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТРИВАЛОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ

*2.1 Значення холоду в харчовій промисловості та оснащення її холодильним обладнанням*

*2.2 Сутність охолодження*

*2.3 Безмашинне охолодження*

*2.4 Машинне охолодження*

*2.5 Охолодження харчових продуктів*

*2.6 Тепловий розрахунок процесу охолодження*

## 3. РОЗРАХУНОК ТРИВАЛОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ.

*3.1 Розрахунок тривалості охолодження скибки хліба*

*3.2 Розрахунок тривалості охолодження сосиски молочної*

*3.3 Розрахунок тривалості охолодження апельсина*

*3.4 Висновок*

## 4. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## ДОДАТКИ

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 6    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 1.ВСТУП

Сучасний рівень виробництва харчових продуктів характеризується з однієї сторони збільшенням врожайності полів за рахунок введення нових врожайних сортів рослин, селекцією високопродуктивних сортів, хімізацією сільського господарства; з іншого боку – скорочення посівних площ внаслідок будівництва міст, розширення мережі доріг, аеродромів, промислових комплексів, під які найчастіше виділяють кращі землі. Це всевідбувається на тлі постійного і швидкого збільшення населення планети. Питання продовольства стає одним з найбільш важливих і гострота рішення цього питання буде зростати.

За даними ООН з 1980 року до 2000 року населення планети збільшилося вдвічі, отже споживання харчових продуктів і матеріальних ресурсів, які йдуть на їхнє виробництво теж збільшилося.

Зараз проблема полягає не в тому, що харчові ресурси вичерпані, а в тому, що втрати продовольства і сільськогосподарської продукції на шляху від полів до столу споживача досягають значних величин. Зараз у світі виробляється близько 4 млрд. тонн харчових продуктів, половина з яких вимагає холодильної обробки, і лише чверть проходить таку обробку. Близько 30% продукції не доходить до споживача.

Тому необхідне створення беззупинного холодильного ланцюжка, що складається з окремих ланок, які забезпечують умови для беззупинної холодильної обробки і збереження швидкопсуючих продуктів на шляху від місць чи виробництва вирощування до місць споживання.

Тривалість охолодження важлива для розрахунку режиму роботи холодильного обладнання, оцінювання ефективності його роботи тощо.

Вона залежить від швидкості охолодження. Найбільшу тривалість має повітряне охолодження, найменшу — вакуумне. Температурне поле тіла у будь-який момент часу слід знати, щоб контролювати режим охолодження. Зазначені величини можна визначити за допомогою декількох методів, що різняться точністю та трудомісткістю, і під пам'ятати, що всі методи

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 7    |

розрахунку процесу охолодження дають значну похибку через відмінність теплофізичних властивостей реального продукту від розрахункових. Ця похибка за різними даними може становити від 10 до 20 % .

В даній роботі рахується тривалість холодильного оброблення (охолодження) 3-х продуктів різної форми – скибки хліба пшеничного, сосиски молочної та апельсина. Охолоджуються продукти в камері з нерухомим повітрям, продукти в ній знаходяться без упаковки.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 2. МЕТОДИ ТА СПОСОБИ РОЗРАХУНКУ ОХОЛОДЖЕННЯ.

### 2.1. Значення холоду в харчовій промисловості та оснащення її холодильним обладнанням

Багато продовольчих товарів, які перебувають в оптовій і роздрібній торгівлі, є швидкопсувними. Під дією мікроорганізмів, а також унаслідок біохімічних процесів, що відбуваються в продуктах, їхня якість може погіршуватися. При температурі повітря нижче 0 °С життєдіяльність мікроорганізмів уповільнюється і біохімічні процеси протікають повільніше. Тому при зберіганні продовольчих товарів використовують холод. Його застосування дає можливість зберігати первісну якість харчових продуктів і підвищувати тривалість їх зберігання, створювати необхідні товарні запаси на базах і складах оптової та роздрібної торгівлі. Використання холоду дає змогу послабити сезонність реалізації тваринного масла, молочних продуктів, риби, овочів; забезпечувати тривалу збереженість продуктів після виробництва чи заготівлі; розширювати асортимент швидкопсувних товарів для продажу населенню; перевозити продукти на далекі відстані.

Якість продовольчих товарів при застосуванні холоду в певний період лишається без зміни, вони не втрачають природного вигляду, властивого їм смаку й поживності.

### 2.2. Сутність охолодження

Охолодження входить до більшості технологічних послідовностей вироблення харчових продуктів, його використовують для зберігання сировини, вироблення та зберігання продукції.

Холодильне оброблення продуктів та їхнє зберігання за відповідних низьких температур є одним з найбільш досконалих прийомів попередження або уповільнення їх псування. Під час холодильної обробки досягається найбільш повне збереження первинних натуральних властивостей і забезпечуються мінімальні зміни харчової цінності та смаку

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 9    |

продуктів. Обробка холодом зумовлює пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, а також уповільнення хімічних та біохімічних процесів, що відбуваються у продукті під дією власних ферментів: кисню повітря, теплоти та світла. У промисловій практиці найчастіше користуються такими трьома способами холодильної обробки і зберігання продуктів з їх середньооб'ємною температурою: 1) на 1 ...4 °С вище кріоскопічної - це охолодження і зберігання охолоджених продуктів; 2) на 1...2 °С нижче кріоскопічної - це підморожування і зберігання підморожених продуктів; 3) на 15...20 °С нижче кріоскопічної - це заморожування і зберігання заморожених продуктів.

Під кріоскопічною температурою розуміють температуру початку утворення кристалів льоду з тканинних соків продукту; її дуже часто називають температурою замерзання. Для більшості харчових продуктів ця температура знаходиться біля мінус 1,5 °С.

Між охолодженням і заморожуванням є принципова і суттєва різниця, не дивлячись на те, що в обох випадках обробка продукту ведеться за допомогою холоду. При охолодженні намагаються не нанести їм ніяких механічних пошкоджень і зберегти їх цілісність і життєздатність кліток. При цьому способі консервування харчові продукти охолоджують до температур, близьких до 00С, але не нижче точки замерзання.

В охолоджених продуктах найбільш повно зберігаються їх початкові властивості, життєдіяльність мікроорганізмів і активність ферментів уповільнюється, тому терміни зберігання цих продуктів зростають. В охолоджену вигляді плоди та овочі зберігаються до декількох місяців, сметана – до 3 діб, сир та сирні вироби – до 36 годин, молоко до 20 годин.

Охолодження харчових продуктів – процес відводу від них теплоти із зниженням температури до рівня, близького до кріоскопічної точки. Швидкість охолодження продуктів повинна бути максимальною, що гарантує краще збереження їх якостей і найменшу втрату маси. Якщо вона недостатньо велика, то в продуктах часто відбуваються небажані зміни

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 10   |

внаслідок руйнівної дії мікробіологічних і ферментативних процесів, що можуть випереджати процес охолодження.

Продукти охолоджують у випадках відносно короткого терміну їх зберігання (до 10... 15 діб), причому охолоджені продукти за своїми властивостям майже не відрізняються від неохолоджених.

Охолодження дуже часто є одним з етапів технологічного процесу виробництва різноманітних харчових продуктів. Охолодженню піддають карамель, глазури та шоколад з метою переведення їх з пластичного стану в твердий у кондитерському виробництві; маргаринову емульсію перед кристалізацією; пивне сусло та пиво перед освітленням; патоку та глюкозу після вакуум-випарювання з метою запобігання колірності ковбаси після термічної обробки; вина з метою прискорення їхнього визрівання та стабілізації; молочні продукти (масло, сир) і т. д.

Підморожування - процес охолодження продуктів до середньооб'ємної температури на 1...3 °С нижче криоскопічної. До підморожування звертаються у тих випадках, коли необхідно продовжити термін зберігання харчових продуктів. При цьому тільки невелика частина води, наявна у продукті, перетворюється у лід.

### 2.3. Безмашинне охолодження

Льодове охолодження - це охолодження з використанням водяного льоду. Цей спосіб заснований на властивості льоду в процесі плавлення поглинати велику кількість теплоти – 335 КДж/кг. Граничною температурою охолодження є температура плавлення льоду при атмосферному тиску - 0°. Практично льодове охолодження дозволяє доводити температуру в охолоджуваному середовищі до 4-6 °С, що достатньо для зберігання багатьох продуктів, які швидко псуються. Залежно від способу одержання водяний лід буває натуральним та штучним. Натуральний лід одержують шаровим заморожуванням в зимовий період води на спеціально підготовлених горизонтальних площадках,

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 11   |

виколуванням або випилюванням із водоймів; штучний – на льонозаводах за допомогою холодильних машин.

Його виготовляють у вигляді блоків, плит, кубів. Фізичні властивості натурального та штучного льоду однакові. Водяний лід застосовують для охолодження та сезонного зберігання продовольчих товарів головним чином у залізничних районах країни. Тут споруджують погреби з льодовим охолодженням, льодові склади тощо. В роздрібній торгівлі водяний лід використовують в основному для охолодження напоїв (газованої води та ін.) при продажу їх на вулиці. Льодяне охолодження є найбільш доступним, простим, екологічно нешкідливим, відносна дешевим. До недоліків льодового охолодження відносяться: недостатньо низька температура, трудність автоматизації процесу, великі витрати праці при заготівлі, транспортуванні та використанні льоду, необхідність систематичного поповнення охолоджуючого об'єкту льодом та усунення талої води, а також підвищена корозія металевих частин обладнання.

Льодосоляне охолодження - це охолодження з використанням подрібненого водяного льоду і солі (повареної або кальцієвої). При цьому способі до теплоти, яка поглинається льодом, додається теплота, яка поглинається сіллю при її розчиненні у воді. Температура плавлення (таяння) льодосоляної суміші залежить від хімічного складу та вмісту солі. За допомогою льодосоляних сумішей в охолоджуваних приміщеннях одержують температуру нижче +4 °С. Льодосоляні суміші застосовують в основному для охолодження вагонів-льодовників.

#### **2.4. Машинне охолодження**

Утворення штучного холоду за допомогою холодильної машини називають машинним охолодженням. У кооперативній торгівлі воно набуває все більшого застосування завдяки таким перевагам, як невелика трудомісткість при експлуатації, простота підтримання потрібних температурних режимів. Машинне охолодження найдосконаліше в

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.P3</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 12   |

санітарно-гігієнічному плані і дає змогу створювати найсприятливіші умови зберігання швидкопсувних товарів порівняно з іншими методами охолодження.

Машинне охолодження ґрунтується на використанні властивостей деяких речовин (холодильних агентів) кипіти при низьких температурах, поглинаючи при цьому тепло з навколишнього середовища. Найпоширенішими холодильними агентами є аміак і хладон (фтористі і хлористі похідні вуглеводнів).

Аміак — газ без кольору з задушливим різким запахом. Газоподібний аміак легший за повітря, рідкий проводить електричний струм. Температура кипіння аміаку при атмосферному тиску становить  $-33,4$

$^{\circ}\text{C}$ , температура замерзання  $-77,7$   $^{\circ}\text{C}$ . Аміак має відносно вищу об'ємну холодопродуктивність, ніж хладон —  $518$  ккал/м<sup>3</sup>. Це доступний і дешевий холодильний агент. Він використовується в середніх і великих холодильних машинах для температур кипіння до  $-65$   $^{\circ}\text{C}$ . Аміак горючий і вибухонебезпечний. При концентрації аміаку в повітрі від 16 до 28,8 % за наявності відкритого полум'я може статися вибух.

Аміак спричиняє подразнення слизової оболонки очей і дихальних шляхів у людини. Вдихання аміаку може мати такі негативні наслідки, як спазм горла, зупинка дихання, зміна кров'яного тиску, порушення серцевої діяльності. Гранично допустима концентрація його в повітрі становить до  $0,02$  мг/л. Аміак використовується в основному для машин середньої і великої холодопродуктивності, які встановлюються на великих холодильниках у ізольованих машинних відділеннях.

Хладон-12 — важкий газ без кольору з дуже слабким запахом, один з найменш шкідливих холодоагентів. Використовується в малих холодильних установках. Нормальна температура кипіння  $-29,8$   $^{\circ}\text{C}$ . Об'ємна холодопродуктивність ( $305,6$  ккал/м<sup>3</sup>) значно нижча, ніж у аміаку. Хладон більш плинний і здатний проникати крізь найменші нещільності у таких місцях системи, де в рівних умовах проникнення повітря й аміаку

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.P3</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 13   |

неможливі. Його витікання дуже важко виявити: запах хладону стає помітним лише при вміст і його в повітрі понад 20 %. При зіткненні хладону з гарячою поверхнею (понад 40 °С) або дії на хладон відкритого полум'я він розкладається з утворенням отруйних газів.

Машинне охолодження забезпечується зміною агрегатного стану холодильного агента, який внаслідок кипіння при низьких температурах відводить від охолоджуваного тіла або середовища необхідну для цього теплоту, а потім передає її при подальшій конденсації парів навколишньому середовищу при відносно високих температурах. Для здійснення цього процесу необхідні затрати енергії і наявність замкненого циклу, що забезпечується паровими холодильними машинами.

За способом підвищення тиску і температури парів перед їх конденсацією парові холодильні машини поділяються на компресійні, в яких пари стискаються компресором (із затратою механічної енергії"), й абсорбційні, в яких поглинання парів забезпечується абсорбентом, а випаровування йде із затратою теплової енергії.

## **2.5. Охолодження харчових продуктів**

### **2.5.1. М'ясо та м'ясопродукти**

Найпоширенішим методом охолодження м'яса є повітряний. Також використовують інші, порівняно нові методи: охолодження повітрям чи іншим газом за підвищеного тиску (внаслідок цього зменшується усушка), гідроаерозольне охолодження, охолодження в середовищі вуглекислого газу, охолодження парою криогенних рідин, вакуумне охолодження, охолодження в РГС, охолодження з використанням електрофізичних методів, глибоке охолодження продуктів, упакованих в середовищі інертних газів.

М'ясні туші та напівтуші охолоджують у камерах і тунелях, спеціально обладнаних підвісними коліями і системою регулювання режиму холодильного оброблення. Середнє навантаження на 1 м підвісної колії

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 14   |

становить близько 250 кг м'яса. За фронтального способу охолодження напівтуш, коли вони рухаються на конвеєрі назустріч потоку охолодженого повітря, холодильне оброблення ведеться за змінного впродовж процесу коефіцієнта тепловіддачі. Це дає змогу зменшити тривалість холодильного оброблення на 10 % порівняно з процесом, проведеним за сталого значення коефіцієнта тепловіддачі, а всихання при цьому знижується ще на 30—40 %. У камері охолодження яловичі й свинячі напівтуші підвішують на гаках підвісних колій, а баранячі туші — на рамах. Відстань між тушами має становити не менше як 5 см.

Охолодження м'яса в повітрі проводять різними способами: одно-, дво- і тристадійним, а також програмним.

*Одностадійне* охолодження проводять при температурі 0 °С і швидкості руху повітря 0,5—2 м/с до температури 0—4 °С у товщі м'язів стегна на глибині не менше як 6 см від поверхні. Температура і швидкість руху повітря — основні параметри, що впливають на коефіцієнт тепловіддачі від поверхні продукту до охолодного середовища, а отже, на тривалість охолодження. Для яловичих напівтуш температура повітря може бути знижена до -2, а для свинячих — до -5 °С. Тривалість охолодження при цьому становить 14—24 год. За подальшого зниження температури охолодного середовища можливе підморожування м'яса, тому застосовують дво- і тристадійне охолодження з використанням змінних параметрів повітряного середовища.

*Багатостадійне* охолодження напівтуш може здійснюватися в одній чи різних камерах. Так, свинячі напівтуші на першій стадії охолоджують при температурі -10...-12 °С упродовж 1,5 год, на другій стадії — при температурі —5...—7 °С упродовж 2 год і при доохолодженні (з метою рівномірного розподілу температури по товщині напівтуш) — при температурі близько 0 °С упродовж 6—8 год. На першій і другій стадіях швидкість руху повітря 1—2 м/с, а під час доохолодження — 0,5 м/с за його відносної вологості 95—98 %.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 15   |

У разі програмного охолодження м'ясо спочатку охолоджують при температурі  $-4...-5$  °С і швидкості руху повітря  $4—5$  м/с, а потім при температурі  $0$  °С і швидкості руху повітря, що змінюється за заданою програмою, від  $4—5$  до  $0,5$  м/с.

Способи гідроаерозольного охолодження раніше застосовували лише для оброблення фруктів, овочів, квітів, зелені. Тепер так охолоджують ковбаси, м'ясо в тушах, напівтушах і четвертинах.

Гідроаерозольне охолодження являє собою охолодження м'яса в інтенсивно циркулюючому і насиченому до  $100$  %-ї відносної вологості повітряному середовищі з дрібними краплями води. Для запобігання псуванню м'яса у воду додають бактерицидні речовини. Процес інтенсифікується за рахунок випарювального охолодження з поверхні м'яса, тому за витратою енергії є вдвічі економічнішим, ніж традиційне повітряне охолодження. Модифікацією цього способу є застосовуваний за кордоном метод охолодження м'яса та м'ясопродуктів у крапельному середовищі пропіленгліколю. При цьому продукти охолоджуються розчином пропіленгліколю з температурою  $-8...-15$  °С до досягнення потрібної температури в товщі продукту; ефективність цього процесу в  $2—3$  рази вища, ніж повітряного охолодження.

Гідрофлюїдизаційне охолодження з використанням льодо- водяних суспензій дає змогу отримати високий коефіцієнт теплопередачі та істотно збільшити швидкість охолодження.

Вакуумне охолодження раніше застосовували лише для оброблення рослинної сировини, а зараз у ряді країн його застосовують для охолодження туш і напівтуш великої та малої рогатої худоби, свиней, шматкового м'яса. Так, свинячі напівтуші, що мають температуру  $37$  °С, розбирають і проводять обвалування і жилування м'яса у приміщенні при температурі до  $8$  °С. Відруби надходять на вакуум-пакувальну лінію, де здійснюється вакуумне охолодження при температурі  $0—2$  °С і пакування у плівку. Залежно від розмірів відрубів через  $4—9$  год температура в товщі

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 16   |

продукту знижується до 7, а через 14 год — до 2 °С. За такого способу охолодження значно поліпшується санітарний стан м'яса, збільшується до 15 діб термін його зберігання, знижується усихання.

*Варені ковбаси*, як правило, охолоджують двома стадіями: першу проводять тонко розпиленою водою з використанням випарювального ефекту охолодження, другу — у рухомому повітряному потоці, що має температуру 0—8 °С і швидкість руху до 4 м/с. Тривалість охолодження водою 5—30 хв, повітрям — 1— 10 годин. Але для варених ковбас найефективнішим є тристадійний спосіб: зрошення водою з форсунок грубого розпилу, охолодження в гідроаерозольному середовищі, а потім — повітряне. На другій стадії може бути передбачений безперервний чи циклічний режим розпилювання води залежно від пристроїв, що забезпечують подавання води, і умов циркуляції повітряного потоку.

Порівняно новим є спосіб охолодження варених ковбас у пінному повітряно-рідинному потоці. Ковбасні вироби охолоджують двома стадіями: на першій — за рахунок випаровування води під час проходження через неї повітря, а на другій — з використанням випарювального ефекту разом з холодом, з подальшим підсушуванням батонів упродовж 2—3 хвилин. Швидкість руху повітря 10—16 м/с. При початковій температурі продукту 70 С і температурі води -2 °С батони охолоджуються за 50 хв (в 1,5 разу швидше порівняно з охолодженням ковбас водою, розпилюваною форсунками). Усихання становить менше як 0,3 % . Для *варено-копчених і напівкопчених ковбас* доцільне повітряне охолодження при температурі 8—12 °С і швидкості руху повітря 1,5—2 м/с.

*М'ясні консерви* охолоджують водою, а потім повітрям при температурі 0- -2 °С і швидкості охолодного середовища до 3 м/с. Тривалість охолодження до кінцевої температури не перевищує 24 годин. Для охолодження застосовують також тунелі та апарати конвеєрного типу, в яких розміщені етажерки з продуктом, картонні коробки, лотки, піддони та ін. Напрямок руху повітряних потоків в апаратах залежить від розміру і

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 17   |

форми продуктів та способу розміщення їх на конвеєрі.

*Субпродукти*, вкладені на деках, у ящиках, формах, розміщують у камері охолодження на стаціонарних стелажах або на пересувних етажерках чи рамах не пізніше як через 5 год після забиття худоби. Субпродукти вкладають на деки шаром не більше як 10 см, нирки, серце, мозок і язика — в один ряд, рубці охолоджують у підвішеному стані на гаках. Тривалість охолодження субпродуктів при температурі 0 °С і за відносної вологості 85—90 % близько 24 годин. Для прискорення процесу застосовують тунельні апарати (-2...-4 °С), а також непрямий контакт з рідким охолодним середовищем.

### 3.5.2. Птиця та яйця

*Тушки птиці* охолоджують повітрям, льодоводяною сумішшю, льодяною водою, діоксидом вуглецю і азотом. Застосовують також комбіновані методи охолодження (зрошення туш чи занурення їх у льодяну воду, а потім у повітря).

Досить ефективним з погляду умов тепловіддачі, затрат праці, тривалості і технологічності процесу є метод занурювального охолодження тушок птиці у чистій льодяній воді чи в льодоводяній суміші. Після охолодження льодяною водою шкіра на тушках стає світлою і чистою, зникають плями від забиттів і крововиливів. Тушки птиці поглинають певну кількість води (до 8 % маси), внаслідок чого вони округляються і набувають кращого товарного вигляду.

Також застосовують *гідроаерозольний* метод охолодження: тушки у підвішеному стані зрошуються льодяною водою зі спеціальних форсунок упродовж 30—35 хвилин.

Щодо санітарних вимог найефективнішим є комбіноване охолодження (зрошення — занурення, зрошення — занурення — оброблення повітрям).

Тривалість охолодження птиці інтенсифікованим повітряним методом (температура — 0...-2 С, швидкість руху повітря — 4 м/с) становить 3—6

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.P3</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 18   |

год, залежно від маси і вгодованості тушок. Повітряне охолодження застосовують лише для тушок після сухого вищипування і теплового оброблення, інакше м'ясо зневоднюється і втрачає товарний вигляд.

*Яйця*, що надходять на холодильник, попередньо охолоджують до температури зберігання в спеціальній камері. Початкова температура має бути на 2—3 С нижча як температура яєць, потім її поступово знижують (на 1—2 С упродовж 1—2 год); відносна вологість повітря у період охолодження — 75—80 % за швидкості його руху 0,3—0,5 м/с. Процес охолодження, залежно від початкової температури, триває 2—3 доби. Яйця після досягнення температури 2 °С направляють у камери зберігання.

### **2.5.3. Риба та морепродукти**

*Рибу* охолоджують льодом, охолодженою прісною та морською водою, холодним повітрям, криогенними рідинами (рідкий азот), комбінованими методами (льодяна вода і лід; лід і рідкий азот та ін.). Охолодження і заморожування — найважливіші технологічні процеси у рибній промисловості. Рибу та морепродукти, оброблені холодом, широко застосовують як напівфабрикати у виробництві різних видів рибної продукції, а також у охолоджену чи заморожену стані реалізують у роздрібній торгівлі.

Для охолодження риби льодом застосовують різні його види — лускоподібний, трубчастий, плитковий та ін. Найпоширенішим способом є охолодження в інвентарній тарі (ящиках, контейнерах, кошиках, мішках та ін.).

Охолодження риби льодом має ряд недоліків, тому що нераціонально використовуються виробничі приміщення, камери холодильників, трюми суден, ускладнений кількісний і якісний контроль і облік риби, у деяких випадках не забезпечується швидке зниження температури вилову та ін.

Охолодження риби за допомогою охолодженої морської чи прісної води має ряд переваг, основні з яких такі: швидше зниження температури

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 19   |

тіла риби, економічність процесу під час охолодження, транспортних операцій і вивантаження в кінцевих пунктах транспортування. Найбільші недоліки — набухання м'яса промислових об'єктів і його просоловання за використання охолодженої морської води. Негативний вплив охолодженої води зменшується зі зниженням температури, але він досить виражений навіть при температурах, близьких до криоскопічної. Внаслідок цього тривалість зберігання вилову в охолодженій воді обмежена кількома днями, іноді годинами, і залежить від технохімічних особливостей об'єктів: проникності їх шкіряного покриву, консистенції м'яса, розмірів та ін. Особливо швидко негативний вплив охолодженої води виявляється під час зберігання в ній дрібної пелагічної риби (шпроти, хамса), ракоподібних і молюсків.

У рідкому середовищі рибу охолоджують зануренням чи зрошенням. Як охолодне середовище застосовують прісну воду, морську воду чи 2 %-й розчин хлористого натрію у прісній воді, осмотичний тиск якого порівняний з тиском тканинного соку риби.

Добрі результати дає додавання до холодної води льоду (співвідношення риби, води і льоду відповідно 2:1:1). Охолоджувати можна і зрошенням холодним розсолем на конвеєрі, де риба у міру його просування зрошується через форсунки чи інші пристрої. Достатньо ефективно також використання замість льодоводяної суміші льодоводяної суспензії, або льоду-шуги (ice-slurry).

Тривалість охолодження в холодній воді залежить від розмірів риби, температури води, швидкості її циркуляції, конструкції охолодника і становить від кількох хвилин до 3 год і більше.

Охолодження риби під вакуумом ґрунтується на частковому випаровуванні води з її поверхні під час зниження тиску (не нижче як 400 Па), що значно скорочує тривалість охолодження за незначних втрат маси продукту.

Копчену рибу, деякі види рибних напівфабрикатів і продуктів

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

кулінарії, для яких небажаний контакт з водою чи льодом, охолоджують у повітряному середовищі. Застосування при цьому діоксиду вуглецю чи рідкого азоту інтенсифікує процес та істотно поліпшує якість продукту.

#### **2.5.4. Молоко та молочні продукти**

Для вироблення, транспортування, зберігання і реалізації молока і молочних продуктів потрібна обов'язкова наявність холоду.

Для збереження первинних властивостей і подовження бактерицидної фази молоко фільтрують і одразу після видоювання охолоджують до 2—10 С у теплообмінних апаратах. Для охолодження молока безконтактним способом застосовують холодну воду, розсіл та ін. У цьому разі охолодження здійснюється швидко — впродовж кількох хвилин. Якщо молоко з ферм після кожного доїння одразу відправляють на завод, то недоцільно проводити низькотемпературне охолодження. В такому разі температуру охолодження обирають залежно від проміжку часу з моменту кінця охолодження молока на фермі до моменту доставки його на завод. Якщо він не перевищує 6 год, то молоко охолоджують до 10 С, якщо 12 — до 8, а якщо 24 год — до 5 °С.

Молоко та рідкі молочні продукти охолоджують у закритих пластинчастих або трубчастих теплообмінниках-охолодниках, при цьому використовується льодяна вода (0 С) чи розсіл (-5 С), залежно від потрібної кінцевої температури охолодження. Також використовуються зрошувальні охолодники відкритого типу, у яких молоко стікає по зовнішній поверхні охолоджуваних труб (верхня секція охолоджується водою, а нижня — розсолем).

Для охолодження кисломолочного сиру та в'язких молочних продуктів використовують трубчасті охолодники, або барабани, обладнані розсільними охолоджувальними оболонками, у яких продукт переміщується за допомогою шнека.

Упаковані молочні продукти охолоджують у повітряному середовищі

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 21   |

при температурі 0 °С і за швидкості руху повітря до 1 м/с.

## 2.6. Тепловий розрахунок процесу охолодження

До розрахунку процесу охолодження входять розрахунки тривалості охолодження, температурного поля всередині тіла, кількості відведеної теплоти. Тривалість охолодження важлива для розрахунку режиму роботи холодильного обладнання, оцінювання ефективності його роботи тощо. Вона залежить від швидкості охолодження. Найбільшу тривалість охолодження має повітряне охолодження, найменшу – вакуумне. Температурне поле тіла у будь-який момент часу слід знати, щоб контролювати режим охолодження. Кількість відведеної теплоти потрібна для розрахунку обладнання для камер охолодження, вона становить основну частку теплового навантаження камери.

Зазначені величини можна визначити за допомогою декількох методів, що відрізняються точністю та трудомісткістю. Слід пам'ятати, що всі методи розрахунку процесу охолодження дають значну похибку через відмінність теплофізичних властивостей реального продукту від розрахункових. Ця похибка за різними даними може становити від 10% до 20%.

### 2.6.1. Аналітичний метод розрахунку

Тривалість охолодження можна визначити аналітично, якщо розв'язати диференціальне рівняння теплопровідності (рівняння Фур'є)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t \quad (1.1)$$

За певних граничних і початкових умов. З нього ж можна визначити розподіл температур у тілі в будь-який момент часу.

Як приклад розглянемо задачу визначення розподілу температур у необмеженій пластині завтовшки  $2R$  з відомими коефіцієнтами теплопровідності та температуропровідності, що охолоджується

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 22   |

коефіцієнтом  $\alpha$ . Потрібно знайти температуру  $t(x,\tau)$  у точці  $x$  координатою  $x$  у момент часу  $\tau$ .

Для цієї задачі рівняння 1.6.1.1 записується у вигляді

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (1.2)$$

Аналітичний розв'язок цього рівняння має вигляд нескінченного ряду:

$$\theta = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \sin \delta_k}{\delta_k + \sin \delta_k \cos \delta_k} e^{-\delta_k^2 F_0} \cos \left( \delta_k \frac{x}{R} \right) \quad (1.3)$$

Де  $\theta$ -безрозмірна температура у точці з координатою  $x$  у момент часу  $\tau$ ,  $\theta_R = \frac{t(x,\tau)-t_c}{t_n-t_c}$ ;  $F_0$ - число Фур'є  $F_0 = \frac{\alpha \tau}{R^2}$ ;  $\delta_k$ - корені характеристичного рівняння  $\text{ctg} \delta = \frac{\delta}{Bi}$ . Значення перших п'яти цих коренів для різних значень числа Біо,  $Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$  наведені у табл 1.1.

**Таблиця. 1.1. Корені характеристичного рівняння  $\text{ctg} \delta = \frac{\delta}{Bi}$**

| $Bi$     | $\delta_1$ | $\delta_2$ | $\delta_3$ | $\delta_4$ | $\delta_5$ |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\infty$ | $\pi/2$    | $3\pi/2$   | $5\pi/2$   | $7\pi/2$   | $9\pi/2$   |
| 1000     | 1,57       | 4,71       | 7,84       | 10,98      | 14,13      |
| 100      | 1,56       | 4,66       | 7,77       | 10,88      | 14,00      |
| 50       | 1,54       | 4,62       | 7,70       | 10,78      | 13,87      |
| 20       | 1,50       | 4,49       | 7,49       | 10,51      | 13,55      |
| 10       | 1,43       | 4,3        | 7,22       | 10,20      | 13,22      |
| 4        | 1,26       | 3,93       | 6,81       | 9,78       | 12,87      |
| 1        | 0,86       | 3,42       | 6,43       | 9,52       | 12,65      |
| 0,5      | 0,65       | 3,29       | 6,36       | 9,47       | 12,61      |
| 0,1      | 0,31       | 3,17       | 6,30       | 9,43       | 12,57      |
| 0,01     | 0,10       | 3,14       | 6,28       | 9,42       | 12,57      |

Для  $F_0 > 0,5$  можна обмежитися лише першим членом ряду  $\delta_1$ , тоді рівняння набуває вигляду

$$\theta \approx \frac{4}{\pi} e^{-\frac{\pi^2 F_0}{4}} \cos \left( \frac{\pi x}{2R} \right) \quad (1.4)$$

звідки

$$F_0 \approx \frac{4}{\pi^2} \left( \ln \frac{4}{\pi} + \ln \left( \cos \frac{\pi x}{2R} \right) - \ln \theta \right) \quad (1.5)$$

Тривалість охолодження

$$\tau \approx \frac{4R^2}{\pi^2 a} \left( \ln \frac{4}{\pi} + \ln \left( \cos \frac{\pi x}{2R} \right) - \ln \theta \right) \quad (1.6)$$

Перетворюючи вираз, отримують ряд формул для визначення тривалості охолодження. Найчастіше потрібно визначити тривалість охолодження до температури в центрі пластини, бо вона є найвищою. Тривалість охолодження пластини до температури у центрі  $t_c$

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta^2 a} \ln \left( \frac{2 \sin(\delta_1) (t_{\text{поч}} - t_c)}{\delta_1 + \sin \delta_1 \cos \delta_1 (t_c - t_c)} \right) \quad (1.7)$$

Інколи задають кінцеву температуру поверхні пластини, наприклад, якщо слід уникнути відмороження.

Тривалість охолодження пластини до температури поверхні  $t_{\text{пов}}$

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta^2 a} \ln \left( \frac{2 \sin(2\delta_1) (t_{\text{поч}} - t_c)}{\delta_1 + \sin \delta_1 \cos \delta_1 (t_{\text{пов}} - t_c)} \right) \quad (1.8)$$

Для холодильної технології важливо також розрахувати кількість теплоти, відведеної від тіла під час його охолодження протягом певного часу. Для цього вводиться поняття середньооб'ємної температури тіла

$$\bar{t}(\tau) = \frac{1}{V} \int_V t(x, \tau) dx \quad (1.9)$$

Можна вважати, що середньооб'ємна – це така температура, що встановлюється у тілі після перебування у адіабатичних умовах протягом нескінченного часу.

Тривалість охолодження пластини до температури поверхні  $t_{\text{пов}}$

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta_1^2 a} \ln \left( \frac{2 \sin(2\delta_1) (t_{\text{поч}} - t_c)}{\delta_1 + \sin \delta_1 \cos \delta_1 (t_{\text{пов}} - t_c)} \right) \quad (1.10)$$

Середньооб'ємна температура пластини та температура на її поверхні пов'язані співвідношенням

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$\bar{t} - t_c \approx \frac{Bi}{\delta_1^2} (t_{пов} - t_c) \quad (1.11)$$

Подібні розв'язки існують також для інших тіл найпростішої форми.

Для нескінченного циліндра радіусом  $R$  рівняння теплопровідності матиме вигляд

$$\theta(\tau, r) = \frac{2}{R^2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\int_0^R r \theta(0, r) J_0(\delta_1 \frac{r}{R}) dr}{J_0^2(\delta_k) + J_1^2(\delta_k)} e^{-\delta_k^2 F_0} J_0\left(\delta_k \frac{r}{R}\right) \quad (1.12)$$

де  $\delta_k$  - корені характеристичного рівняння;  $\frac{J_0}{J_1} = \frac{\delta}{Bi}$  - функції Бесселя

дійсного аргументу

Тривалість охолодження циліндра до заданої температури центра

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta_1^2 a} \ln \left( \frac{2Bi(t_{поч} - t_c)}{J_0(\delta_1)(\delta_1^2 + Bi^2)(t_c - t_c)} \right) \quad (1.13)$$

Тривалість охолодження циліндра до заданої температури поверхні

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta_1^2 a} \ln \left( \frac{2Bi(t_{поч} - t_c)}{\delta_1^2 + Bi^2(t_{пов} - t_c)} \right) \quad (1.14)$$

Тривалість охолодження циліндра до заданої середньооб'ємної температури

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta_1^2 a} \ln \left( \frac{2Bi(t_{поч} - t_c)}{\delta_1^2(\delta_1^2 + Bi^2)(\bar{t} - t_c)} \right) \quad (1.15)$$

Середньооб'ємна температура циліндра та температура на його поверхні пов'язані співвідношенням

$$\bar{t} - t_c \approx \frac{2Bi}{\delta_1^2} (t_{пов} - t_c) \quad (1.16)$$

Для кулі радіусом  $R$  загальний розв'язок рівняння теплопровідності

матиме вигляд

$$\theta(\tau, r) = \frac{2}{R} \sum_{k=1}^{\infty} \delta_k \frac{\int_0^R r \theta(0, r) \sin\left(\delta_k \frac{r}{R}\right) dr \sin\left(\delta_k \frac{r}{R}\right)}{\delta_k - \sin(\delta_k) \cos(\delta_k) r} e^{-\delta_k^2 F_0} \quad (1.17)$$

Де  $\delta_k$  - корені характеристичного рівняння  $\text{tg} \delta = \frac{\delta}{1 - Bi}$

|      |      |          |        |      |                      |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                      |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      |  |  |  | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 00.MP.142.003.001.ПЗ |  |  |  |      |

Тривалість охолодження кулі до заданої температури центра

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta_1^2 a} \ln \left( \frac{2Bi \sqrt{\delta_1^2 + (Bi - 1)^2} (t_{\text{поч}} - t_c)}{\delta_1^2 Bi (Bi - 1) (t_{\text{ц}} - t_c)} \right) \quad (1.18)$$

Тривалість охолодження кулі до заданої температури поверхні

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta_1^2 a} \ln \left( \frac{2Bi \sin \delta_1 \sqrt{\delta_1^2 + (Bi - 1)^2} (t_{\text{поч}} - t_c)}{\delta_1 (\delta_1^2 + Bi (Bi - 1)) (t_{\text{пов}} - t_c)} \right) \quad (1.20)$$

Тривалість охолодження кулі до заданої середньооб'ємної температури

$$\tau \approx \frac{R^2}{\delta_1^2 a} \ln \left( \frac{2Bi \sin \delta_1 \sqrt{\delta_1^2 + (Bi - 1)^2} (t_{\text{поч}} - t_c)}{\delta_1^3 (\delta_1^2 + Bi (Bi - 1)) (\bar{t} - t_c)} \right) \quad (1.21)$$

Середньооб'ємна температура кулі та температура на її поверхні пов'язані співвідношенням

$$\bar{t} - t_c \approx \frac{3Bi}{\delta_1^2} (t_{\text{пов}} - t_c) \quad (1.22)$$

Кількість теплоти, відведена від тіла під час його охолодження

$$Q = mc(\bar{t}_{\text{п}} - \bar{t}(\tau)) \quad (1.23)$$

Де  $m$  – маса тіла, кг;

$c$  – середня питома теплоємність тіла у інтервалі  $\bar{t}_{\text{п}} \dots \bar{t}$ ;

$\bar{t}_{\text{п}}, \bar{t}$  – середньооб'ємні температури тіла відповідно до та після охолодження.

У формулі не враховується виділення теплоти кристалізації жирів та екзотермічні біохімічні процеси, що проходять у клітинах під час охолодження. Тому замість температур і теплоємностей доцільно використовувати значення середніх питомих ентальпій продукту до та після охолодження, відповідно

$$Q = m(\bar{h}_{\text{п}} - \bar{h}_{\text{к}}) \quad (1.24)$$

Слід зазначити, що під час охолодження неупакованих продуктів у повітрі з їх поверхні випаровується волога, відводячи теплоту. Ця волога згодом конденсується чи десублімується на приладах охолодження. Через відмінність температур поверхонь продукту та охолодних пристроїв процеси випаровування та конденсації вологи відбуваються за різних парціальних тисків водяної пари, а отже і питома теплота цих фазових переходів буде дещо відмінною. Таким чином, загальна кількість теплоти, що має бути сприйнята охолодними пристроями, становить

$$Q = m(\bar{h}_n - \bar{h}) + \delta(r_k - r_b) \quad (1.25)$$

Де  $r_k$  та  $r_b$  відповідно питоми теплоти конденсації водяної пари на охолодних пристроях та випаровування її з поверхні продукту;

$\delta_m$  – усушка продукту за час охолодження;

Для розрахунків параметрів  $Bi$  та  $Fo$  потрібні теплофізичні властивості продукту (їх визначають за довідковою літературою), а також коефіцієнт тепловіддачі, який слід визначити за розрахунковими залежностями. Для охолодження у повітрі його можна наближено знайти за залежністю Юргенса

$$\alpha = 1,16(5,3 + 3,6w) \quad (1.26)$$

Для наближених розрахунків коефіцієнта тепловіддачі від продукту до рідини за природної конвекції можна прийняти рівним 200-230 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), за швидкості рідини 0,5 м/с = 1000 Вт/(м<sup>2</sup>\*К).

### 2.6.2. Графічний метод розрахунку

На практиці для визначення тривалості охолодження продуктів, форма яких наближена до правильної геометричної форми, інколи користуються графічним методом. Графічний метод є універсальним засобом для наочного відображення об'єктів і явищ дослідження. Сучасна комп'ютерна техніка дає змогу з невеликими витратами часу і праці практично отримати будь-яке графічне зображення (графіки, діаграми тощо). Для поверхні та центру зазначених тіл складено діаграми з яких за двома відомими з трьох

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.P3</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 27   |

параметрів  $\epsilon$ ,  $Bi$ ,  $Fo$  можна визначити третій.

Розрахунок тривалості охолодження графічним способом проводять у такому порядку:

1. Знаходять визначальний розмір  $R$ . Визначальним розміром для пластини буде половина її товщини, а для циліндра та кулі – їх радіус.
2. За довідковою літературою визначають теплофізичні характеристики продукту.
3. Розраховують число  $Bi_0$  –  $Bi$ .
4. Розраховують безрозмірні сну температуру в кінці охолодження –  $\theta$ .
5. За відповідною діаграмою (дод. 3) знаходять число Фур'є –  $Fo$ .
6. Розраховують тривалість охолодження (2.1)

$$\tau = \frac{F_0 R^2}{a} \quad (2.1)$$

### 2.6.3. Регулярний тепловий режим

Аналітичний розрахунок, незважаючи на свою точність, порівняно громіздкий. Графічний метод розрахунку простий, але має досить велику похибку, насамперед через суб'єктивність використання діаграм. Тому у холодильній технології часто використовують метод регулярного теплового режиму. Вважають, що за достатньо великих чисел Фур'є тепловий режим стає регулярним, при цьому температура змінюється за законом

$$t \approx t_c + (t_{\text{поч}} - t_c) A e^{-m\tau} \quad (3.1)$$

$$m = \frac{a}{R^2} \chi \quad (3.2)$$

Величина  $m$  ( $c^{-1}$ ) називається темпом охолодження і не залежить від того, у якій точці тіла здійснюється вимірювання, а безрозмірний коефіцієнт  $A$  залежить від температури. Використовують три коефіцієнти: для температури у центрі —  $A_{\text{ц}}$ , для температури на поверхні —  $A_{\text{пов}}$  та для середньооб'ємної температури —  $A_{\text{об}}$ . Два останні пов'язані між собою

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 28   |

коефіцієнтом нерівномірності температурного поля

$$\psi = \frac{A_{\text{пов}}}{A_{\text{об}}} = \frac{mc_v V}{\alpha S} = \frac{\Phi}{Bi} \chi \quad (3.3)$$

де  $\Phi = \frac{V}{SR}$  безрозмірнісний параметр форми;

$\chi$  — безрозмірнісний параметр, що залежить від форми тіла та числа  $Bi$ ;

$c_v$  — питома об'ємна теплоємність, Дж/(м<sup>3</sup>К);

$\alpha$  — коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$V$  — об'єм тіла, м<sup>3</sup>;

$S$  — площа поверхні тіла, м<sup>2</sup>;

$R$  — визначальний розмір, м.

Якщо  $Bi \rightarrow 0$ , то  $\psi \rightarrow 1$ , тоді за формулою

$$\chi \approx \frac{Bi}{\Phi}$$

Величина  $m$ ,  $A_{\text{пов}}$ ,  $A_{\text{об}}$ , пов'язані співвідношенням, тобто знаючи теплофізичні та геометричні параметри тіла, за будь-якими відомими двома з них можна визначити третю.

Параметр  $\chi$  можна наближено обчислити за квазіодновимірним наближенням:

$$\chi = \frac{Bi(k+1)(k+5+2\sqrt{2k+6})(Bi+\sqrt{2k+6})}{4(\sqrt{2k+6}+2+Bi)Bi+\sqrt{2k+6}(k+5+2\sqrt{2k+6})(k+3)} \quad (3.4)$$

Подібне співвідношення існує і для

$$A_{\text{об}} = \frac{(2Bi+k+3+\sqrt{2k+6})^2\sqrt{2k+6}}{4(\sqrt{2k+6}+2+Bi)Bi+\sqrt{2k+6}(k+5+2\sqrt{2k+6})(k+3)} \quad (3.5)$$

Для  $Bi \leq 2$  значення  $A_{\text{об}}$  лежать у проміжку  $0,95 < A_{\text{об}} < 1$ . Тому для нагрівання чи охолодження у нерухомому повітрі можна наближено вважати  $A_{\text{об}} = 1$ . Якщо коефіцієнт тепловіддачі досить високий (охолодження у рідині чи у рухомому повітрі), то доцільно визначати  $A$  за формулою (3.5)

Значення  $A_{\text{пов}}$  можна визначити за відомим  $A_{\text{об}}$  з формули. Для  $A_{\text{ц}}$  надійних формул немає, його рекомендують визначати за таблицею (див.

дод. 1).

Тривалість охолодження до заданої температури  $t$  (на поверхні, в центрі чи середньооб'ємної) можна визначити за формулою

$$\tau \approx \frac{1}{m} \ln \left( A \frac{t_{\text{поч}} - t_c}{t - t_c} \right) \quad (3.6)$$

де замість  $A$  слід підставляти відповідні значення:  $A_{\text{пов}}$ ,  $A_{\text{ц}}$ ,  $A_{\text{об}}$ .

Якщо  $t_{\text{поч}} \approx t$  (тобто час охолодження малий), можливий випадок, коли вираз під логарифмом буде менший одиниці і час буде від'ємним. Це свідчить про незастосовність для даного випадку наближення регулярного теплового режиму. Тоді слід користуватися аналітичним способом розрахунку.

Середньооб'ємна температура та температура поверхні пов'язані співвідношенням

$$\bar{t} - t_c \approx \frac{A_{\text{об}}}{A_{\text{пов}}} (t_{\text{пов}} - t_c) \quad (3.7)$$

У деяких випадках потрібно знати положення *термічного центру тіла* — точки, температура якої дорівнює середньооб'ємній. Зокрема, якщо помістити термопару до термічного центру, то вона показуватиме середньооб'ємну температуру. З квазіодновимірного наближення безрозмірна координата термічного центру становитиме:

$$x_{\text{тц}} = \sqrt{\frac{k+1}{k+3}} = \frac{1}{\sqrt{1+2\Phi}} \quad (3.8)$$

Квазіодновимірне наближення можна уточнити, якщо розглядати охолоджувані об'єкти як перетин тіл простої форми. Наприклад, прямокутний паралелепіпед є перетином трьох взаємно перпендикулярних пластин, циліндр — перетином нескінченного циліндра та пластини тощо. Такі тіла називаються тілами складеної форми. Для розрахунку теплообміну спочатку визначаються коефіцієнти  $\chi$  та  $A$  для кожного з тіл, що перетинаються (відповідно  $\chi_1, \chi_2 \dots \chi_n$  та  $A_1, A_2, \dots, A_n$ ). Після цього розраховують підсумкові темп охолодження  $m$  та коефіцієнт  $A$  за

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.P3</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 30   |

формулами:

$$m = \frac{c}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{\chi_1}{R_1^2} \quad (3.9)$$

$$A = A_1 A_2 \dots A_n \quad (3.10)$$

Далі за формулами (3.6) та (3.6) визначають тривалість охолодження та потрібну температуру. Проте такий метод застосовний лише у разі, якщо визначальні розміри тіл  $R_1$  приблизно однакові. У іншому разі охолодження одного з тіл простої форми відбувається значно швидше, ніж інших, і наближення регулярного теплового режиму для цього тіла неприйнятне.

Під час розрахунку тривалості охолодження упакованих продуктів слід враховувати термічні опори шарів упаковки та повітряних прошарків.

#### 2.6.4. Розрахунок тривалості охолодження за допомогою рівняння теплового балансу.

Уявімо рівняння теплового балансу при охолодженні у вигляді рівності:

$$-GCdt = \alpha(t - t_r)Sd\tau \quad (4.1)$$

Позначимо комплекс величин

$$\frac{\alpha S}{(GC)} = m \quad (4.2)$$

У цьому випадку з написаного рівняння теплового балансу при малих значеннях критерію Біо або без урахування нерівномірності температурного поля тіла під час охолодження швидкість зниження температури  $t$  в будь-якій точці тіла виражають законом Ньютона

$$\frac{dt}{d\tau} = -m(t - t_r) \quad (4.3)$$

Переходячи до змінної надлишкової температури,  $\vartheta = t - t_0$  маємо,

$$\frac{d\vartheta}{d\tau} = -m\vartheta \quad (4.4)$$

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} = -m d\tau \quad (4.4)$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Інтегруючи вираз і беручи до уваги, що постійна інтегрування з умови  $\tau = 0$  виявиться початковою надлишковою температурою  $\vartheta_H = t_H - t_r$ , отримаємо

$$\tau = \frac{1}{m} \ln \left( \frac{\vartheta_H}{\vartheta} \right) \quad (4.5)$$

З цього виразу знайдемо тривалість охолодження в межах дії закону, представленого формулою.

### 2.6.5. Аналітичне рішення задачі про охолодження тіла заданої стереометричної форми

Аналітичне рішення задачі про охолодження тіла заданої стереометричної форми дано проф. Ликовим А.В. Воно відображено в спеціалізованій технічній та навчальній літературі.

Тривалість охолодження продукту, форма якого подібна пластині, оцінюється формулою (5.1), кулі - формулою (5.2).

$$\frac{t_{(r,\tau)} - t_c}{t_H - t_c} = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cdot \cos \left( \mu_k \frac{r}{R} \right) e^{-\mu_k F_0} \quad (5.1)$$

$$\frac{t_{(r,\tau)} - t_c}{t_H - t_c} = \sum_{k=1}^{k=\infty} A_k \frac{R \cdot \sin \left( \mu_k \frac{r}{R} \right)}{r \mu_k} e^{-\mu_k F_0} \quad (5.2)$$

Відносно просте і водночас зручне для практичних цілей рішення завдання, дає формула А. Фікііна (5.3).

Рішення використовується для наближеної оцінки тривалості охолодження,

$$\tau = -A \cdot \frac{R^2}{a_{пр}} \cdot \left( \left( \frac{2.3}{Bi} + 0.8 \right) \cdot \text{Lg} \frac{t_{(r,\tau)} - t_c}{t_H - t_c} - 0.12 \right) \cdot 2.78 \cdot 10^{-4} \quad (5.3)$$

A - коефіцієнт, що враховує форму продукту. Для тіла у вигляді пластини A = 1, для циліндра A = 0.5, для кулі A = 0.336;

R - визначальний геометричний розмір тіла, м., (половина товщини пластини, радіус циліндра або кулі),

$a_{пр}$  - коефіцієнт температуропровідності продукту,  $\text{м}^2/\text{с}$

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 32   |

$$a_{\text{пр}} = \frac{\lambda_{\text{пр}}}{c_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{пр}}} \quad (5.4)$$

$Bi$  – число Біо

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_{\text{пр}}} \quad (5.5)$$

### 2.6.6. Розрахунок тривалості вакуумного охолодження

В значній кількості харчових технологій існує необхідність прискореного охолодження сировинних потоків у тому числі і за рахунок використання вакуумних технологій.

Для випадку адіабатного кипіння середовища рушійний фактор визначається глибиною входження в нерівноважний стан, що визначається різницею початкової  $t_{\text{п}}$  і кінцевої  $t_{\text{к}}$  температури середовища, яка відповідає температурі кипіння за досягнутого зниженого тиску. При цьому кінцева температура  $t_{\text{к}}$  є стабілізованим параметром, а плинна температура  $t$  змінюється в межах від  $t_{\text{п}}$  до  $t_{\text{к}}$ . Це означає, що за час процесу рушійний фактор зменшується і це накладає відповідний вплив на систему та інтенсивність генерування вторинної пари і швидкість охолодження.

Розроблено в загальному описі математичну модель охолодження середовища.

Як відмічалось має місце зниження його температури від  $t_{\text{п}}$  до  $t_{\text{к}}$  припустимо, що в деякий момент часу  $\tau$  температура середовища складає величину  $t$  і перебільшує значення  $t_{(\tau)}$  на величину  $t - t_{(\tau)}$ . Разом з тим відомо, що нескінченно мала кількість теплоти  $dQ$  на проміжку елементарного часу  $d\tau$  передана генерованій парі, пов'язані співвідношенням:

$$-dQ = k(t - t_{\text{к}})d\tau \quad (6.1)$$

Де  $k$  – стала, яка визначається фізико-хімічними властивостями середовища.

При цьому кількість теплової енергії, що втрачається середовищем при охолодженні його в діапазоні температур від  $t$  до  $t_{\text{к}}$ , визначається рівнянням:

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 33   |

$$Q = mc(t - t_k) \quad (6.2)$$

де  $m$  – маса середовища;

$c$  – теплоємність середовища, яку будемо рахувати сталою;

Диференціювання умови приводить до виду

$$dQ = m c dt \quad (6.3)$$

Підстановкою значення  $dQ$  в умову одержуємо

$$-m c dt = (t - t_k)d\tau \quad (6.3)$$

Перепишемо рівняння (1.6.6.3) формі

$$\frac{m c}{k} \cdot \frac{dt}{(t - t_k)} = d\tau \quad (6.4)$$

і виконаємо його інтегрування

$$\frac{m c}{k} \ln(t - t_k) = \tau + C \quad (6.5)$$

Сталу інтегрування  $C$  знайдемо за початкових умов  $\tau_{\Pi} = 0; t = t_{\Pi}$

Тоді підстановкою початкових умов визначаємо

$$C = -\frac{m c}{k} \ln(t_{\Pi} - t_k) \quad (6.6)$$

У загальному вигляді динаміка охолодження моделюється умовою

$$\frac{m c}{k} \ln(t - t_k) = \tau - \frac{m c}{k} \ln(t_{\Pi} - t_k) \quad (6.7)$$

Віднімаючи від умови (6.5) залежність (6.7) одержуємо:

$$\tau = \frac{m c}{k} \ln \frac{t_{\Pi} - t_k}{t - t_k} \quad (6.8)$$

### 3. РОЗРАХУНОК ТРИВАЛОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ

#### 3.1.1 Графічний метод розрахунку охолодження скибки хліба.

Розміри скибки хліба -  $lxbx\delta=0.12x0.06x0.02$ (м)

Температура продукту початкова -  $t_0 = 40$  °С;

Температура у камері -  $t_{o.c} = 1$  °С.

Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{кін} = 20$  °С.

1)Для пластини визначальним розміром R є половина її товщини

$$R = 0.01 \text{ (м)}$$

2)За додатковою літературою (Boonsupthip, W., Sajjaanantakul, T., Heldman, D.R., 2009. Use of average molecular weights for product categories to predict freezing characteristics of foods. Journal of Food Science 74, E417eE425..) знаходимо теплофізичні характеристики хліба пшеничного.

$$\alpha \text{ хліб пшеничний} = 16.4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda \text{ хліб пшеничний} = 0.52 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$$

$$\delta = 0.02 \text{ (м)}$$

$$\nu = 17.1 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$$

$$Pr = 0.72$$

$$\beta = \frac{T_0}{T_{o.c.}} = \frac{40}{1} = 40$$

$$\Delta t = t_0 - t_{o.c.} = 40 - 1 = 39$$

$$Gr = \frac{g \cdot \delta^3}{\nu^2} \beta \cdot \Delta t = \frac{9.81 \cdot 0.02^3}{(17.1 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 60 = 8.362 \cdot 10^8$$

$$Nu = 0.8 \cdot \left( \frac{Gr \cdot Pr}{1 + (1 + Pr)^{-0.5}} \right)^{0.25} = 0.8 \cdot \left( \frac{8.362 \cdot 10^8 \cdot 0.72}{1 + (1 + 0.72)^{-0.5}} \right)^{0.25} = 108.76$$

$$\alpha = 18,406 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

3)Розраховуємо число Біо

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda} = \frac{18,406 \cdot 0,01}{0,44} = 2,152$$

4) Безрозмірнісна температура

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 35   |





### 3.1.3 Аналітичне рішення задачі про охолодження скибки хліба.

Розміри скибки хліба -  $lxbx\delta=0.12x0.06x0.02(м)$

$R=0,01$

Температура продукту початкова -  $t_0 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Температура у камері -  $t_{o.c} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{кін} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$\lambda$  хліб пшеничний =  $0.44 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;

$\delta = 0.02 \text{ (м)}$

$\nu = 17.1 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$

$Pr = 0.72$

$\rho = 1060 \text{ кг/м}^3$

$c = 2,85 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$

$\alpha = 18,406 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$

$$a_{пр} = \frac{\lambda_{пр}}{c_{пр} \cdot \rho_{пр}} = \frac{0,44}{1060 \cdot 2850} = 14,56 \cdot 10^{-8}$$

Розраховуємо число Біо -  $Bi$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_{пр}} = \frac{18,406 \cdot 0,01}{0,44} = 0,751$$

$A$  - коефіцієнт, що враховує форму продукту. Для тіла у вигляді пластини  $A = 1$ , для циліндра  $A = 0.5$ , для кулі  $A = 0.336$ ;

$R$  - визначальний геометричний розмір тіла, м., (половина товщини пластини, радіус циліндра або кулі),

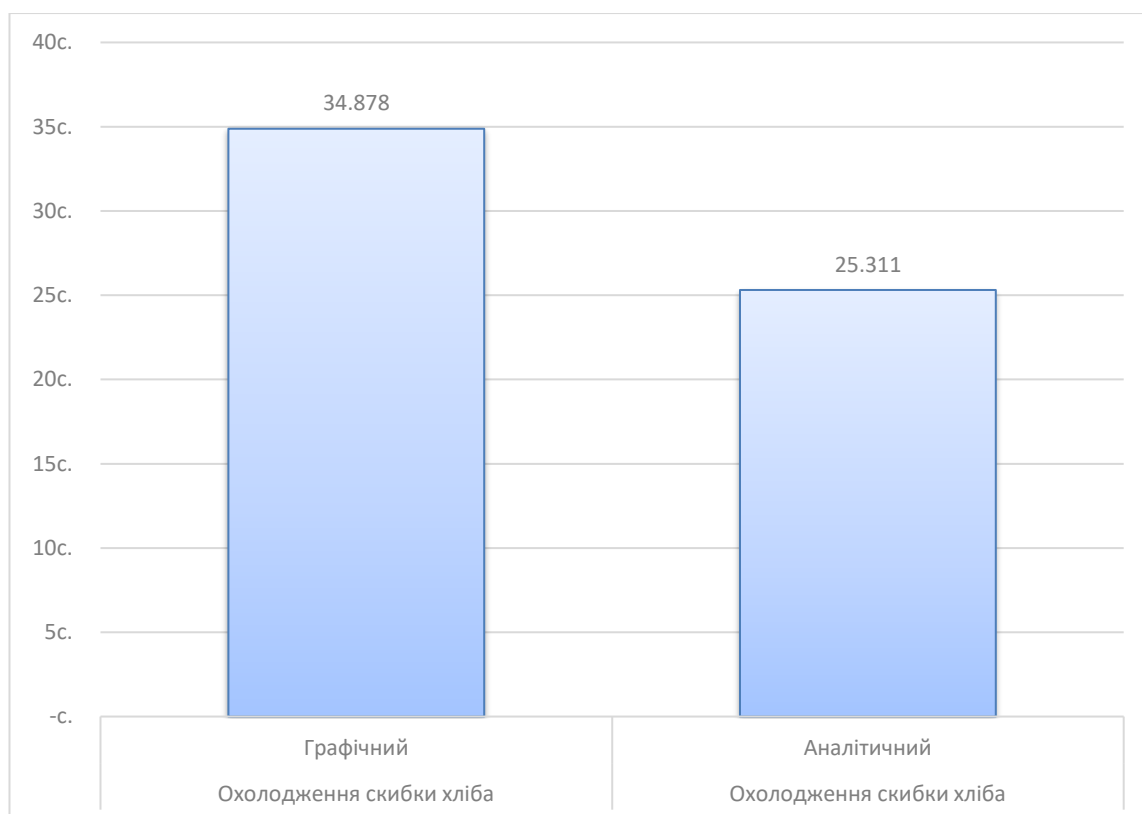
$a_{пр}$  – коефіцієнт температуропровідності продукту,  $\text{м}^2/\text{с}$

$$\begin{aligned} \tau &= -A \cdot \frac{R}{a_{пр}} \cdot \left( \left( \frac{2.3}{Bi} + 0.8 \right) \cdot \text{Lg} \frac{t_{кін} - t_{o.c.}}{t_0 - t_{o.c.}} - 0.12 \right) \cdot 2.78 \cdot 10^{-4} \\ &= -1 \cdot \frac{0.01}{14,56 \cdot 10^{-8}} \cdot \left( \left( \frac{2.3}{0,751} + 0.8 \right) \cdot \text{Log} \left( \frac{20 - 1}{40 - 1} \right) - 0.12 \right) \\ &\cdot 2.78 \cdot 10^{-4} = 25,311(\text{с}) \end{aligned}$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 38   |

### 3.1.4 Аналіз отриманих значень.

| Задача                   | Спосіб розрахунку         | Тривалість охолодження(с) |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Охолодження скибки хліба | Графічний                 | 34,878                    |
| Охолодження скибки хліба | Аналітичний               | 25,311                    |
| Охолодження скибки хліба | Регулярний тепловий режим | —                         |



### 3.2.1 Графічний метод розрахунку охолодження молочної сосиски.

$$l \times b \times \delta = 0.12 \times 0.02 \times 0.02 \text{ (м)}$$

Температура продукту початкова -  $t_{\text{поч}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Температура у камері -  $t_{\text{о.с}} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{\text{кін}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

1) Для циліндру визначальним розміром  $R$  є радіус

$$R = 0.01 \text{ (м)}$$

2) За додатковою літературою (Boonsupthip, W., Sajjaanantakul, T.,

Heldman, D.R., 2009. Use of average molecular weights for product categories to predict freezing characteristics of foods. Journal of Food Science 74, E417eE425.)

знаходимо теплофізичні характеристики сосиски молочної

$$\alpha \text{ сосиски молочної} = 11.4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$\lambda \text{ сосиски молочної} = 0.5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К});$$

$$\nu = 17.1 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$$

$$\text{Pr} = 0.72$$

$$\beta = \frac{T_0}{T_{0.c.}} = \frac{30}{1} = 30$$

$$\Delta t = t_0 - t_{0.c.} = 30 - 1 = 29$$

$$\text{Gr} = \frac{g \cdot \delta^3}{\nu^2} \beta \cdot \Delta t = \frac{9.81 \cdot 0.02^3}{(17.1 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 180 = 2.335 \cdot 10^8$$

$$\text{Nu} = 0.8 \cdot \left( \frac{\text{Gr} \cdot \text{Pr}}{1 + (1 + \text{Pr})^{-0.5}} \right)^{0.25} = 0.8 \cdot \left( \frac{2.335 \cdot 10^8 \cdot 0.72}{1 + (1 + 0.72)^{-0.5}} \right)^{0.25} = 79.061$$

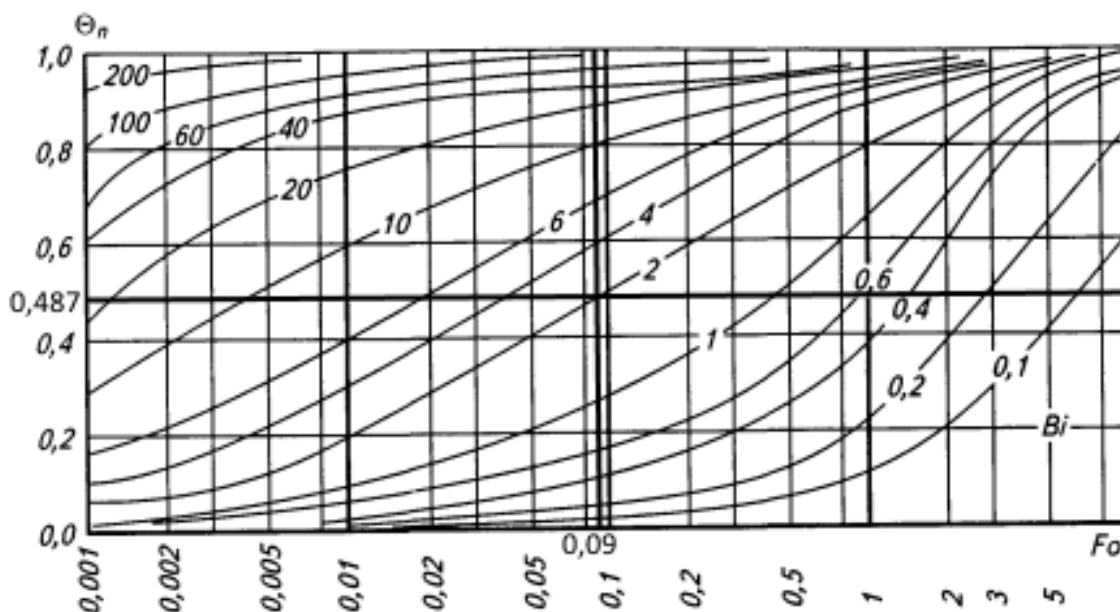
$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{ПВТ}}}{\delta} = \frac{79.061 \cdot 0,0244}{0,02} = 26,455 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

3) Розраховуємо число Біо

$$\text{Bi} = \frac{\alpha R}{\lambda} = \frac{26,455 \cdot 0,01}{0,5} = 1.3$$

4) Безрозмірна температура

$$\theta = \frac{t_{\text{кін}} - t_{0.c.}}{t_{\text{поч}} - t_{0.c.}} = \frac{10 - 1}{30 - 1} = 0.31$$



5) Скористаємось діагр. вище для визначення числа Фур'є ( $Fo = 0.08$ )

6) За формулою 2.1 розраховуємо тривалість охолодження

$$\tau = \frac{FoR^2}{a} = \frac{0,4 \cdot 0.01^2}{11.4 \cdot 10^{-8}} = 40.175(\text{с})$$

### 3.2.2 Розрахунок тривалості охолодження сосиски молочної за допомогою метода регулярного теплового режиму.

Розміри зразка  $a \times b \times c = 0.12 \times 0.02 \times 0.02$  (м)

Температура продукту початкова -  $t_{\text{поч}} = 20$  °С;

Температура у камері -  $t_{\text{о.с}} = 2$  °С.

Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{\text{кін}} = 1$  °С.

$a$  сосиски молочної =  $11.4 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с

$\lambda$  сосиски молочної = 0.5 Вт/(м·К);

$\nu = 17.1$  мкПа·с

$\alpha = 26,455$  Вт/(м<sup>2</sup> · К)

Розраховуємо число Біо

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda} = \frac{78,406 \cdot 0,01}{0,44} = 1,301$$

Розраховуємо площу тіла

$$S = l \cdot b = 2,4 \cdot 10^{-3}(\text{м})$$

Розраховуємо об'єм тіла

$$V = S \cdot \delta = 4,8 \cdot 10^{-5}(\text{м})$$

Розраховуємо безрозмірний параметр форми

$$\Phi = \frac{V}{S \cdot R} = 2$$

Розраховуємо безрозмірний параметр, що залежить від форми тіла та числа Біо

$$k = \frac{1}{\Phi - 1} = 1$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 41   |

$$\chi = \frac{Bi(k+1)(k+5+2\sqrt{2k+6}(Bi+\sqrt{2k+6}))}{4(\sqrt{2k+6}+2+Bi)Bi+\sqrt{2k+6}(k+5+2\sqrt{2k+6})(k+3)} = 0,022$$

Розраховуємо темп охолодження

$$m = \frac{a}{R^2} \chi = 2,46 \cdot 10^{-5}$$

Розраховуємо коефіцієнт нерівномірності температурного поля

$$\psi = \frac{A_{\text{пов}}}{A_{\text{об}}} = \frac{mc_v V}{\alpha S} = \frac{\Phi}{Bi} \chi = 0,033$$

$$A_{\text{об}} = \frac{(2 \cdot Bi + k + 3 + \sqrt{2k+6})^2 \cdot \sqrt{2k+6}}{(4(\sqrt{2k+6}+2+Bi)Bi+\sqrt{2k+6}(k+5+2\sqrt{2k+6}))(k+3)} = 0,969$$

$$A_{\text{пов}} = \chi \cdot A_{\text{об}} = 0,032$$

Розраховуємо тривалість охолодження

$$\tau \approx \frac{1}{m} \ln \left( A_{\text{об}} \frac{t_{\text{поч}} - t_c}{t_{\text{кін}} - t_c} \right) = \frac{1}{m} \ln \left( 0,032 \cdot \frac{20 - 2}{5 - 2} \right) = -2,223 \cdot 10^4$$

Вираз під логарифмом менше одиниці (0,228), тривалість охолодження вийшла від'ємною, отже цей спосіб розрахунку тривалості охолодження не підходить для моїх умов охолодження.

### 3.2.3 Аналітичне рішення задачі про охолодження сосиски молочної.

Розміри зразка  $l \times b \times \delta = 0.12 \times 0.02 \times 0.02$  (м)

$R = 0,01$

Температура продукту початкова -  $t_{\text{поч}} = 30$  °С;

Температура у камері -  $t_{\text{о.с}} = 1$  °С.

Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{\text{кін}} = 10$  °С.

$\lambda$  сосиски молочної = 0.5 Вт/(м·К);

$\delta = 0.02$  (м)

$\nu = 17.1$  мкПа·с

$Pr = 0.72$

$\rho = 1030$  кг/м<sup>3</sup>

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.P3</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 42   |

$$c = 3640 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$\alpha = 26,455 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$a_{\text{пр}} = \frac{\lambda_{\text{пр}}}{c_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{пр}}} = \frac{0,5}{1030 \cdot 3640} = 1,334 \cdot 10^{-7}$$

Розраховуємо число Біо - Ві

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_{\text{пр}}} = \frac{26,455 \cdot 0,01}{0,5} = 1,301$$

A - коефіцієнт, що враховує форму продукту. Для тіла у вигляді пластини A = 1, для циліндра A = 0.5, для кулі A = 0.336;

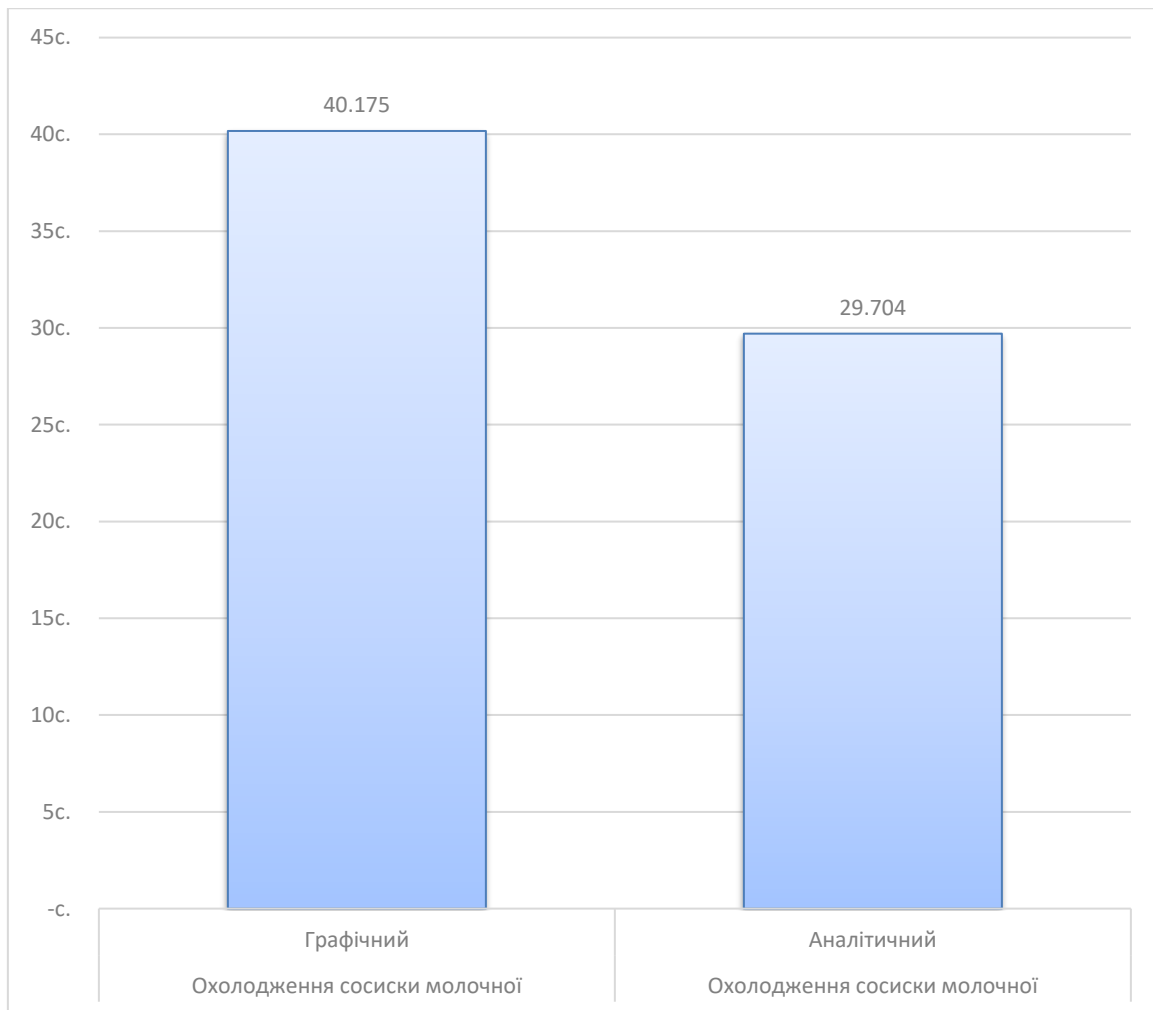
R - визначальний геометричний розмір тіла, м., (половина товщини пластини, радіус циліндра або кулі),

$a_{\text{пр}}$  – коефіцієнт температуропровідності продукту, м<sup>2</sup>/с

$$\begin{aligned} \tau &= -A \cdot \frac{R}{a_{\text{пр}}} \cdot \left( \left( \frac{2.3}{Bi} + 0.8 \right) \cdot \text{Lg} \frac{t_{\text{кін}} - t_{\text{о.с.}}}{t_0 - t_{\text{о.с.}}} - 0.12 \right) \cdot 2.78 \cdot 10^{-4} \\ &= -0,5 \cdot \frac{0.01}{1,334 \cdot 10^{-7}} \left( \left( \frac{2.3}{1,301} + 0.8 \right) \text{Log} \frac{1 - 2}{20 - 1} - 0.12 \right) \cdot 2.78 \\ &\cdot 10^{-4} = 29.704(\text{с}) \end{aligned}$$

### 3.2.4 Аналіз отриманих значень.

| Задача                          | Спосіб розрахунку            | Результат(с) |
|---------------------------------|------------------------------|--------------|
| Охолодження сосиски<br>молочної | Графічний                    | 40,175       |
| Охолодження сосиски<br>молочної | Аналітичний                  | 29,704       |
| Охолодження сосиски<br>молочної | Регулярний тепловий<br>режим | —            |



### 3.3.1 Графічний метод розрахунку охолодження апельсина.

Розмір зразка  $l \times b \times \rho = 0.1 \times 0.1 \times 0.1$  (м)

Температура продукту початкова -  $t_{\text{поч}} = 20$  °С;

Температура у камері -  $t_{\text{о.с}} = 3$  °С.

Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{\text{кін}} = 5$  °С.

1) Для кулі визначальним розміром  $R$  є радіус  $R = 0.05$  (м)

2) За додатковою літературою аналогічно до попередніх розділів знаходимо теплофізичні характеристики апельсина  $\alpha = 14.7 \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с,  $\lambda$  апельсина = 0.48 Вт/(м·К);  $\nu = 17.1$  мкПа·с  $Pr = 0.72$

$$\beta = \frac{T_0}{T_{\text{о.с}}} = \frac{20}{3} = 6,667$$

$$\Delta t = t_0 - t_{\text{о.с.}} = 20 - 3 = 17$$



Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{\text{кін}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$a$  апельсина =  $14.7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$

$\lambda$  апельсина =  $0.48 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;

$\nu = 17.1 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$

$\alpha = 33,052 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Розраховуємо число Біо

$$Bi = \frac{\alpha R}{\lambda} = \frac{33,052 \cdot 0,05}{0,48} = 3,443$$

Розраховуємо площу тіла

$$S = l \cdot b = 0,01(\text{м})$$

Розраховуємо об'єм тіла

$$V = S \cdot \delta = 1 \cdot 10^{-3}(\text{м})$$

Розраховуємо безрозмірний параметр форми

$$\Phi = \frac{V}{S \cdot R} = 2$$

Розраховуємо безрозмірний параметр, що залежить від форми тіла та числа Біо

$$k = \frac{1}{\Phi - 1} = 1$$

$$\chi = \frac{Bi(k + 1) \left( k + 5 + 2\sqrt{2k + 6}(Bi + \sqrt{2k + 6}) \right)}{4(\sqrt{2k + 6} + 2 + Bi)Bi + \sqrt{2k + 6}(k + 5 + 2\sqrt{2k + 6})(k + 3)} = 0,096$$

Розраховуємо темп охолодження

$$m = \frac{a}{R^2} \chi = 5,668 \cdot 10^{-6}$$

Розраховуємо коефіцієнт нерівномірності температурного поля

$$A_{\text{об}} = \frac{(2 \cdot Bi + k + 3 + \sqrt{2k + 6})^2 \cdot \sqrt{2k + 6}}{(4(\sqrt{2k + 6} + 2 + Bi)Bi + \sqrt{2k + 6}(k + 5 + 2\sqrt{2k + 6}))(k + 3)}$$
$$= 0,905$$

$$\psi = \frac{A_{\text{пов}}}{A_{\text{об}}} = \frac{mc_V V}{\alpha S} = \frac{\Phi}{Bi} \chi = 0,056$$

$$A_{\text{пов}} = \chi \cdot A_{\text{об}} = 0,051$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 46   |

Розраховуємо тривалість охолодження

$$\tau \approx \frac{1}{m} \ln \left( A_{об} \frac{t_{поч} - t_c}{t_{кін} - t_c} \right) = \frac{1}{m} \ln \left( 0,051 \cdot \frac{20 - 5}{3 - 5} \right) = -1,706 \cdot 10^5$$

Вираз під логарифмом менше одиниці (-0,3825), тривалість охолодження вийшла від'ємною, отже цей спосіб розрахунку тривалості охолодження не підходить для моїх умов охолодження.

### 3.3.3 Аналітичне рішення задачі про охолодження апельсина.

Розмір зразка  $l \times b \times r = 0,1 \times 0,1 \times 0,1$  (м)

$R = 0,05$

Температура продукту початкова -  $t_{поч} = 20$  °С;

Температура у камері -  $t_{о.с} = 3$  °С.

Температура продукту в кінці охолодження -  $t_{кін} = 5$  °С.

$\lambda$  апельсина = 0,48 Вт/(м·К);

$\delta = 0,1$  (м)

$\nu = 17,1$  мкПа·с

$Pr = 0,72$

$\rho = 887$  кг/м<sup>3</sup>

$c = 3726$  Дж/(кг·К)

$\alpha = 33,052$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)

$$a_{пр} = \frac{\lambda_{пр}}{c_{пр} \cdot \rho_{пр}} = \frac{0,5}{1030 \cdot 3640} = 1,452 \cdot 10^{-7} \left( \frac{м^2}{с} \right)$$

Розраховуємо число Бю - Ві

$$Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_{пр}} = \frac{33,052 \cdot 0,05}{0,48} = 0,44$$

$A$  - коефіцієнт, що враховує форму продукту. Для тіла у вигляді пластини  $A = 1$ , для циліндра  $A = 0,5$ , для кулі  $A = 0,336$ ;

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 47   |

$$\tau = -A \cdot \frac{R}{a_{\text{пр}}} \cdot \left( \left( \frac{2.3}{Bi} + 0.8 \right) \cdot \text{Lg} \frac{t_{\text{кін}} - t_{\text{о.с.}}}{t_0 - t_{\text{о.с.}}} - 0.12 \right) \cdot 2.78 \cdot 10^{-4}$$

$$= -0,336 \cdot \frac{0.05}{a_{\text{пр}}} \cdot \left( \left( \frac{2.3}{3,443} + 0.8 \right) \cdot \text{Lg} \frac{5 - 3}{20 - 3} - 0.12 \right) \cdot 2.78$$

$$\cdot 10^{-4} = 47,735(\text{с})$$

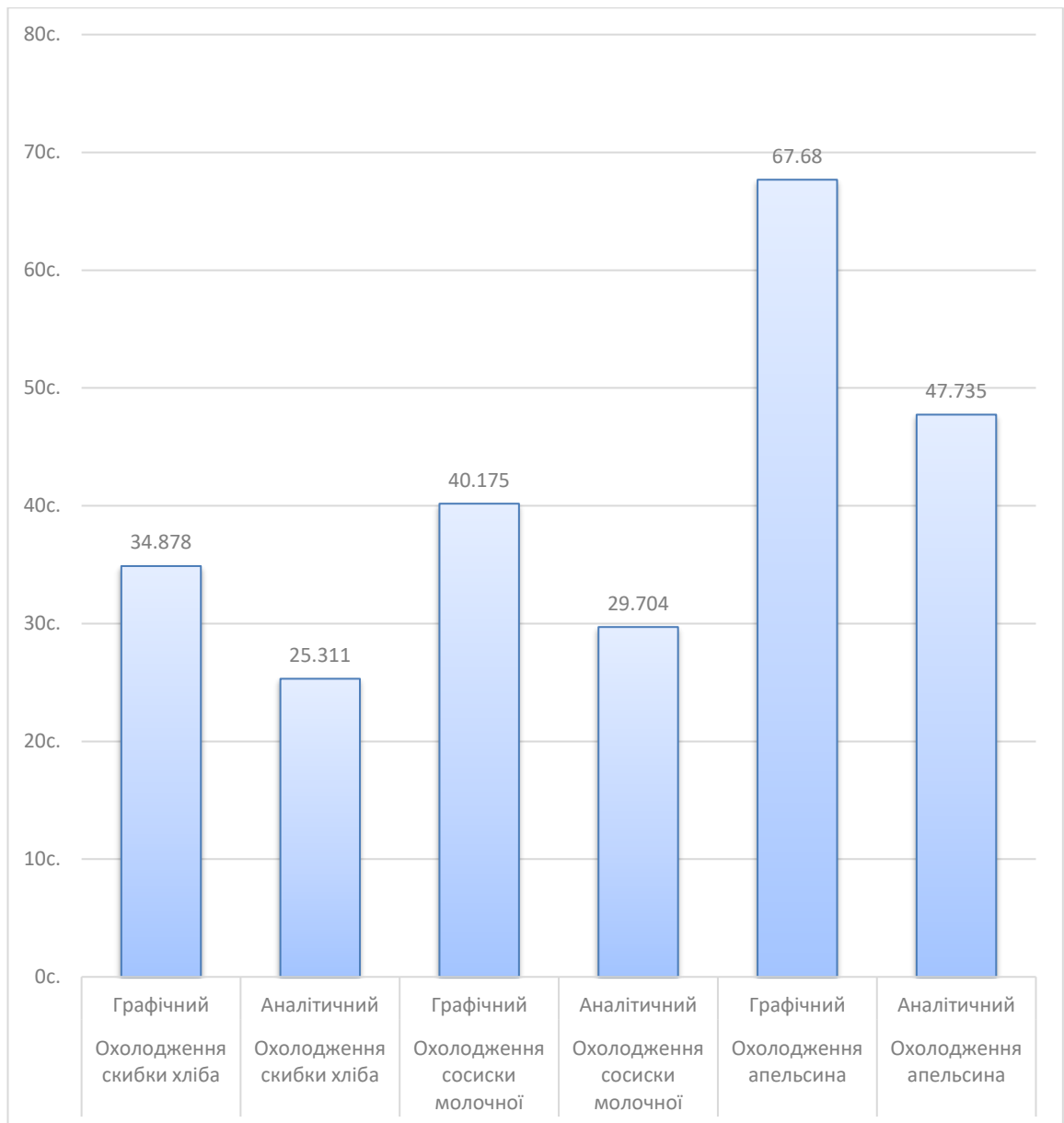
### 3.3.4 Аналіз отриманих результатів

| Задача                | Спосіб розрахунку         | Результат(с) |
|-----------------------|---------------------------|--------------|
| Охолодження апельсина | Графічний                 | 67,68        |
| Охолодження апельсина | Аналітичний               | 47,735       |
| Охолодження апельсина | Регулярний тепловий режим | —            |



### 3.4 Висновок

| Задача                          | Спосіб розрахунку            | Результат(с) |
|---------------------------------|------------------------------|--------------|
| Охолодження скибки<br>хліба     | Графічний                    | 34,878       |
| Охолодження скибки<br>хліба     | Аналітичний                  | 25,311       |
| Охолодження скибки<br>хліба     | Регулярний тепловий<br>режим | —            |
| Охолодження сосиски<br>молочної | Графічний                    | 40,175       |
| Охолодження сосиски<br>молочної | Аналітичний                  | 29,704       |
| Охолодження сосиски<br>молочної | Регулярний тепловий<br>режим | —            |
| Охолодження<br>апельсина        | Графічний                    | 67,68        |
| Охолодження<br>апельсина        | Аналітичний                  | 47,735       |
| Охолодження<br>апельсина        | Регулярний тепловий<br>режим | —            |



Під час аналізу отриманих результатів розрахунків виявлено наступне:

**1. Різниця між методами:**

- Для скибки хліба: 9,567 с.
- Для сосиски: 10,471 с.
- Для апельсина: 19,975 с.

**2. Оцінка графічного методу:**

- Графічний метод виявився менш точним у порівнянні з аналітичним.
- Причина цього полягає в суб'єктивності використання діаграм та відображення теплового режиму.

3. **Переваги аналітичного розрахунку:**

- Аналітичний розрахунок виявився більш точним для тіл стереометричної форми.
- Це підкреслює значущість вибору методу, враховуючи характеристики об'єкта.

4. **Невдача методу регулярного теплового режиму:**

- Метод регулярного теплового режиму не призвів до результатів через вираз під логарифмом, який був менше 1.
- Вказано, що цей метод не є застосовним при малих часових інтервалах охолодження.

**Висновок:**

Виявлені різниці в результатах тривалості охолодження свідчать про важливість обрання відповідного методу розрахунку. Графічний метод, хоча і широко використовується, демонструє відносну нестабільність через суб'єктивність використання діаграм. Аналітичний розрахунок надає більш точні результати, особливо для тіл стереометричної форми. Метод регулярного теплового режиму виявився непридатним для досліджуваних умов, підкреслюючи важливість врахування обмежень методології при виборі підходу до розрахунків. Дослідження підкреслює необхідність удосконалення методів розрахунку та врахування їхнього впливу на точність результатів при подальших дослідженнях.

Виявлені різниці в методах розрахунку тривалості охолодження можуть безпосередньо впливати на якість продуктів в галузі харчової промисловості.

1. **Консистенція та текстура:**

- Неправильна тривалість охолодження може призвести до некоректного формування структури продуктів, таких як хліб чи сосиски. Це може впливати на консистенцію та текстуру продукту.

2. **Безпека харчових продуктів:**

- Недостатня або надмірна тривалість охолодження може впливати на безпеку харчових продуктів. Наприклад, неправильно

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 51   |

встановлений термін охолодження може призвести до розмноження мікроорганізмів, що загрожує безпеці продукту.

**3. Смакові якості:**

- Тривалість охолодження може впливати на смакові якості продукту. Наприклад, недостатній час охолодження може призвести до недостатньої фіксації смакових реакцій, тим самим впливаючи на смак продукту.

**4. Естетика та вигляд продукту:**

- Неправильна тривалість охолодження може впливати на зовнішній вигляд продукту. Наприклад, надмірне охолодження може спричинити утворення кристалів льоду на поверхні, що вплине на естетичний вигляд.

Отже, коректні розрахунки тривалості охолодження є критичним елементом виробничого процесу у харчовій промисловості, оскільки вони можуть суттєво впливати на якість, безпеку та естетику харчових продуктів. Подальше вдосконалення методів розрахунку та контроль процесів охолодження може сприяти покращенню якості виробів та задоволенню споживачів

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.P3</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                             | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

## 4. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

### ОРГАНІЗАЦІЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОБНИЧОГО ТА ОБСЛУГОВУЮЧОГО ПЕРСОНАЛУ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### Вступ

Радіаційна ситуація в Україні характеризується наявністю складного поєднання різноманітних джерел опромінення людини, які діють одночасно: індустриальні, медичні, а також "продлонговані" аварійні та техногенно-підсилені природні, а також ті, що супроводжують відходи виробництва, залишки минулих технологій, тощо.

Основними джерелами опромінення населення України, як і в інших країнах світу, є техногенно-підсилені діяльністю людини природні джерела. Середньорічна ефективна доза опромінення населення цими джерелами в Україні становить понад 6 мЗв. Понад 70% цієї дози складає радон-222 - продукт розпаду природного урану-238. Актуальною також є проблема опромінення людини техногенно-підсиленими джерелами природного походження у виробничих умовах (металургія, не уранові шахти та інше).

На другому місці за величиною наявних доз опромінення є джерела, які використовуються в медицині з метою діагностики та лікування. Середня доза опромінення населення від медичних процедур в Україні становить 0,5 мЗв на рік. В той же час внесок цього виду опромінення у сумарну дозу достатньо істотний і складає 10-20%. Тому проведення заходів по зниженню цієї компоненти опромінення є досить актуальним.

Дуже важливим з позиції профілактичної медицини є також зменшення радіаційного впливу на населення, яке мешкає на територіях, де зберігаються відходи виробництва з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

Джерела іонізуючого випромінювання (далі ДІВ) у вигляді радіоактивних речовин або пристроїв широко використовуються у промисловості, медицині, наукових закладах тощо області.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 53   |

Небезпеку, зв'язану з використанням ДІВ, значною мірою зумовлює активність радіонуклідів, форма їх застосування, енергія випромінювання та інші фактори. Використання генераторів випромінювання та закритих радіонуклідні ДІВ створює ризик зовнішнього опромінення. Небезпеку, зв'язану з використанням ДІВ, обмежує держава шляхом регулювання безпеки діяльності з ДІВ, яка передбачає: встановлення норм, правил та стандартів з ядерної та радіаційної безпеки; надання дозволів на ведення діяльності, зв'язаної з ДІВ; здійснення нагляду за дотриманням вимог та умов наданих дозволів.

На даний час аварія на Чорнобильській АЕС розглядається як джерело пролонгованого опромінення населення. Моніторинг радіоактивності на території України, як і раніше залишається нагальною проблемою санітарно-епідеміологічного нагляду. Актуальність цієї проблеми підвищується у зв'язку з розташуванням на території України п'яти атомних електростанцій.

#### **4.1 Вимоги щодо організації радіаційного контролю населення, виробничого персоналу у надзвичайних ситуаціях**

Радіаційна безпека - це такий стан радіаційно-ядерного об'єкта й оточуючого середовища, який забезпечує не перевищення встановлених лімітів доз, виключає будь-яке не виправдане опромінення та зменшення доз опромінення персоналу і населення нижче встановлених лімітів доз настільки, наскільки це може бути досягнуте й економічно обґрунтоване.

Протирадіаційний захист являє собою комплекс нормативно-правових, проектно-конструкторських, технічних і організаційних заходів, які забезпечують радіаційну безпеку.

Ефективна доза опромінення - розрахункова доза опромінення людини, яка враховує вклади ефектів опромінення різних органів і тканин людини на стан її здоров'я у цілому.

Опромінення - вплив на людину іонізуючого випромінювання, яке може бути зовнішнім опроміненням внаслідок практичної діяльності від джерел

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 54   |

іонізуючого випромінювання поза тілом людини або внутрішнім опроміненням від джерел іонізуючого випромінювання, які знаходяться всередині тіла людини.

Опромінення населення - опромінення, якого зазнає (зазнала) людина від ядерних установок і джерел іонізуючого випромінювання, за винятком професійного і медичного опромінення та опромінення, зумовленого місцевим природним радіаційним фоном.

**Згідно із законом України „ Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання „ від 26 квітня 2001 року N 2397-III „** кожна людина, яка проживає або тимчасово перебуває на території України, має право на захист від впливу іонізуючого випромінювання. Це право забезпечується здійсненням комплексу заходів щодо запобігання впливу іонізуючого випромінювання на організм людини вище встановлених дозових меж опромінення, компенсацією за перевищення встановлених дозових меж опромінення та відшкодуванням шкоди, заподіяної внаслідок впливу іонізуючого випромінювання. „

Основна добова межа індивідуального опромінення населення не повинна перевищувати 1 мілізіверта ефективної дози опромінення за рік, при цьому середньорічні ефективні дози опромінення людини, віднесеної до критичної групи, не повинні перевищувати встановлених цією статтею основних добових меж опромінення незалежно від умов та шляхів формування цих доз.

Основна добова межа індивідуального опромінення персоналу об'єктів, на яких здійснюється практична діяльність, не повинна перевищувати 20 мілізівертів ефективної дози опромінення на рік, при цьому допускається її збільшення до 50 мілізівертів за умови, що середньорічна доза опромінення протягом 5 років не перевищує 20 мілізівертів.

До повноважень місцевих органів виконавчої влади щодо забезпечення захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання належать:

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 55   |

- прийняття згідно з законодавством України рішень про застосування на відповідній території заходів втручання у разі радіаційних аварій;

- організація проведення в установленому порядку щорічних обстежень з метою оцінки стану захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання та ведення екологічного паспорта території;

- організація контролю за виконанням заходів щодо захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання, що містяться в будівельних матеріалах;

- погодження планів заходів щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;

- забезпечення постійної готовності засобів оповіщення населення відповідної території про виникнення радіаційної аварії; організація контролю за виконанням заходів щодо захисту населення від радіаційних аварій та їх наслідків;

- розроблення та впровадження регіональних програм захисту населення від впливу іонізуючого випромінювання.

Регіональна програма захисту населення від впливу іонізуючого випромінювання розробляється згідно з щорічною оцінкою стану захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання на відповідній території і повинна включати такі заходи:

- пошук і виявлення джерел та шляхів, що спричиняють вплив іонізуючого випромінювання на людину;

- реалізація заходів щодо знешкодження джерел і шляхів, що спричиняють вплив іонізуючого випромінювання на людину, та (або) захисту від цього впливу людини;

- впровадження пунктів радіаційного контролю продуктів харчування на ринках і в інших місцях їх масової реалізації;

- організація постів індивідуальних дозиметричних вимірювань згідно з нормативами, визначеними відповідними центральними органами виконавчої влади;

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 56   |

• надання населенню безоплатних консультацій з питань захисту від іонізуючого випромінювання, радіаційного контролю, дезактивації предметів побуту.

Юридичні та фізичні особи, які здійснюють практичну діяльність, забезпечують готовність до ліквідації радіаційних аварій згідно з вимогами стандартів, норм і правил захисту людини від впливу іонізуючого випромінювання, а також умовами отриманих дозволів. До такого забезпечення належить наявність:

• переліку потенційно можливих радіаційних аварій і прогнозів їх можливих наслідків з відповідними обґрунтуваннями;

• планів захисту персоналу і населення від потенційно можливих аварій та їх наслідків, погоджених з органами державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки або уповноваженими ними місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування та затверджених юридичними або фізичними особами і доведених до відома персоналу та населення;

• засобів оповіщення персоналу та населення;

• засобів забезпечення ліквідації наслідків радіаційної аварії;

• засобів медичного захисту людини від впливу опромінення;

• засобів індивідуального захисту людини;

• засобів індивідуального дозиметричного контролю.

У разі виникнення радіаційної аварії юридичні та фізичні особи, які здійснюють практичну діяльність, зобов'язані забезпечити виконання планів захисту персоналу і населення від впливу аварії; інформувати про виникнення аварії органи державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки; вжити заходів щодо подання медичної допомоги потерпілим внаслідок радіаційної аварії; здійснити заходи щодо запобігання розповсюдження радіоактивних речовин у довкіллі; провести аналіз і підготувати прогноз розвитку радіаційної аварії і змін радіаційної обстановки.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 57   |

## 4.2 Здійснення радіаційного контролю виробничого персоналу.

Приймаємо, що на об'єкті працює 30 робітників. Об'єкт спеціалізується на збереженні продуктів харчування.

Таблиця 4.1. Перелік засобів захисту

| Найменування майна              | Потрібно |                   |                           | Є в наявності |                   |                            | Надходить з резерву |
|---------------------------------|----------|-------------------|---------------------------|---------------|-------------------|----------------------------|---------------------|
|                                 | Всього   | в т.ч.            |                           | Всього        | в т.ч.            |                            |                     |
|                                 |          | Для формування ЦЗ | Для робочих на службовців |               | Для формування ЦЗ | Для робочих на службовці в |                     |
| 1                               | 2        | 3                 | 4                         | 5             | 6                 | 7                          | 8                   |
| Фільтруючі протигази ГП-5       | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |
| Ізолюючі протигази ІП-4         | 10       | 10                | -                         | 10            | 10                | -                          | -                   |
| Респіратори                     | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |
| Плащі ОП                        | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |
| Костюми Л-1                     | 10       | 10                | -                         | 10            | 10                | -                          | -                   |
| Гумові рукавички                | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |
| Гумові чоботи                   | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |
| Прилади ДП-5В                   | 1        | 1                 | -                         | 1             | 1                 | -                          | -                   |
| ДП-24                           | 1        | 1                 | -                         | 1             | 1                 | -                          | -                   |
| ВПХР                            | 1        | 1                 | -                         | 1             | 1                 | -                          | -                   |
| Медичне майно - аптечка АІ-1    | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |
| Перев'язочні пакети             | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |
| Санітарні сумки з набором ліків | 1        | 1                 | -                         | 1             | 1                 | -                          | -                   |
| Носилки санітарні               | 2        | 2                 | -                         | 2             | 2                 | -                          | -                   |
| ІПП-8                           | 30       | 10                | 20                        | 30            | 10                | 20                         | -                   |

### 4.3 Потреба та забезпечення персоналу засобами захисту при загрозі радіаційного зараження.

Використання засобів індивідуального захисту спрямоване в першу чергу на захист поверхні тіла від проникаючого випромінювання. Як екрануючі засоби при роботі з джерелами іонізуючого випромінювання використовуються фартухи, спідниці, рукавички, шапочки, ширми, гонадні захисти і багато інших засобів, виготовлених з просвинцованої резини або з матеріалів нового покоління (рідкоземельних резин). Як і всі вироби будь-якої області використання, засоби індивідуального захисту мають свій термін зберігання й експлуатації. Ефективність захисних властивостей залежить від віку й стану засобу захисту. Відповідно до СП 2780-80 перевірка засобів індивідуального захисту за умов відсутності зауважень по захисним властивостям засобу проводиться кожні 2 роки. Забраковані засоби захисту до роботи не допускаються. Кожна одиниця захисту повинна мати протокол перевірки із значенням дати останньої перевірки, який є єдиним офіційним документом, що дозволяє подальшу експлуатацію засобу захисту від іонізуючого випромінювання.

Джерелом опромінення виробничого персоналу може бути аварія на АЕС, транспортні засоби, що проїжджали по зараженій території. Для контролю опромінення пропонують використовувати наступні прилади: ДП-24.

ДП-24 – комплект дозиметрів, призначених для вимірювання експозиційних доз випромінювання. Діапазон випромінювання 2-50 Р/добу.

Джерело живлення – два елементи 1,7 МПЦ-У-10.

У комплект дозиметрів ДП-24 входять п'ять прямопоказуючих дозиметрів ДКП-50А, зарядний пристрій ЗД-5, футляр, технічна документація. Підготовка комплекту до роботи передбачає зовнішній огляд, перевірку комплектності та зарядку дозиметрів ДКП-50А. Під час огляду потрібно визначити належність дозиметрів до цього комплекту, їх технічну готовність. Для підготовки ДКП-50А до роботи знімають пилезахисний ковпачок дозиметра і ковпачок гнізда “Заряд” виводиться в напрямку проти руху часової

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 59   |

годинникової стрілки, дозиметр встановлюється в гніздо і легенько притискується до дна гнізда. Спостерігаючи в окуляр і повертаючи ручку “Заряд” в напрямку руху годинникової стрілки потрібно встановити тінь від нитки на нуль шкали дозиметра і встановити на місце пилезахисний ковпачок.

### **Висновок**

Питання радіаційного контролю та захисту від іонізуючого випромінювання є дуже актуальним для України через аварію на Чорнобильській АЕС. Моніторинг радіоактивності на території України, як і раніше залишається нагальною проблемою санітарно-епідеміологічного нагляду. Актуальність цієї проблеми підвищується у зв'язку з розташуванням на території України п'яти атомних електростанцій.

На об'єкті створено одне воєнізоване формування цивільного захисту від техногенних і природних катаклізмів: аварійно-технічна ланка, санітарний пост та ланка пожежогасіння.

Потребує розробки комплексна програма забезпечення санітарного нагляду в галузі радіаційної безпеки. Основною метою комплексної програми є вдосконалення радіаційно-гігієнічного нагляду, поліпшення радіаційного моніторингу довкілля, продуктів харчування та води, розробка та виконання конкретних заходів спрямованих на мінімізацію впливу іонізуючого випромінювання на стан здоров'я персоналу та населення.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### Вступ

Метою даної магістерської роботи є аналіз способів розрахунку тривалості охолодження харчових продуктів. Дана робота полягає у взаємодії з ПЕОМ. Тому темою розділу охорони праці є розгляд системи заходів і засобів по запобіганню впливу на людину шкідливих і небезпечних факторів, які супроводжують роботу оператора.

### 5.1. Умови праці

Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які діють на оператора (ПЕОМ):

- коливання параметрів мікроклімату;
- вірогідність забруднення шкідливими речовинами повітря.
- шум та вібрація;
- рівень освітленості;
- виробничі випромінювання;
- безпека при експлуатації ПЕОМ;
- пожежонебезпека.

### 5.2. Мікроклімат

Параметри мікроклімату та вміст шкідливих речовин на робочих місцях повинен відповідати вимогам :

1) ДСНЗ.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”,

Нормовані параметри мікроклімату робочих приміщень наведено у таблиці 5.1

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 61   |

Таблиця 5.1. Нормовані параметри мікроклімату для приміщень з ПЕОМ

| Період року | Категорія робіт згідно з ГОСТ 12.1-005-88 | Температура повітря, град С | Відносна вологість повітря % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------|---|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|             |   | оптимальна                  | оптимальна                   | оптимальна                  |
| Холодний    | легка-1 а                                 | 22-24                       | 40-60                        | 0,1                         |
| Теплий      | легка-1 а                                 | 23-25                       | 40-60                        | 0,1                         |

Параметри мікроклімату та чистота повітря в приміщенні підтримуються за допомогою промислового кондиціонера. Крім того передбачено обігрів приміщення у холодний період року.

### 5.3. Вимоги виробничої санітарії до виробничого приміщення та розташування обладнання

Приміщення з робочим місцем оператора ПЕОМ розташоване в житловому приміщенні та має розміри – 5000х4000х3000 мм.

Характеристики робочого місця приведена в таблиці 5.2

Таблиця 5.2. - Характеристики робочого місця

| Характеристики   | Значення       |              |
|--|----------------|--------------|
|  | Нормативна, мм | Фактична, мм |
| Висота робочої поверхні                                      | 800            | 800          |
| Висота простору для ніг                                      | 700            | 750          |
| Ширина простору для ніг                                      | 550            | 650          |
| Глибина простору для ніг                                     | 450            | 600          |
| Відстань від сидіння до нижнього краю поверхні (регулюється) | 210            | 220-270      |

### 5.4. Виробниче освітлення

Правильно спроектоване і виконане виробниче освітлення покращує умови зорової роботи, знижує стомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці.

Рівень природного та штучного освітлення у робочому приміщенні відповідає вимогам. Природне світло до приміщення проникає через вікно, яке виходить на південь та забезпечують коефіцієнт природної освітленості  $e_{\text{мін}}=1,65\%$ .

Рекомендовані рівні штучної освітленості у приміщеннях з багатоколірними ВДТ: загальної освітленості — 75-100 лк, комбінованої освітленості — 400 лк. (лампа розжарювання на робочому столі операторі).

Обмеження прямого осліплення від джерела природного і штучного освітлення регламентується яскравістю (вікна, джерел штучного освітлення). Віконний проріз приміщення обладнаний регульованими пристроями (штори). Обмеження відбитого світла здійснюється правильним вибором типу світильників, та розміщенням робочих місць відносно джерел природного і штучного освітлення, раціональним підбором поверхонь відбиття приладів, інтер'єру приміщення, меблів тощо. Як джерела світла при штучному освітленні застосовуються переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ. Для загального освітлення використовують світильники з екрануючими решітками серії ЛІТО 3б, укомплектовані високочастотними пускорегулювальними апаратами (ВЧ ПРА).

Для забезпечення нормованих значень освітленості у приміщеннях з ПЕОМ слід чистити шибки вікон і світильники принаймні двічі на рік і вчасно замінювати лампи, що перегоріли.

### **5.5. Шум та вібрація**

Під час виконання робіт з ЕОМ загальний рівень шуму в приміщенні не повинен перевищувати 50-55®- дБ, а рівень загальної вібрації 70-72 дБ, що відповідає вимогам державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин" ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Джерелом шуму та вібрації є таке обладнання:

- ПЕОМ;

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 63   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

- друкуючий пристрій;
- кондиціонер;
- шум з вулиці;

Для зниження шуму та вібрації на робочому місці оператора ПЕОМ використовують такі методи:

- своєчасна профілактика і ремонт ПЕОМ і іншого електроустаткування;
- використання звукоізолюючих віконних рам;
- винесення кондиціонера за межі приміщення та встановлення його на гумові віброізолятори.

### 5.6. Виробничі випромінювання

Візуальний дисплейний термінал типу «ТФТ» є джерелом декількох видів випромінювань: оптичних (ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного діапазонів), високочастотних і низькочастотних електромагнітних полів.

Табл. 5.3 Нормовані випромінювання та параметри полів від ВДТ типу TFT, LCD.

| Найменування   | Діапазон                     | Гранично               |
|--|------------------------------|------------------------|
|  | хвиль                        | допустимий             |
|  | (частот)                     | рівень                 |
| Оптичні випромінювання   |                              |                        |
| Ультрафіолетовий діапазон  | 315 — 400 нм                 | 10 Вт/м <sup>2</sup>   |
| Видиме випромінювання (яскравість)   | 400 - 700 нм                 | 1000 кд/м <sup>2</sup> |
| Інфрачервоний діапазон   | 700 нм — 1мм                 | 100 Вт/м <sup>2</sup>  |
| Електромагнітні випромінювання ( поля радіочастотного та низькочастотного діапазонів)      |                              |                        |
| Напруженість електромагнітного поля на відстані 0,5 м навколо ВДТ за електричною складовою | 2кГц - 400 кГц 5 Гц - 2 кГц  | 2,5 В/м 25 В/м         |
| Щільність магнітного потоку  | 2 кГц — 400 кГц 5 Гц — 2 кГц | 25 нТл 250 нТл         |

Реальна інтенсивність кожного виду випромінювання залежить від

технічної конструкції конкретного терміналу.

Біологічна дія на оператора електромагнітних випромінювань, електромагнітних та електростатичних полів залежить від того, наскільки їх рівні та параметри відповідають нормованим значенням наведеним в табл. 5.3.

Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати сучасні монітори, а також дотримуватись регламентованих режимів праці і відпочинку (на кожні 2 години роботи 15 хвилин технологічної перерви).

### **5.7. Техніка безпеки**

Згідно “ПУЕ. Правил улаштування електроустановок”, робоче місце оператора ПЕОМ, класифікується як приміщення без підвищеної електробезпеки.

Під час експлуатації електрообладнання, електричного освітлення та ПЕОМ необхідно дотримуватись вимог нормативно-технічної і експлуатаційної Документації заводу-виробника ЕОМ.

Неприпустимим є:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила

захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишати під напругою кабелі та провoda з неізольованими провідниками.

- Користуватися пошкодженими розетками; розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими саморобними електровиробами

*Основні заходи та засоби з електробезпеки:*

- світильники і ПЕОМ повинні мати пристрої захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів (автоматичні вимикачі);

- недоступність струмопровідних частин (прокладення кабелю, проводок в трубах, в гнучких металевих рукавах, в спеціальних закритих каналах під підлогою);

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 65   |

- заземленні конструкції в приміщенні (батарея опалення) повинні бути захищені з'ємними щитками або сітками від випадкового дотику;

- всі струмоведучі частини електрообладнання повинні бути надійно ізольовані ( $R_{i3}$  не менше  $0.5M\Omega$ ), для ПЕОМ ( $R_{i3} \geq M\Omega$ );

- всі периферійні пристрої ПЕОМ та металеві труби для прокладання проводки повинні бути заземлені, а штепсельні з'єднання та розетки підключення ПЕОМ — мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Заземлення ПЕОМ та іншого електроустаткування здійснюється різними контурами: для ПЕОМ контур заземлення  $R_3$  не більше 1 Ом, для іншого електроустаткування  $R_3$ , не більше 4 Ом.

• проведення ряд організаційних заходів (навчання, інструктаж, атестація і переатестація користувачів комп'ютерної техніки).

## 6.8. Пожежобезпека

Найбільш ймовірною і основною причиною виникнення пожежі в приміщенні експлуатації ПЕОМ є займання електропроводки внаслідок короткого замикання та з інших причин. Тому система запобігання пожежі повинна включати наступні заходи:

- виконання правил пожежної безпеки при роботі з комп'ютером;
  - періодичний контроль цілісності і надійності електроізоляції;
  - експлуатація електрообладнання без перевантаження;
  - наявність протипожежних інструкцій на робочому місці;
  - навчання, атестація і переатестація персоналу з пожежної безпеки;
- З наявність системи захисту від атмосферної електрики;
- заборона куріння в приміщенні.

Система пожежного захисту передбачає наступні заходи і засоби: наявність пристроїв вимкнення електроустаткування, оснащення системою автоматичної пожежної сигналізації з димовими оповісниками, наявність первинних засобів пожежогасіння — 2 газових вогнегасника типу ОУ-5.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 66   |



15. Matuda, t.g., parra, d.f., lugão, a.b., tadini, c.c., 2005a. Influence of vegetable shortening and emulsifiers on the unfrozen water content and textural properties of frozen french bread dough. Lebensmittel ewissenschaft und-technologie 38, 275e280.

16. Danster, n. Wolmarans, p. Buitendag, c.s. De jager, a. 2008. Energy and nutrient composition of south african wheat, wheat flour and bread. Mrc cape town, south africa, 2008. Isbn 978-1-920014-54-4.

17. Davis, w.r. 1984. Hot-wire method for the measurement of the thermal conductivity of refractory materials. In compendium of thermophysical property measurement methods, vol. 1 survey of measurement techniques. New york, london : plenum press, 1984.

18. Healy, j.j. de groot, j.j. kestin, j. 1976. The theory of the transient hot-wire method for measuring thermal conductivity. In physica b+c, vol. 82, 1976, no. 2, pp. 392–408.

19. Karawacki, e. suleiman, b.m. 2001. Dynamic plane source technique for study of the thermal transport properties of solids. In high temperatures – high pressures, 2001, no. 23, pp. 215–223.

20. Karawacki, e. suleiman, b.m. ulhang, i. nhi, b.t. 1992. An extension to the dynamic plane source technique for measuring thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat of solids. In review of scientific instruments, 1992, no. 63, pp. 4390–4397.

21. Tavman, i.h. 1996. Effective thermal conductivity of granular porous materials. In international communications in heat and mass transfer, vol. 23, 1996, no. 2, pp. 169–176.

22. Vozár, l. Et al. 2010. Hot wire method [online]. Nitra : ukf. [retrieved 2010-06-29]. Retrieved from: [http://www.tpl.fpv.ukf.sk/engl\\_vers/hot\\_wire.htm](http://www.tpl.fpv.ukf.sk/engl_vers/hot_wire.htm)

23. Wakeham, w.a. Nagashima, a. Sengers, v.j. 1991. Measurement of the transport properties of fluids. In experimental thermodynamics, vol. 3. London : blackwell scientific publications, 1991.

24. Wechsler, a.e. 1992. The probe method for measurement of thermal conductivity. In compendium of thermophysical property measurement methods, vol. 2 recommended measurement techniques and practices. New york, london : plenum press, 1992

25. Aacc, 2000. Approved methods of the american association of cereal chemists, tenth ed. Aacc, saint paul.

26. Baier-Schenk, A., Handschin, S., Conde-Petit, B., 2005. Ice in prefermented frozen bread dough e an investigation based on calorimetry and microscopy. Cereal Chemistry 82, 251e255.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | 00.MP.142.003.001.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 68   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

27. Baik, O.D., Marcotte, M., Sablani, S.S., Castaigne, F., 2001. Thermal and physical properties of bakery products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 41, 321e352.
28. Boonsupthip, W., Sajjaanantakul, T., Heldman, D.R., 2009. Use of average molecular weights for product categories to predict freezing characteristics of foods. *Journal of Food Science* 74, E417eE425.
29. Bot, A., 2003. Differential scanning calorimetric study on the effects of frozen storage on gluten and dough. *Cereal Chemistry* 80, 366e370.
30. Chen, C.S., 1985. Thermodynamic analysis of the freezing and thawing of foods: enthalpy and apparent specific heat. *Journal of Food Science* 50, 1158e1162.
31. Choi, Y., Okos, M.R., 1986. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: Le Maguer, M., Jelen, P. (Eds.), *Food Engineering and Process Applications (Volume 1 Transport Phenomena)*. Elsevier, London, pp. 93e101.
32. Cleland, D.J., Valentas, K.J., 1997. Prediction of freezing time and design of food freezers. In: Valentas, K.J., Singh, R.P., Rotstein, E. (Eds.), *Handbook of Food Engineering Practice*. CRC Press, Boca Raton, pp. 71e124.

|      |      |          |        |      |                             |      |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>00.MP.142.003.001.ПЗ</i> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                             | 69   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК 1 ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СКИБКИ ХЛІБА

*Плотность и коэффициент теплопроводности теста-хлеба [230]*

| Продолжи-<br>тельность<br>выпечки,<br>мин | Ржаной |                            |                      | Пшеничный |                            |                      |
|---|--------|----------------------------|----------------------|-----------|----------------------------|----------------------|
|   | W, %   | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) | W, %      | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda$ , Вт/(м·К) |
| 5   | 47     | 700                        | 0,32                 | 51        | 435                        | 0,15                 |
| 7   | 46     | 648                        | 0,24                 | 49        | 388                        | 0,14                 |
| 10  | 45     | 520                        | 0,24                 | 42        | 370                        | 0,14                 |
| 15  | 43     | 581                        | 0,23                 | 38        | 353                        | 0,14                 |
| 20  | 40     | 520                        | 0,19                 | 37        | 320                        | 0,13                 |

*Формулы для определения коэффициента тепло- и температуропроводности теста-хлеба при T=293 K [141]*

| Тесто-хлеб                      | W <sup>c</sup> , % | $\lambda$ , Вт/(м·К);<br>a, м <sup>2</sup> /с                           | W <sup>c</sup> , % | $\lambda$ , Вт/(м·К);<br>a, м <sup>2</sup> /с                             |
|---------------------------------|--------------------|---|--------------------|---|
| Из пшеничной<br>муки<br>I сорта | 0—30               | $\lambda=0,152+$<br>$+0,007W^c$ ;<br>$a \cdot 10^8=13,4+$<br>$+0,37W^c$ | 30—<br>100         | $\lambda=0,345-$<br>$-0,001W^c$ ;<br>$a \cdot 10^8=23,2-$<br>$-0,053W^c$  |
|                                 | II сорта           | 0—25  | 25—<br>100         | $\lambda=0,305-$<br>$-0,0003W^c$ ;<br>$a \cdot 10^8=22,2-$<br>$-0,057W^c$ |
| Из ржаной муки                  | 0—30               | $\lambda=0,237+$<br>$+0,007W^c$ ;<br>$a \cdot 10^8=14,4+$<br>$+0,35W^c$ | 30—<br>100         | $\lambda=0,44-$<br>$-0,00045W^c$ ;<br>$a \cdot 10^8=24,9-$<br>$-0,059W^c$ |

Коэффициент теплопроводности теста-хлеба  $\lambda$  [в Вт/(м·К)] [139]

| Тесто-хлеб                             | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\lambda_{293}$ , Вт/(м·К) | Температура $T > 343$ К |      |
|--|----------------------------|----------------------------|-------------------------|------|
|  |                            |                            | 353                     | 363  |
| Из пшеничной муки<br>I сорта           | 470                        | 0,35                       | 0,42                    | 0,50 |
| II сорта                               | 420                        | 0,40                       | 0,48                    | 0,53 |
| Из ржано-пшеничной<br>муки (40% + 60%) | 540                        | 0,48                       | 0,58                    | 0,72 |

Теплофизические характеристики мякиша хлеба при  $T = 273 \div 291$  К

| Мякиш   | $W$ , % | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $c$ , Дж/(кг·К) | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /с | Источник |
|---|---------|----------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------|----------|
| Батона из пшеничной<br>муки I сорта               | 41,8    | 402                        | 3190            | 0,298                | 22,3                               | [139]    |
| Формового хлеба из пше-<br>ничной муки<br>I сорта | 42,5    | 340                        | 2975            | 0,244                | 24,2                               | [139]    |
| II сорта  | 45,0    | 500                        | 2805            | 0,300                | 19,1                               | [54]     |
|   | 46,3    | 555                        | —               | 0,25                 | 16,7                               | [53]     |
|   | 45,0    | 346                        | 2810            | 0,237                | 24,4                               | [139]    |
| Булки городской из пше-<br>ничной муки I сорта    | 42,0    | 358                        | 2580            | 0,224                | 24,3                               | [139]    |
| Сдобы из муки высшего<br>сорта                    | 41,0    | 254                        | 3428            | 0,211                | 22,6                               | [139]    |
| Хлеба московского завар-<br>ного                  | 49,8    | 516                        | 2420            | 0,308                | 24,2                               | [139]    |
| Хлеба украинского                                 | 49,0    | 537                        | 3102            | 0,368                | 22,2                               | [139]    |
| Хлеба рижского завар-<br>ного                     | 45,0    | 560                        | 2857            | 0,335                | 22,2                               | [139]    |
| Подового хлеба из пше-<br>ничной муки I сорта     | 42,5    | 545                        | 2763            | 0,248                | 16,7                               | [54]     |
| Хлеба из ржаной муки                              | 55,9    | 687                        | 3056            | 0,394                | 18,8                               | [54]     |
|   | 55,6    | 694                        | —               | 0,400                | 18,7                               | [53]     |
| Хлебобулочного мелко-<br>штучного изделия         | —       | —                          | —               | 0,233                | —                                  | [230]    |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|

ДОДАТОК 2 ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АПЕЛЬСИНА

Теплофизические характеристики очищенных и неочищенных плодов

| Плоды                   | W, % | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | c, Дж/(кг·К) | $c_{\text{пл}} \left( \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \times \text{К}} \right)$ | $\lambda$ , Вт/(м·К) | $a \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с | Источник   |
|-------------------------|------|----------------------------|--------------|--|----------------------|------------------------------------|------------|
| Апельсины<br>очищенные  | 85,9 | 1021                       | 3797         | 3835   | 0,55                 | 14,3                               | [419, 350] |
| в кожуре                | 82,0 | 887                        | 3687         | 3270   | 0,48                 | 14,7                               |            |
| Лимоны<br>очищенные     | 91,8 | 930                        | 3965         | 3687   | 0,52                 | 14,1                               | [419]      |
| в кожуре                | —    | —                          | 3726         | —  | 0,44                 | —                                  | [428]      |
| Грейпфруты<br>очищенные | 90,4 | 950                        | 3925         | 3729   | 0,55                 | 14,8                               | [419]      |
| в кожуре                | 83,6 | 850                        | 3681         | 3129   | 0,46                 | 14,7                               | [299]      |

Удельная теплоемкость свежих плодов и ягод [1]

| Продукт          | c   |   | Продукт          | c   |   |
|------------------|---|---|------------------|---|---|
|                  | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ | $\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ |                  | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ | $\frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ |
| Абрикосы . . .   | 0,900   | 3768  | Инжир . . . . .  | 0,850   | 3558  |
| Апельсины . . .  | 0,890   | 3726  | Клубника . . . . | 0,910   | 3809  |
| Арбузы . . . . . | 0,940   | 3935  | Крыжовник . . .  | 0,930   | 3893  |
| Айва . . . . .   | 0,895   | 3747  | Персики . . . .  | 0,830—  | 3475—   |
| Виноград . . . . | 0,825—  | 3454—   |                  | 0,910   | 3809  |
|                  | 0,920   | 3893  | Сливы . . . . .  | 0,790—  | 3307—   |
| Вишня . . . . .  | 0,860—  | 3600—   |                  | 0,900   | 3768  |
|                  | 0,900   | 3768  | Смородина чер-   |   |   |
| Дыни . . . . .   | 0,900—  | 3768—   | ная . . . . .    | 0,870—  | 3642—   |
|                  | 0,970   | 4061  |                  | 0,930   | 3893  |
| Ежевика . . . .  | 0,870   | 3642  | Черешня . . . .  | 0,900   | 3768  |
| Земляника . . .  | 0,880   | 3684  | Чернослив . . .  | 0,760   | 3181  |

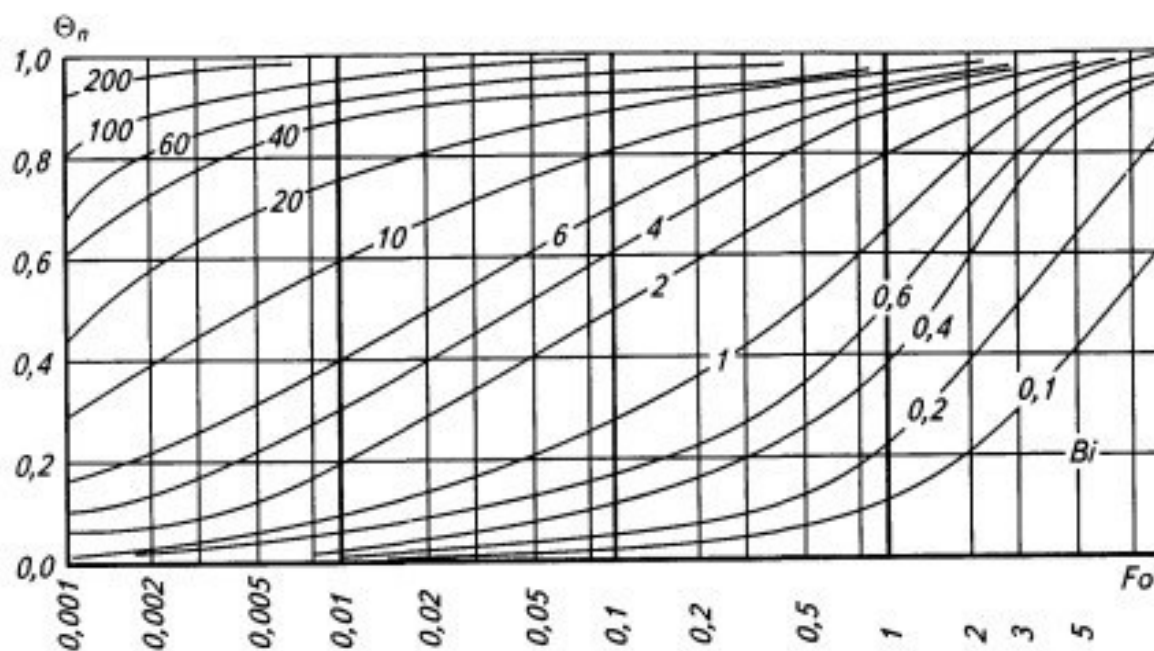
## Удельная теплоемкость и температура замерзания плодов и ягод [46]

| Продукт                    | Влаго-<br>содер-<br>жание,<br>% | <i>c</i>              |         |                       |         | $t_{\text{зам}},$<br>°C |
|----------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-------------------------|
|                            |                                 | выше $t_{\text{зам}}$ |         | ниже $t_{\text{зам}}$ |         |                         |
|                            |                                 | ккал                  | дж      | ккал                  | дж      |                         |
|                            |                                 | кг·град               | кг·град | кг·град               | кг·град |                         |
| Абрикосы . . . . .         | 85,4                            | 0,88                  | 3684    | 0,46                  | 1926    | -1,3                    |
| Ананасы . . . . .          | 85,3                            | 0,88                  | 3684    | 0,45                  | 1884    | -1,3                    |
| Апельсины . . . . .        | 87,2                            | 0,90                  | 3768    | 0,46                  | 1926    | -2,2                    |
| Арбузы . . . . .           | 86,9                            | 0,90                  | 3768    | 0,46                  | 1926    | -1,3                    |
| Айва . . . . .             | 85,3                            | 0,88                  | 3684    | 0,45                  | 1884    | -2,1                    |
| Бананы . . . . .           | 74,8                            | 0,80                  | 3349    | 0,42                  | 1753    | -1,3                    |
| Виноград                   |                                 |                       |         |                       |         |                         |
| американский . . . . .     | 81,9                            | 0,86                  | 3601    | 0,44                  | 1842    | -1,4                    |
| европейский . . . . .      | 81,6                            | 0,86                  | 3601    | 0,44                  | 1842    | -2,7                    |
| Вишня . . . . .            | 83,0                            | 0,87                  | 3642    | 0,45                  | 1884    | -2,4                    |
| Инжир                      |                                 |                       |         |                       |         |                         |
| свежий . . . . .           | 78,0                            | 0,82                  | 3433    | 0,43                  | 1800    | -2,7                    |
| сухой . . . . .            | 24,0                            | 0,39                  | 1633    | 0,27                  | 1130    | —                       |
| Клубника свежая . . . . .  | 89,9                            | 0,92                  | 3852    | —                     | —       | -1,0                    |
| Клюква . . . . .           | 87,4                            | 0,90                  | 3768    | 0,46                  | 1926    | -1,1                    |
| Крыжовник . . . . .        | —                               | 0,90                  | 3768    | 0,46                  | 1926    | -1,1                    |
| Лимоны . . . . .           | 89,3                            | 0,92                  | 3852    | 0,46                  | 1926    | -1,7                    |
| Мандарины . . . . .        | 87,3                            | 0,90                  | 3768    | 0,46                  | 1926    | -1,4                    |
| Сливы . . . . .            | 85,7                            | 0,88                  | 3684    | 0,45                  | 1884    | -1,9                    |
| Смородина черная . . . . . | 84,8                            | 0,88                  | 3684    | 0,46                  | 1926    | -1,4                    |
| Яблоки . . . . .           | 84,1                            | 0,87                  | 3642    | 0,45                  | 1884    | -2,1                    |

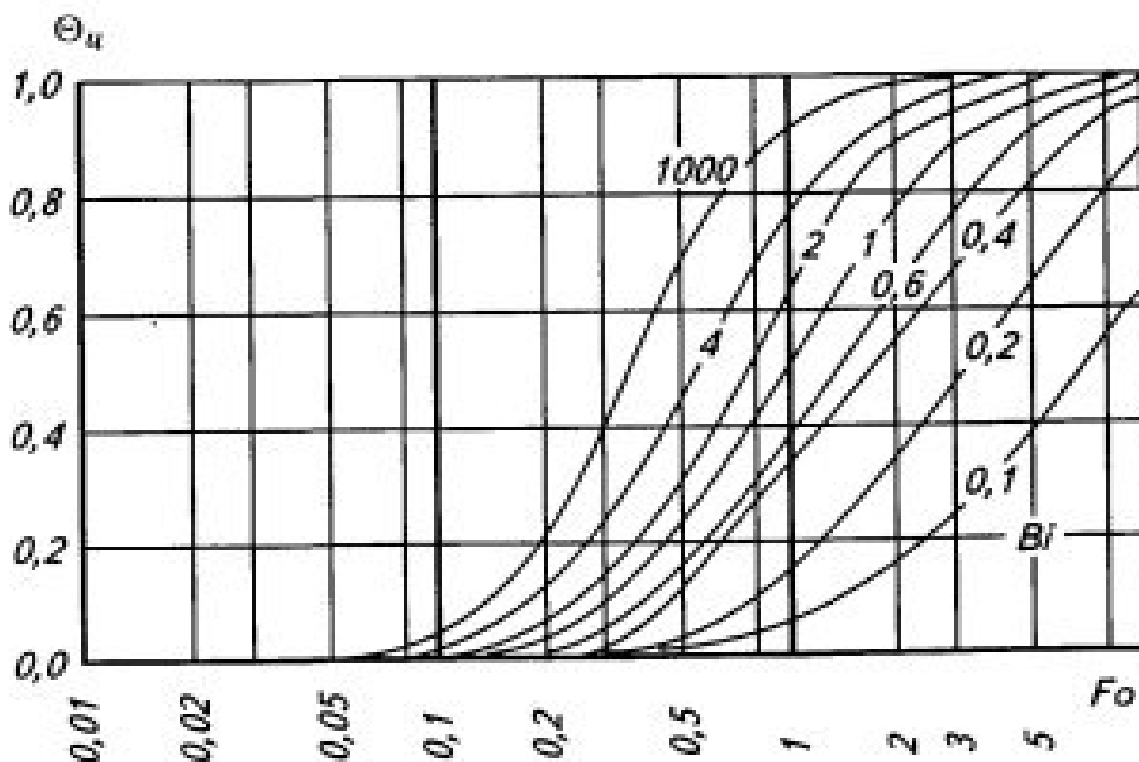


ДОДАТОК 4 БЕЗРОЗМІРНІСНА ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНІ, ЦЕНТРУ ПЛАСТИНИ.

*поверхні*



*центру*



|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

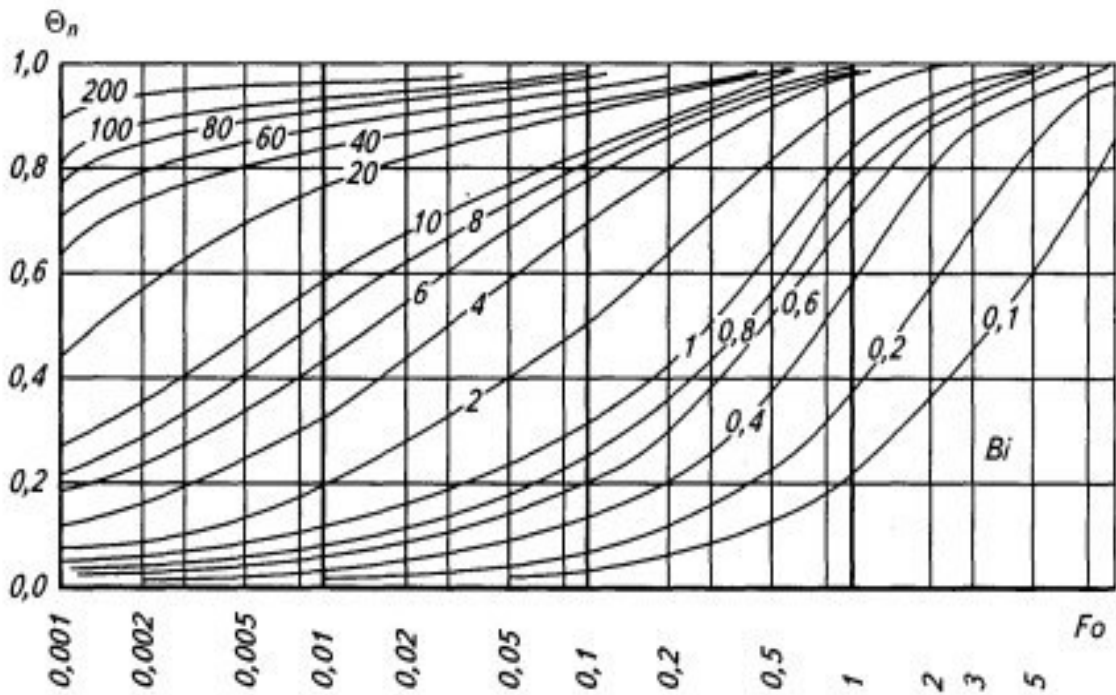
00.MP.142.003.001.ПЗ

Арк.

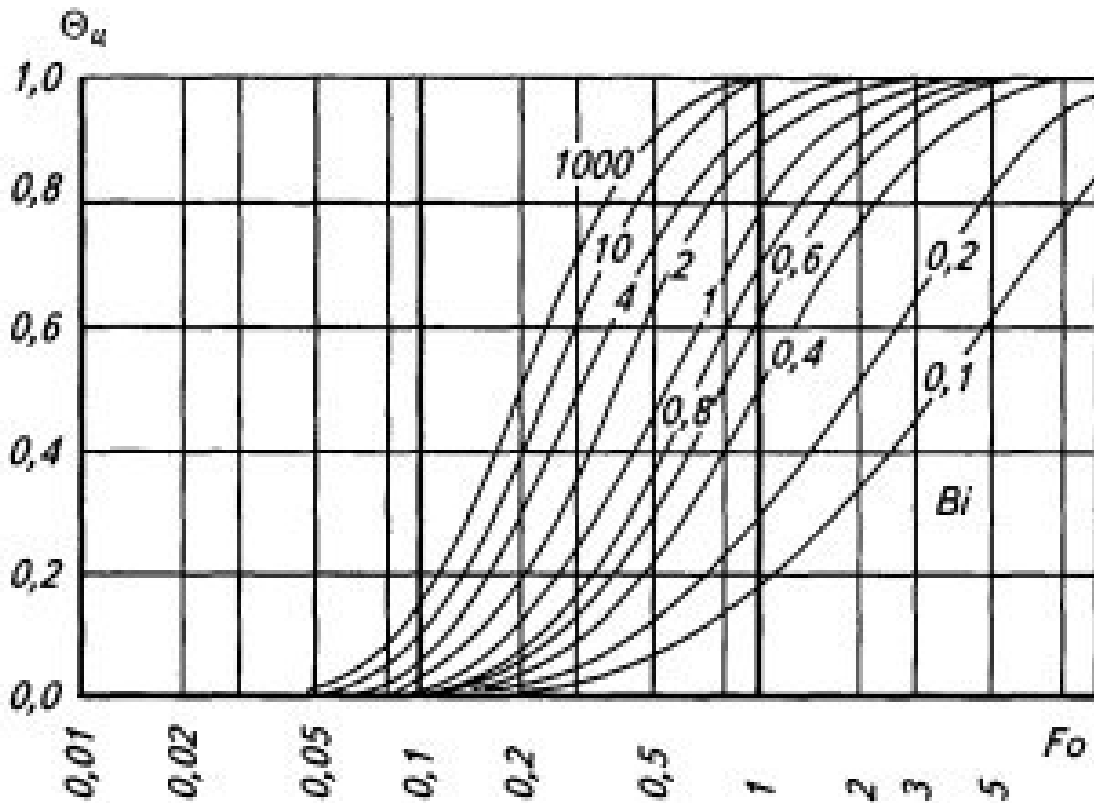
75

ДОДАТОК 5 БЕЗРОЗМІРНІСНА ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНІ, ЦЕНТРУ  
ЦИЛІНДРА.

*поверхні*



*центру*



|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

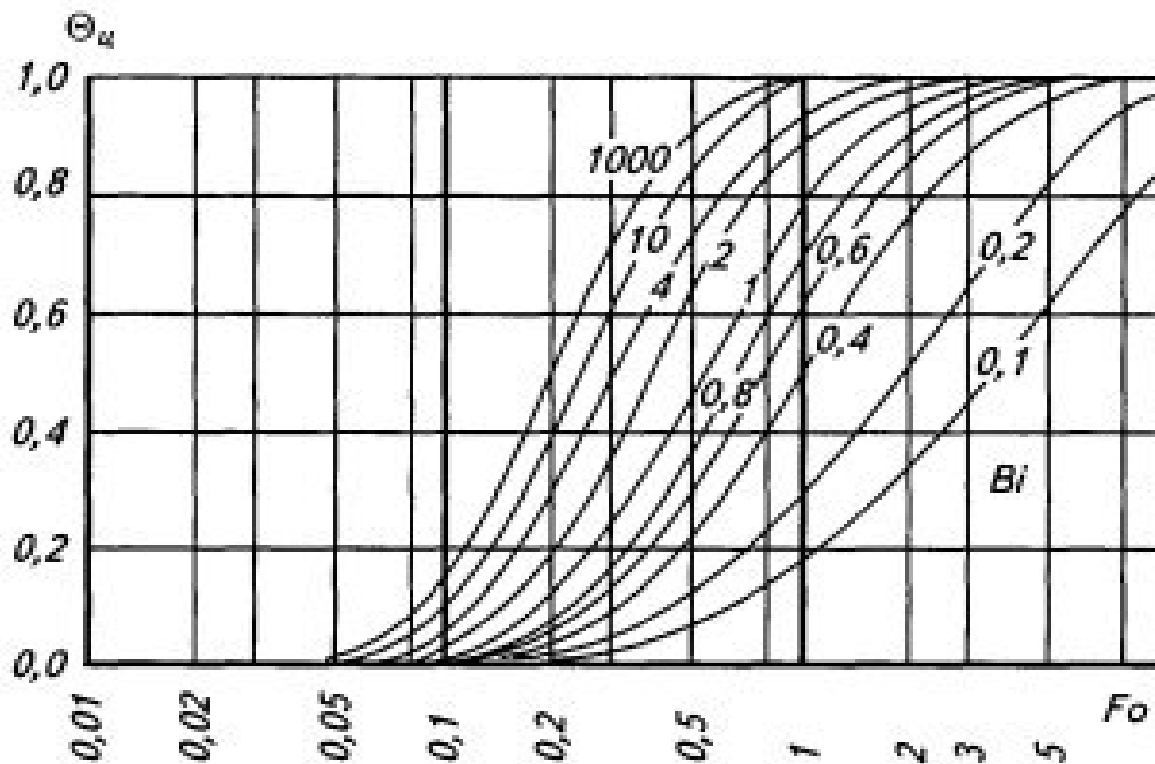
00.MP.142.003.001.ПЗ

Арк.

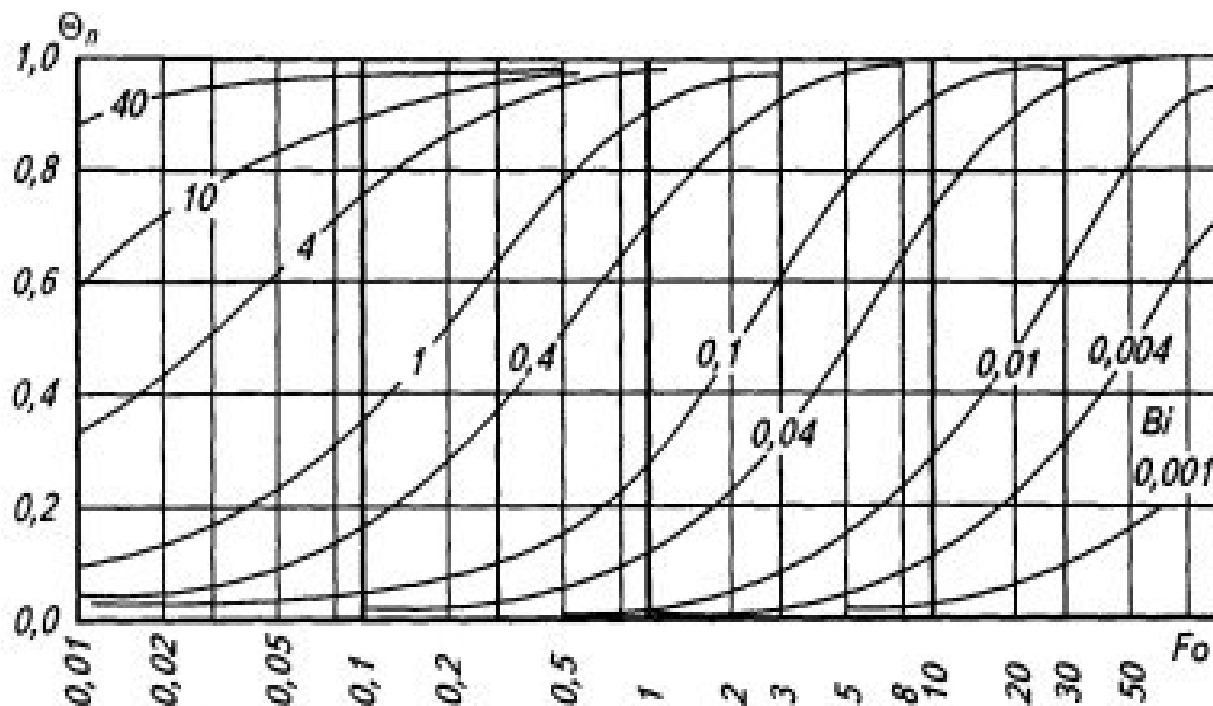
76

ДОДАТОК 6 БЕЗРОЗМІРНІСНА ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНІ, ЦЕНТРУ  
КУЛІ.

*поверхні*



*центру*



|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|      |      |          |        |      |

00.MP.142.003.001.ПЗ

Арк.

77