

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

*ОС «Магістр»*

Тема „Модернізація печі для виготовлення хліба на ТОВ «ІННОКС»»

Галузь знань

13 Механічна інженерія

Спеціальність

133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація

Машини і апарати харчових виробництв

Шифр ДПМАХВ 24.09.00.00.000 ПЗ

Студент гр. МАХВ<sub>м</sub>-24-1

Дрозд В.С.

Керівник роботи

к.т.н., проф. Мартинюк А.В.

До захисту допускаю:

к.т.н., проф. Мартинюк А.В.

Завідувач кафедри ГМА

\_\_\_\_\_ 2024 р.

Хмельницький, 2024р.

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему: “ Модернізація печі для виготовлення хліба на ТОВ «ІННОКС»” виконав студент групи МАХВм-23-1 Дрозд Владислав Сергійович. Керівник – Мартинюк Андрій Віталійович.

Проект виконано в Хмельницькому національному університеті в 2024 році.

Проект складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом сторінки та презентації.

В дипломному проекті наведена будова та принцип дії печі ПХС – 25, технологію виготовлення хліба, загальний розрахунок параметрів технологічного процесу виготовлення хліба, розрахований тепловий баланс печі, приведена суть модернізації печі, техніко-економічні показники.

Було виконано підбір технологічного обладнання, а також розраховано штучне освітлення для цеху по виготовленню хлібобулочних виробів.

## ЗМІСТ

Арк.

ВСТУП.....	
1. КОРОТКИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПЕЧЕЙ.....	
1.1 Печі з регенеративним обігрівом.....	
1.2 Печі з канальним нагріванням.....	
1.3 Печі з конвеєрним і карусельним черінем і безчеріневі печі.....	
1.4 Печі середньої продуктивності з канальним нагріванням камери випікання.....	
1.5 Печі з пароводяним і змішаним нагріванням камери випікання.....	
1.6 Патентний пошук.....	
2. ОПИС РОБОТИ ЛІНІЇ.....	
2.1 Характеристика продукції, сировини і напівфабрикатів.....	
2.2 Особливості виробництва і споживання готової продукції.....	
2.3 Стадії технологічного процесу.....	
2.4 Характеристика комплексів устаткування.....	
3. ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ЗА ПРОДУКТИВНІСТЮ.....	
4. БУДОВА, ПРИНЦИП ДІЇ ПЕЧІ ПХС-25.....	
5. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	
5.1 Розрахунок процесу виготовлення пшеничного хліба.....	
5.2 Розрахунок процесу виготовлення житнього хліба.....	
6. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ПЕЧІ.....	
6.1 Тепловий баланс печі і витрати палива.....	

6.2	Розрахунки камери згоряння.....
6.3	Розрахунок теплообміну в зонах печі.....
7	ВИД МОДЕРНІЗАЦІЇ.....
7.1	Розрахунок сітчастого конвеєра.....
7.2	Лінійні навантаження від рухомих частин конвеєра.....
7.3	Тяговий розрахунок конвеєра.....
7.4	Розрахунок осі роликкоопори .....
8	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....
8.1	Основна заробітна плата розробників.....
8.2	Основна заробітна плата робітників.....
8.3	Додаткова заробітна плата.....
8.4	Нарахування на заробітну плату.....
8.5	Амортизація обладнання.....
8.6	Витрати на матеріали.....
8.7	Витрати на комплектуючі.....
8.8	Витрати на силову енергію.....
8.9	Інші витрати.....
8.10	Сума всіх попередніх статей витрат.....
9	АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФАКТОРІВ В ЦЕХУ ТІСТОПРИГОТУВАННЯ.
9.1	Заходи по створенню сприятливого мікроклімату в цеху тістоприготування.....
9.2	Розрахунок освітлення цеху тістоприготування та випічки хліба.....
	ВИСНОВОК.....
	ЛІТЕРАТУРА.....
	ДОДАТКИ.....

## ВСТУП

Поряд з іншими галузями харчової промисловості на хлібопекарську промисловість покладено завдання більш повно задовольняти потреби населення у високоякісних хлібобулочних виробках. За останні роки значно виріс обсяг споживання хлібобулочної продукції, збільшився асортимент виробів, зросли вимоги до якості, збільшено виготовлення упакованого хліба. Продукція галузі представляє собою дуже широку за асортиментом групу хлібобулочних виробів, для якої характерний різновид складу, смаку, внутрішньої структури. Хлібопекарська промисловість стала однією з галузей харчової промисловості, яка найбільш динамічно розвивається,

Технічна база сучасного хлібопекарного підприємства представляє собою складний комплекс, що включає технологічне, транспортне, енергетичне, санітарно - технічне обладнання, а також засоби контролю і блокування.

Стан технічної бази хлібопекарського виробництва багато в чому залежить від якісних і економічних показників роботи підприємства. Модернізація обладнання нерозривно пов'язана з розробкою і впровадженням нових прогресивних технологій як в галузі виробництва хліба, так і в машинобудуванні для харчової промисловості.

В умовах високої концентрації і спеціалізації виробництва знижується можливість виготовлення широкого асортименту виробів в залежності від зміни попиту, тому в ринкових умовах намітились структурні зміни галузі в бік розвитку підприємств малої та середньої потужності.

За рахунок використання передової техніки і технології, кращої організації виробництва, модернізації підприємств і цехів намічено підвищити продуктивність праці. Все це вимагає створення нових більш продуктивних універсальних хлібопекарських печей, які є основним технологічним устаткуванням хлібозаводів, пекарень і цехів кондитерських підприємств, що виробляють хлібобулочні і борошняні кондитерські вироби.

# 1 КОРОТКИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПЕЧЕЙ

При виготовленні хлібопекарських і кондитерських виробів в технологічному ланцюзі особливе значення має піч, де відбувається кінцева (фінішна) операція, при якій в печі відбуваються наступні основні процеси:

1. спалювання палива або перетворення електроенергії в теплову (енергетичні процеси);
2. рух газів і рідин (гідродинамічні процеси);
3. тепло- і масообмін в середині і зовні виробу (тепло- і масообмінний процес);
4. фізико-хімічні, мікробіологічні, біохімічні і колоїдні зміни в тісті і хлібі (технологічні процеси);
5. рух хлібопекарських виробів (механічний процес).

Навіть із такого короткого аналізу процесів видно, що робота печі – це складний комплекс різних процесів, які мають свої специфічні закономірності. Тому розвиток науки про процеси, які відбуваються в печі, і її конструкцію тісно пов'язані з цілим рядом самостійних наук.

Основи теорії печей хлібопекарської і кондитерської промисловості були розроблені в 40-х роках минулого століття Н.І.Краснопевцевим. В подальшому А.С. Гінзбург в 1955 році в монографії „Теплофізичні основи процесу випічки” описав теплофізичні основи процесу випікання на базі теорії переносу тепла і вологи в цьому процесі. Основою цієї теорії є вчення про тепломасоперенос, яке створене А.В. Ліковим і його школою.

В 30-х роках ХХ ст. під керівництвом Г.П. Марсанова був створений хлібозавод - автомат з вітчизняним обладнанням і пічними агрегатами з кінцевими конвеєрами. Одночасно під керівництвом Н.І.Краснопевцева розроблена

оригінальна для того часу конструкція конвеєрної хлібопекарної печі ФТЛ-2, яка в покращеному варіанті отримала масове застосування.

В залежності від способу обігріву камери випікання хліба печі об'єднані в 5 груп. Розглянемо конструктивні особливості цих печей.

### 1.1 Печі з регенеративним обігрівом

Камера випікання нагрівається твердим (дерево, солома, торф), газовим або рідким паливом (нафта, мазут, соляра). Час нагрівання печі залежить від її об'єму і вологості палива. Технологічний процес випікання хліба в печах складається з таких операцій: завантаження черіня, запалювання палива, очистка черіня, вистоювання печі, завантаження черіня тістом, випічка і вивантажування готового хліба.

З метою економії площі черіня будували двоярусні жарові печі, в яких камери випікання розташовували одна над одною. Печі такого типу в основному застосовувались для випікання соціальних сортів хліба. В даний момент розроблені поточні лінії, які обладнанні конвеєрними печами спеціальної конструкції.

### 1.2 Печі з каналним нагріванням

Печі цієї конструкції мали широке застосування, як в СРСР, так і за кордоном в середині минулого століття. Основним недоліком цих печей було те, що завантаження і вивантаження хліба було ручним, тому печі цього типу замінюють сучасними конвеєрними з механізованими процесами випікання виробів різного асортименту.

### 1.3 Печі з конвеєрним і карусельним черінем і безчеріневі печі

Характерним для цих печей є те, що вони обладнані колісковими конвеєрами і можуть працювати в безперервному режимі. До цих печей відносяться УДПГ системи Г.Я. Гриншпуна, ФТЛ-20, УПГ-3 з одним карусельним черінем. До такого типу відносяться печі малої продуктивності закордонних фірм: роторно-коліскова піч фірми „Readco” (США); з реверсними сітковими конвеєрами фірми „Вернер і Пфлейдер” (Німеччина); печі „Senator” і „Matador”.

Безчеріневі печі виготовляють фірми „Вернер і Пфлейдер” (Німеччина); „Ельмеко” (Швеція) для підприємств малої потужності. В них черінь замінено полицями візків, на яких дозрівають тістові заготовки; потім візок відправляють в пекарню камеру і випікають на ньому хліб. На цих же візках хлібобулочні вироби охолоджуються без перевантажування.

### 1.4 Печі середньої продуктивності з каналним нагріванням камери випікання.

Яскравим представником цього типу печей є колісково - черінева піч ФТЛ-2, яку виготовляли в семи модифікаціях для випікання різного асортименту хлібобулочних виробів. Ця піч має тупикову камеру випікання, в якій розміщений дволанцюговий колісково - черіневий конвеєр з колісками на яких випікається хліб. Рух конвеєра ритмічний. Ритм конвеєра визначається технологічним процесом ( сорт і маса виробів). Зупинка і пуск конвеєра може бути автоматичним і ручним.

На базі ФТЛ-2 була сконструйована піч „Подмосковная”, в якій був чотиринитковий колісково - черіневий конвейєр, що дало можливість збільшити кількість колісок до 62 (24 у ФТЛ-2).

Піч М-3 конструкції Нудельмана і Комарова, яка практично не пішла в масове виробництво, цікава тим, що колісковий конвейер замінили візковим з візками, які не перекидалися на зворотній вітці конвеєра.

Піч ХА-29, ВНЕКІ Продмаш розроблена на базі печі „Турнус” фірми „Вернер і Пфлейдер” (Німеччина). Ці печі були досить поширені і застосовувались в різних країнах. Чехословатчина ці печі виготовляла двох модифікацій АТР-40 (40 колісок) і АТР-50 (50 колісок).

Принцип роботи цих печей однаковий. В середині печі розташований двонитковий колісково-черіневий конвейер з керамічними черіневими колісками, які попередньо підігріваються перед посадкою хліба.

Обігрів при допомозі газових горілок, які мають трипозиційне регулювання подачі газу в залежності від вимог технологічного процесу.

Для збільшення продуктивності і неперервності технологічного процесу були споруджені наскрізні тунельні печі, які вперше з'явилися в Англії. Вони отримали широке застосування в США, Франції та в інших країнах.

В принципі це та ж канална піч, але канал є наскрізним у вигляді цегляного або металевого тунелю, через який проходить стрічковий черінь типу ланцюгово-пластинчатого, сітчатого або стрічкового конвеєра.

Робочою частиною черіня є верхня вітка конвеєра, нижня вітка холоста. Це призводить до того, що піч займає велику площу і збільшує вартість хлібозаводу.

Принципова різниця технологічного процесу випічки черіневого хліба в печах тунельного типу в тому, що посадка тістових заготовок і вивантаження готового хліба відбувається в різних кінцях агрегата.

До печей цього типу відносяться печі конструкції Н. В. Молодих, печі „Лігтерсен” (США), БН-25, БН-40, ИБН-50 заводу „Spezial” (ГДР), ПХС-25, ВПХП-П-7-61, печі „Антонелло” і „Орланді”(Італія) і цілий ряд інших печей, які виготовляються в різних країнах світу.

## 1.5 Печі з пароводяним і змішаним нагріванням камери випікання.

Принцип нагрівання таких печей наступний. Трубчасті секції, які розташовані в камері випікання, складаються із трубок Перкінса, в яких циркулює пароводяна емульсія. Трубка Перкінса – це стальна товстостінна труба заповнена дистильованою водою на 32-33% її внутрішнього об'єму. Трубки розташовують в камері випікання з нахилом в сторону топки 12-30 мм на 1 м довжини. Кінці трубок нагріваються в топці і вода нагріта до температури кипіння підіймається вгору і випаровується створюючи додатковий тиск ( $p=10-12 \text{ Мн/м}^2$ ), а це відповідає температурі випаровування води 310-320 °С. В подальшому пара конденсується і більш холодна вода опускається вниз до точки де знову підіймається до 310-320 °С.

Печі з такою схемою нагрівання камери випікання виготовляються: карусельного, тупикового і тунельного типу. Внутрішнє обладнання аналогічне раніше розглянутих типів.

Крім цих типів печей в теперішній час отримують все більше застосування печі з електрообігрівом і печі з інфрачервоним і ультрависокочастотним обігрівом.

Проаналізувавши принцип дії всіх типів печей, ми дійшли висновку, що печі тунельного типу, такі як ПХС-25М, що по при високу продуктивність і простоту конструкції мають наступні недоліки: газоповітряна суміш з камери згоряння потрапляє в 1 і 2 контур обігріву робочих зон і в подальшому викидались в атмосферу з температурою газів 120-130 °С. Тому ми зробили патентний пошук з метою вивчення готових рішень для усунення даної проблеми.

## 1.6 Патентний пошук

Опис винаходу SU 1168176

Хлібопекарська піч, що містить пекарну камеру тунельного типу, розділена на секції з різними тепловими зонами, конвеєр і систему рециркуляційного обігріву, включаючи топку з камерою змішування продуктів згорання і рециркулюючих газів, каналів нагріву, вентилятор рециркуляції і димар, відмінна тим, що, з метою зниження питомих енерговитрат шляхом повнішого використання тепла газів, гріючі канали останньої по ходу руху конвеєра секції пекарної камери розміщені на ділянці між нагнітальним патрубком вентилятора рециркуляції і димарем.

Піч по п.1, відмінна тим, що на вході в канали нагріву останньої секції встановлений шибер для регулювання кількості газів, що проходять через відповідний канал.

Винахід відноситься до устаткування для харчової промисловості, а саме до хлібопекарських печей.

Мета винаходу - зниження питомих енерговитрат шляхом повнішого використання тепла газів.

На рис. 1.1 схематично зображена хлібопекарська піч.

Піч складається з пекарної камери 1 тунельного типу, розділеної на секції із зоною гігротермічної обробки і трьома зонами обігріву, розміщеного в ній стрічкового конвеєра 2, газорозподільних пристроїв 3, топки 4 для спалювання рідкого або газоподібного палива з камерою змішування нижніх 5 і верхніх 6 гріючих каналів, пристрої 7 для відбору газів після першої і другої зон обігріву, відвідного газоходу 8, нагнітального газоходу 9 рециркулюючих газів, вентилятора рециркуляції 10, збірної коробка 11, димаря 12, обвідного каналу 13, шибера 14, верхнього 15 і нижнього 16 каналів останньої зони обігріву.

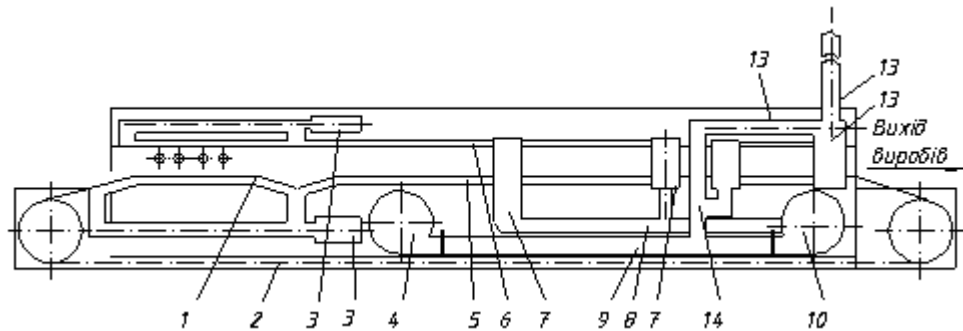


Рисунок 1.1 - Схематичне зображення печі

Робота печі.

Тістові заготовки укладаються на стрічку конвеєра 2 і послідовно проходять через всі зони пекарної камери. Обігрів пекарної камери 1 здійснюється за рахунок тепла, що виділяється при спалюванні палива в топці -4. Утворювані при спалюванні палива високотемпературні гази розбавляються газами рециркуляції в камері змішування і за допомогою газорозподільних пристроїв 3 поступають в нижні 5 і верхні 6 каналів нагріву. Гази нагрівання, які віддали частину тепла, за допомогою пристроїв 7 для відбору гріючих газів подаються по газоходу 8 у вентилятор 10 рециркуляції.

З останнього гази поступають в нагнітальний газохід 9, звідки частина газів, яка утворилась при спалюванні палива, подається в збірний короб 11 і димар 12 через обвідний канал 13. В останньому розташований шибер 14, за допомогою якого можна регулювати співвідношення кількості газів, які виходять з цього каналу через канали нагрівання 15 і 16 останньої зони обігріву і обвідного каналу 13.

При виробленні виробів, що вимагають вищої температури в хвостовій частині пекарної камери, гази, що йдуть, (у заданому співвідношенні) в канали нагрівання останньої секції, температура в яких може бути підвищена без додаткової витрати палива.

Опис винаходу SU 1391562

Винахід відноситься до устаткування для хлібопекарської промисловості, а саме до хлібопекарських печей. Мета винаходу - економія енергоресурсів при

випічці шляхом, повнішого використання тепла відпрацьованих газів – досягається тим, що в хлібопекарській печі, що складається з пекарної камери 1, конвеєрного черіня 2, системи обігріву з топочним пристроєм 6, рециркуляційним вентилятором 7, транспортними 9 і нагрівальними 10 каналами, органами газорозподілу 11, в систему рециркуляційного обігріву включений додатковий вентилятор 15 з нагнітальним патрубком для видалення теплоносія з передостанньої по ходу руху конвеєра секції 12. Нагрівальних каналів останньої секції 13 пекарної камери 1 розташовані між нагнітальним патрубком додаткового вентилятора 15 і димарем 8.

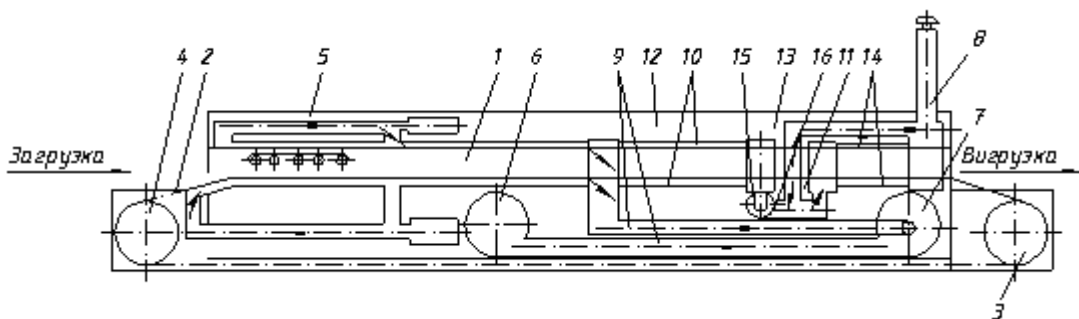


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення печі

Винахід відноситься до устаткування для хлібопекарської промисловості, а саме до хлібопекарських печей, і є удосконаленням винаходу по авт. св. № 1168176.

Відома хлібопекарська піч, використовувана переважно в хлібопекарській промисловості для випічки хліба. Вона містить пекарну камеру тунельного типу, розділену на секції з різними тепловими зонами, конвеєр і систему рециркуляційного обігріву, включаючи топку з камерою змішування продуктів згорання і рециркулюючих газів, канали обігріву, вентилятор рециркуляції і димар, що при цьому гріє канали останньої по ходу руху конвеєра секції пекарної камери розміщені на ділянці між нагнітальним патрубком вентилятора рециркуляції і димарем, крім того, на вході в канали обігріву останньої секції встановлений шибер для регулювання кількості газів, що проходять через відповідні канали.

Мета винаходу - економія енергоресурсів при випічці шляхом повнішого використання тепла газів, що йдуть.

Хлібопекарська піч включає камеру, розділену на секції, що є різними тепловими зонами, конвеєрний черінь і систему рециркуляційного обігріву з транспортуючими і нагрівальними каналами і рециркуляційним вентилятором.

У печі в систему рециркуляції теплоносія включений додатковий вентилятор для видалення теплоносія з передостанньої по ходу руху конвеєра секції, а нагрівальні канали останньої секції пекарної камери розташовані між нагнітальним патрубком додаткового вентилятора і димарем.

Застосування в системі рециркуляції теплоносія пропонованої печі додаткового вентилятора, який видаляє газ з низькотемпературної зони (секції) обігріву, і зони (секції) обігріву, нагрівальні канали якої розташовані між нагнітальним патрубком додаткового вентилятора і димарем і обігриваються за рахунок тепла газів, що виходять з низькотемпературної (передостанньої по ходу руху конвеєра) зони, дозволяє одержати істотно новий позитивний ефект, що полягає в зниженні питомих енерговитрат за рахунок підвищення ефективності теплопідвода до тістових заготовок і повнішого використання тепла газів, що йдуть з печі.

На рис. 1.2 показана піч, подовжній розріз.

Піч складається з пекарної камери 1, розділеної на секції з різними тепловими зонами, що переміщається в ній конвеєрного черіня 2 з приводною 3 і натяжною 4 станціями, секції зволоження 5, розташованої на початку камери, і системи обігріву з топочним пристроєм 6, рециркуляційним вентилятором 7, димарем 8, транспортуючими 9 і нагрівальними 10 каналами, органами газорозподілу 11, передостанньої 12 і останньої 13 по ходу руху конвеєра секціями з нагрівальними каналами 14, додатковим вентилятором 15, обвідним газоходом 16 секції 13.

Піч працює таким чином. Тістові заготовки укладаються на конвеєрний черінь 2 і проходять через секцію зволоження 5 і пекарну камеру 1 печі.

Переміщається конвеєрний черінь за допомогою приводної 3, а натягнення його здійснюється натяжною 4 станціями. Обігрів камери відбувається за рахунок тепла, що виділяється при згоранні палива в топці 6 печі.

З топки 6 продукти згорання, проходять транспортуючі канали 9, поступають в нагрівальні канали 10 пекарної камери в різних теплових зонах. Розподіл потоків теплоносія по каналах здійснюється органами газорозподілу 11, охолоджені в каналах газу всмоктуються патрубком вентилятора рециркуляції 7, який знов нагнітає їх в топочний пристрій, для охолодження високотемпературних продуктів згорання.

Зниження питомих енерговитрат на випічку досягається за рахунок охолодження продуктів згорання в нагрівальних каналах печі, оскільки секція 13 фактично обігривається газами, які йдуть з печі, що до того ж мають мінімально можливу температуру, і зменшення величини запечення, тобто зменшення витрати тепла на випаровування вологи з поверхні тестових заготовок, що знаходяться на пічному конвеєрі, і повнішого використання тепла газів, що йдуть з печі.

Патентний пошук зображений на слайді 1

## 2 ОПИС РОБОТИ ЛІНІЇ

Борошно доставляють на хлібозавод в автоборошновозах, вантажопідйомність яких від 7 до 8 тон. Автоборошновоз зважують на автомобільних вагах і подають під розвантаження. Для пневматичного розвантаження борошна автоборошновоз обладнаний повітряним компресором і гнучким шлангом для приєднання до приймального щитка 8 (рис.2.1). Борошно з ємності автоборошновоза під тиском по трубах 10 завантажують в силоси 9 на зберігання.

Додаткову сировину - розчин солі і дріжджову емульсію зберігають в ємностях 20 і 21. Розчин солі заздалегідь готують в спеціальній установці.

При роботі лінії борошно з силосів 9 вивантажують в бункер 12 із застосуванням системи аерозольного транспорту, який окрім труб включає компресор 4, ресивер 5 і повітряний фільтр 3. Витрату борошна з кожного силосу регулюють за допомогою роторних живильників 7 і перемикачів 11. Для рівномірного розподілу стислого повітря при різних режимах роботи перед роторними живильниками встановлюють ультразвукові сопла 6.

Програму витрати борошна з силосів 9 задає виробнича лабораторія хлібозаводу на основі перевірених випічок хліба з суміші борошна різних партій. Таке змішування партій борошна дозволяє вирівнювати хлібопекарські якості рецептурної суміші борошна, яке поступає на виробництво. Далі рецептурну суміш борошна очищають від сторонніх домішок на просіювачі 13, забезпеченому магнітним уловлювачем, і завантажують через проміжний бункер 14 і автоматичні ваги 15 у виробничі силоси 16.

В даній лінії для отримання хорошої якості хліба використовують двофазний спосіб приготування тіста. Перша фаза - приготування опари, яку замішують в тістомісильній машині 17.

В ній дозують борошно з виробничого силосу 16, також відтеперовану воду і дріжджову емульсію через станцію дозування 18. Для замісу опари

використовують від 30 до 70 % борошна. З машини 17 опару завантажують в шестисекційний бункерний агрегат 19.

Після бродіння від 3,0 до 4,5 годин опару з бункерного агрегату 19 дозують в другу тістомісильну машину з одночасною подачею частини борошна, води і розчину солі, які залишилися. Другу фазу приготування тісту завершують його бродінням в ємкості 22 на протязі від 0,5 до 1,0 годин.

Готове тісто стікає з ємності 22 в приймальну лійку тісторозділювальної машини 23, призначеної для отримання порцій тіста однакової маси. Після обробки порцій тіста в округлюючій машині 24 утворюються тістові заготовки кулястої форми, які за допомогою маятникового укладальника 1 розкладають в ячейки люльок вистійної шафи 2.

Вистій тістових заготовок проводиться на протязі від 35 до 50 хв. При відносній вологості повітря від 65 до 85 % і температурі від 30 до 40 °С в результаті бродіння структура тістових заготовок стає пористою, об'єм їх збільшується в межах від 1,4 до 1,5 рази, а густина знижується від 30 до 40 %. Заготовки набувають рівної гладкої еластичної поверхні. Для зберігання тістових заготовок від тріщин, які можуть виникнути при випічці - розривів верхньої кірки у момент перекидання заготовок на під печі 25 їх піддають надрізи або наколці.

На вхідній ділянці пекарної камери заготовки піддаються гіротермічній обробці зволожувальним пристроєм при температурі від 105 до 110 °С приблизно від 2 до 3 хв.. На середній і вихідній ділянках пекарної камери заготовки випікають при температурі від 200 до 250 °С. В процесі руху з черінем печі тістові заготовки послідовно проходять всі теплові зони пекарної камери, де випікаються за проміжок часу від 20 до 55 хв., відповідний технологічним вимогам на вид хліба, що випускається. Випечені вироби за допомогою укладальника 26 завантажують в контейнери 27 і направляють в експедицію.

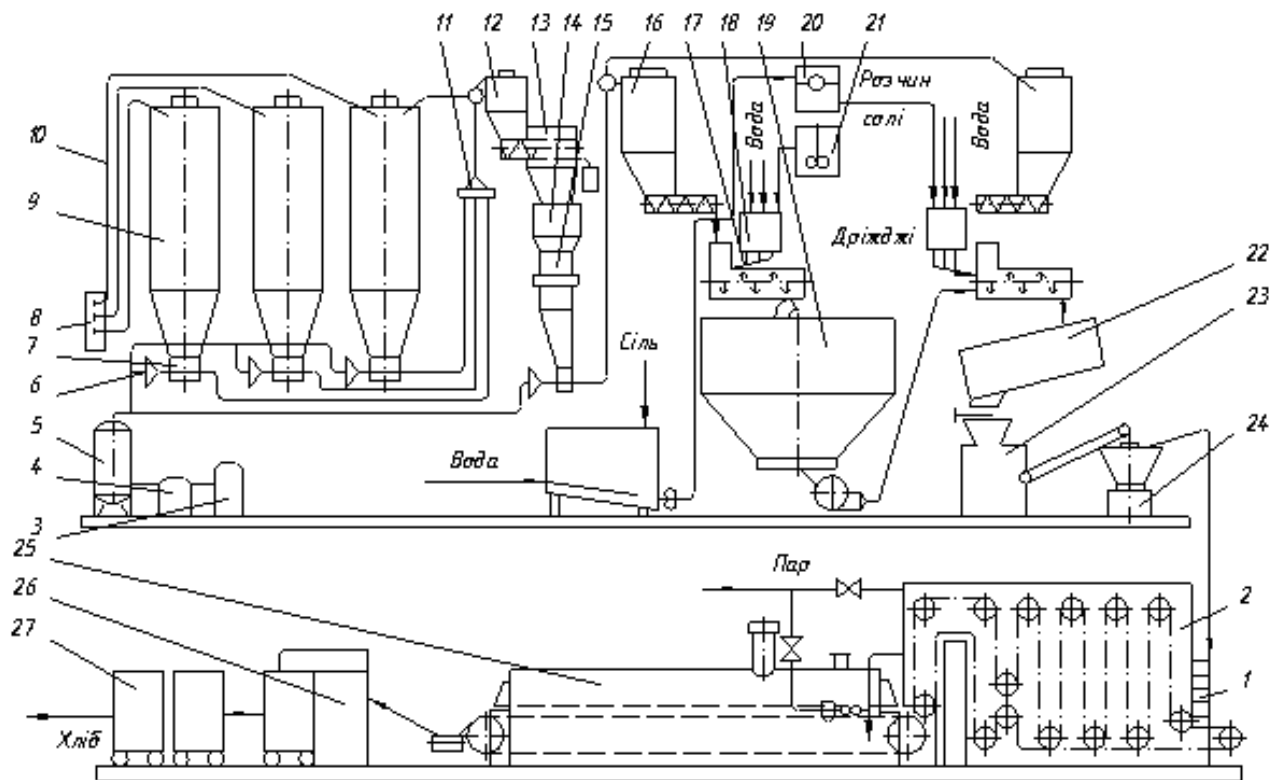


Рисунок 2.1 - Машинно-апаратурна схема виготовлення хліба

## 2.1 Характеристика продукції, сировини і напівфабрикатів

Хліб виробляють у вигляді штучних виробів, випечених з борошняного тіста, яке піддане бродінню. Поверхня виробів покрита твердою скориночкою, а всередині міститься м'який, пористий, гумоподібний м'якуш.

Основною сировиною для виробництва хліба є пшеничне і житнє борошно, а також питна вода. Як додаткова сировина використовують дріжджі, сіль, цукор, жири і різні харчові добавки. Хлібопекарське борошно виготовлена з борошнистих зерен м'якої пшениці. Структура такого борошна є сипкою порошкоподібною. Всю додаткову сировину перетворюють в проміжні рідкі напівфабрикати: розчини, емульсії або суспензії.

Хлібопекарське тісто в результаті замісу і бродінні набуває необхідну для даного виду хліба кислотність і фізичні властивості: пружність, формоутримуючу і газоутримуючу здібності, які забезпечують максимальний об'єм тістових заготовок, що поступають на випічку.

Машинно – апаратурна схема подана на листі 2, план цеха – на листі 3.

## 2.2 Особливості виробництва і споживання готової продукції

У даний час в хлібопекарському виробництві застосовують два види потокових ліній, відмінних по ступеню механізації. Вироблення хлібобулочних виробів в асортименті здійснюється на механізованих лініях, що дозволяють в межах асортиментних груп переходити з виробництва одного виду продукції на виробництво іншого. Масові види продукції (батони, формовий і круглий подовий хліб) виробляють на спеціалізованих комплексно-механізованих лініях і автоматизованих лініях.

Основними процесами хлібопекарського виробництва є заміс і бродіння рецептурної суміші - тіста. При замішуванні перемішуються компоненти, суміш піддається механічній обробці і насиченню бульбашками повітря, відбувається гідролітична дія вологи на сухі компоненти суміші, формується губчатий каркас тіста. Бродіння тіста викликається життєдіяльністю дріжджів, молочно - кислих та інших бактерій. При бродінні в тісті протікають мікробіологічні і ферментативні процеси, що змінюють його фізичні властивості. Утворюється капілярно-пориста структура, утримувана еластично-пластичним скелетом, пори якого заповнені газом, що складається з діоксиду вуглецю, пари води, спирту і інших продуктів бродіння. Відбувається накопичення ароматичних і смакових речовин, що визначають споживчі властивості хліба.

Продукція хлібопекарського виробництва випускається в закінченому товарному і споживацькому вигляді. Термін зберігання хліба без спеціальної упаковки не перевищує від 1 до 2 діб, тому його виробництво організують в місцях безпосереднього споживання. Для транспортування хліб укладають на дерев'яні лотки, розміщують останні на стелажах або візках і перевозять спеціалізованими автомобілями.

## 2.3 Стадії технологічного процесу

Приготування хліба можна розділити на наступні стадії:

- підготовка сировини до виробництва: зберігання, змішування, аерація, просіювання і дозування борошна; підготовка питної води; приготування і темперування розчинів солі і цукру, жирових емульсій і дріжджових суспензій;
- дозування рецептурних компонентів, заміс і бродіння опари і тіста;
- оброблення - розподіл доспілого тіста на порції однакової маси;
- формування - механічна обробка тістових заготовок з метою додання їм певної форми: кулястої, циліндрової, сигароподібної та ін.;
- вистій - бродіння сформованих тістових заготовок. Після вистою тістові заготовки можуть піддаватися надрізці (батони, міські булки і ін.);
- гідротермічна обробка тістових заготовок і випічка хліба;
- охолодження, отбраковка і зберігання хліба.

## 2.4 Характеристика комплексів устаткування

Початкові стадії технологічного процесу виробництва хліба виконуються за допомогою комплексів устаткування для зберігання, транспортування і підготовки до виробництва борошна, води, солі, цукру, жиру, дріжджів і інших видів сировини. Для зберігання сировини використовують мішки, металеві і залізобетонні ємкості і бункери. На невеликих підприємствах застосовують механічне транспортування мішків з борошном навантажувачами, а борошно – норіями, ланцюговими і гвинтовими конвеєрами. На крупних підприємствах використовують системи пневматичного транспорту борошна. Рідкі напівфабрикати перекачуються насосами. Підготовку сировини здійснюють за допомогою просіювачів, змішувачів, магнітних апаратів, фільтрів і допоміжного устаткування. Провідний комплекс лінії складається з устаткування для темперування, дозування і змішування рецептурних компонентів; бродіння

опари і тіста; розподіли тіста на порції і формування тістових заготовок і напівфабрикатів.

До складу цього комплексу входять дозатори, тістоприготовчі агрегати, ділильних і формуючих машини тістомішалок.

Наступний комплекс лінії включає устаткування для вистою, укладання і випічки тістових заготовок. До нього відносяться вистойні шафи, механізми для укладання, пересадки, нарізки тістових заготовок і хлібопекарські печі.

Завершальний комплекс устаткування лінії забезпечує охолодження, упаковку, зберігання і транспортування готових виробів. Він містить устаткування охолоджуючих відділень, експедицій і складів готової продукції.

### 3 ПІДБІР ОБЛАДНАННЯ ЗА ПРОДУКТИВНІСТЮ

#### 1. Просіювач борошна «Піонер»

Застосовується для просіювання борошна і видалення металевих домішок з нього.

#### 2. Дозатор періодичної дії

Призначений для змішування гарячої води з холодною і отримання води з заданою температурою та відмірювання її в необхідній кількості.

Межі дозування підготовленої води - від 20 до 100 л;

Межі регулювання температури води - від 20 до 60 °С;

Струм живлення - 200 В, 50 Гц;

Габаритні розміри - 800x875x1950 мм;

Маса - 140 кг.

#### 3. Солерозчинювач

Призначений для неперервного розчинення кам'яної солі приготування сольового розчину постійної щільності.

Продуктивність - 10 л /хв.;

Загальний об'єм - 0,6 м<sup>3</sup>;

Об'єм першого відсіку - 0,23 м<sup>3</sup>;

Кількість завантаженої солі, кг =130 кг;

Маса - 100 кг;

Габаритні розміри - 1220x720x1050 мм.

#### 4. Тістомісильна машина А2-ХТ2-Б

Призначена для порційного замісу напівфабрикатів та тіста з пшеничного та житнього борошна вологістю не менше 35% в нерухомих підкатних діжах.

Ємність діжі,  $V_d = 0,330 \text{ м}^3$ ;

Тривалість одного замісу - 600 с;

Габаритні розміри - 1800x1100x1250 мм;

Потужність електродвигунів - 4,5 кВт;

Габаритні розміри діжі:

діаметр - 1065 мм;

висота - 887 мм;

Маса машини - 695 кг;

Маса діжі - 160 кг.

#### 5. Діжоперекидач ПО-1.

Ємність діжі, що перевертається - 140-230-330л;

Тривалість піднімання діжі - 90 с;

Потужність електродвигуна - 3 кВт;  
Габаритні розміри - 1020x1420x2060;  
Маса - 2488 кг.

6. Тістоділильна машина А2-ХТН.

Призначена для розділення тістових заготовок однакової маси.

Продуктивність - від 14 до 30 шт./хв.;  
Маса тістових заготовок - 0,25-1,25 кг.;  
Потужність електродвигуна - 3 кВт;  
Габаритні розміри - 1245x915x1500 мм;  
Маса - 1090 кг.

7. Тістозакаточна машина ІЗ-ХТЗ.

Застосовується для отримання однорідної гладкої газотримуючої оболонки, надання шматку тіста циліндричної форми.

Маса тістових заготовок - від 0,22 до 1,13 кг;  
Продуктивність - від 30 до 63 шт/хв.;  
Потужність електродвигуна - 1,1 кВт;  
Габаритні розміри - 2300x820x1400 мм;  
Маса - 430 кг.

8. Розтійна шафа А2-ХРА .

Продуктивність максимальна добова - 19,8 т/добу;  
Кількість робочих люльок - 30 шт;  
Загальна кількість люльок - 33 шт;

Потужність електродвигуна - 1,5 кВт;

Габаритні розміри - 4680х3400х984;

Маса - 4000 кг.

#### 9. Піч ПХС - 25М.

Асортимент виробів, які випікаються: хліб подовий і формовий, батони, бублики, пряники.

Тривалість випічки від 12 до 72 хвилин.

Ширина сітчастого черіння - 2100 мм.

Габаритні розміри - 14750х3350х2590 мм.

Потужність по хлібу вагою 0,4 кг - 560 кг/год (11,6 т/доб)

Вага печі з теплоізоляцією 23530 кг.

#### 4 БУДОВА, ПРИНЦИП ДІЇ ПЕЧІ ПХС-25

Конвеєрна піч з сітчастим черінем ПХС-25 (рис. 4.1) призначена для випічки широкого асортименту хліба і хлібобулочних виробів.

Пічний конвеєр 2 складається із сталеві спіраль-но-стрижнєвої сітки шириною 2100 мм, в межах пекарної камери має довжину 12000 мм. Площа сітчастого черіння 25 м<sup>2</sup>.

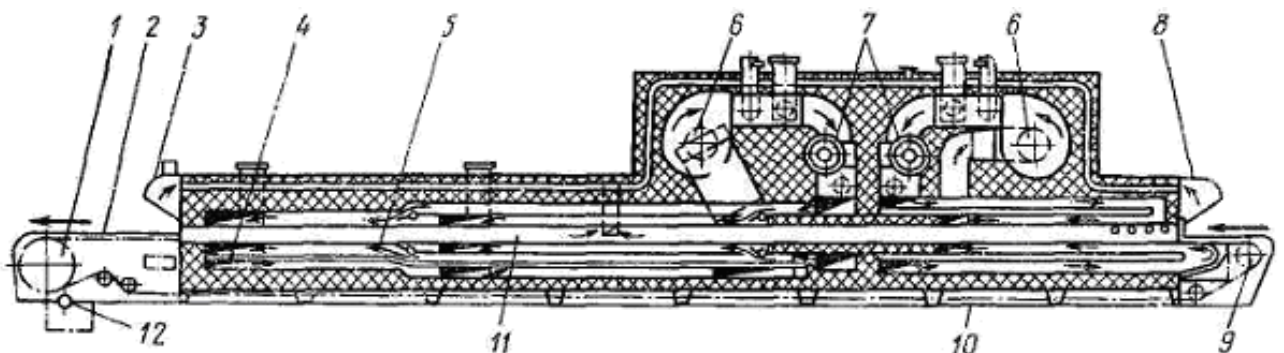


Рисунок 4.1 - Піч ПХС-25

Привідний барабан 1 конвеєра встановлений з боку вивантаження. Натяжний механізм конвеєра - вантажного типу. Відомий барабан 9 (він же натяжний) сполучений з корегуючим пристроєм, що дозволяє змінювати ступінь натягнення правої і лівої сторони сітчастого конвеєра. Холоста гілка 10 сітчастого конвеєра підтримується опорними роликами. Для обмеження бічних зсувів сітки встановлені вертикальні ролики. Привід конвеєра складається з електродвигуна, двох ремінних передач, варіатора і редуктора ( $i=1:1492$ ). Вихідний вал редуктора сполучений з валом приводного барабана парою зубчатих коліс.

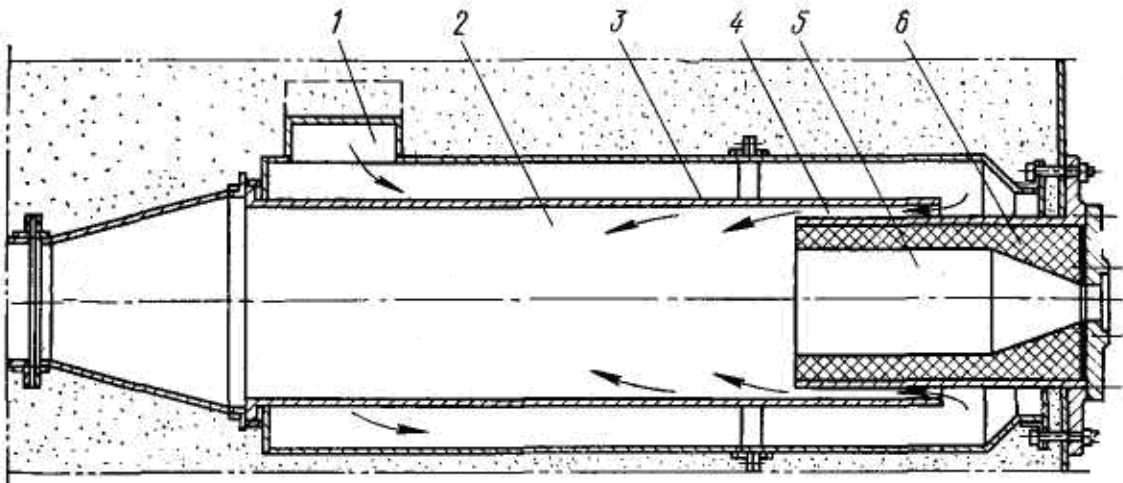


Рисунок 4.2 - Топочний пристрій печі ПХС-25

Для очищення сітки від забруднення (крихти, нагару) під нижньою гілкою сітки з боку вивантаження розташований щітковий механізм 12 з індивідуальним приводом і періодичним включенням.

Огорожі печі - блоково-каркасного типу з ізоляцією з мінеральної (шлакової) вати. Зовнішня обшивка печі є знімними панелями, сполученими із зовнішнім каркасом притискними планками, закріпленими гвинтами.

Пекарна камера печі 11 є тунелем шириною 2420 мм, заввишки 220 мм і завдовжки 12000 мм із стінками з листової сталі. У ній розташований

зволожувальний пристрій з перфорованих труб. Над конвеєром в місцях посадки і вивантаження встановлені витяжні парасольки 3 і 8.

У пекарній камері розташовані два окремі контури обігріву, один з яких обслуговує зону посадочної частини, а інший контур (більший за розміром) обслуговує зону вивантажувальної частини печі. Кожен контур має топочний пристрій 7 і пов'язану з ним систему каналів 5 і перепускних газоходів 4. Обидва топочних пристрої сполучені з димососами 6, розташованими над першою половиною печі.

Топочний пристрій (рис. 4.2) складається з камери згорання 5 і камери змішування 2. Камера згорання є циліндровим муфелем 6, який виконаний з жаростійкої сталі, футерований з боку факела згорання вогнетривкою цеглою.

Циліндр камери згорання приблизно на половину своєї довжини з деяким зазором входить в інший циліндр 3 камери змішування, також виконаний з жаростійкої сталі.

Для охолодження стінок камери згорання і камери змішування рециркулюючий потік продуктів згорання прямує через вікно 1, омиваючи спочатку стінки камери змішування, потім поступає в кільцевий зазор 4 і омиває стінки камери згорання; після цього потік газів змішується з топочними газами (у місці виходу їх з камери згорання), і потім суміш газів прямує в систему каналів.

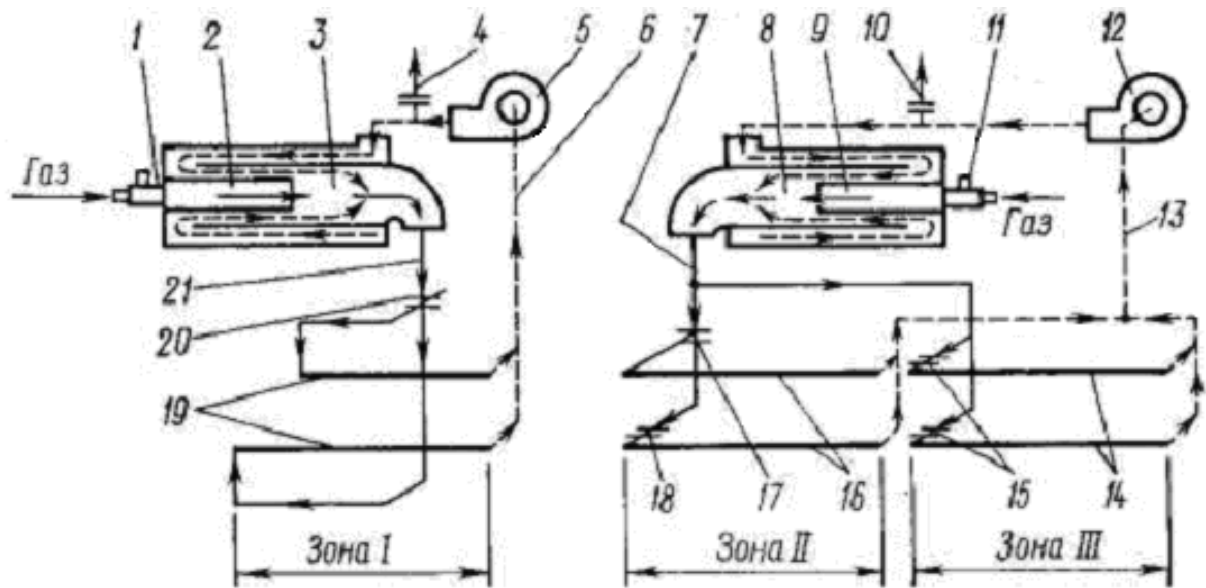


Рисунок 4.3 - Схема руху продуктів згорання в печі ПХС-25

Топочні пристрої печі розраховані для спалювання газу і рідкого палива. Газоподібне паливо спалюється за допомогою інжекційного пальника середнього тиску (системи Царіка).

На рис. 4.3 приведена схема руху газів в каналах і газоходах печі ПХС-25, на якій показані газогорілочні пристрої 1 і 11. З камери згорання 2 і 9 газ поступає в камери змішування 3 і 8 топочного пристрою. По перепускних газоходах 7 до 21 кожного контура обігріву печі продукти згорання поступають в канали 14, 16, 19. Кількість продуктів згорання, які надходять в систему верхніх і нижніх каналів кожного контура, регулюється настановними (налагоджувальними) шиберами 15, 17, 18, 20.

По перепускних газоходах 6 і 13 потік охолоджених продуктів згорання всмоктується патрубком димососів 5 і 12. Потік газів, рівний за

об'ємом  $V_{ух}$ , м<sup>3</sup>/год, по газоходах 4 і 10 прямує до димаря; решта частини газів йде на рециркуляцію.

Загальний вигляд до модернізації зображений на листі 4, газовий контур до модернізації – на листі 5, кінематична схема – на листі 6.

## 5 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

### 5.1 Розрахунок процесу виготовлення пшеничного хліба

Сорт борошна: вищий

ГОСТ 27842-88

Маса виробу, кг – 0,5 [1, с.259, табл. 115]

Плановий вихід, % - 134 [1, с.259, табл. 115]

Розрахунок продуктивності печі ПХС – 25

Габарити черіння печі, мм

довжина  $L = 12000$

ширина  $B = 2100$

Розмір виробу, мм

довжина  $l = 220$

ширина  $b = 220$

Зазор між виробами, мм  $a = 30$

Кількість рядів виробів за довжиною печі, шт

$$N = \frac{L-a}{b-a} = \frac{12000-30}{220+30} = 47,88 \approx 48 \quad (5.1)$$

Кількість виробів у ряді, шт.

$$n = \frac{B-a}{l+a} = \frac{2100-30}{220+30} = 8,28 \approx 9 \quad (5.2)$$

Тривалість випікання, хв  $\tau_{вип} = 40$  [1, с.157, табл. 79]

Кількість годин роботи, год  $\tau_n = 23$

Продуктивність печі, кг/год

$$Q_{год} = \frac{N \cdot n \cdot m \cdot 60}{\tau_{вип}} = \frac{48 \cdot 9 \cdot 0,5 \cdot 60}{40} = 324 \quad (5.3)$$

Кількість, шт/год

$$Q_{200}^{um} = \frac{Q_{200}}{m} = \frac{324}{0,5} = 648 \quad (5.4)$$

Продуктивність печі, добова

$$\text{шт/доб} \quad Q_{доб} = Q_{200} \cdot 23 = 324 \cdot 23 = 7452 \quad (5.5)$$

$$\text{кг/доб} \quad Q_{доб}^{um} = \frac{Q_{доб}}{m} = \frac{7452}{0,5} = 14904 \quad (5.6)$$

### Розрахунок витрат сировини

Рецептура

100 кг борошна вищого гатунку, кг  $G_b - 100$  [1, с.102, табл. 47]

дріжджі пресовані, кг  $G_{dp} - 1,0$  [1, с.102, табл. 47]

сіль, кг  $G_c - 1,3$  [1, с.102, табл. 47]

Витрати борошна

За годину, кг/год

$$G_b^{200} = \frac{Q_{ГОД} \cdot 100}{B_x} = \frac{324 \cdot 100}{134} = 241,79 \quad (5.7)$$

За добу, кг/доб

$$G_b^{доб} = G_b^{200} \cdot 23 = 241,79 \cdot 23 = 5564,2 \quad (5.8)$$

Витрата борошна на 1т виробу, кг

$$G_b^T = \frac{1000 \cdot 100}{B_x} = \frac{1000 \cdot 100}{134} = 746,3 \quad (5.9)$$

Витрати дріжджів

За годину, кг/год

$$G_d^{200} = \frac{G_b^{200} \cdot G_{dp}}{100} = \frac{241,79 \cdot 1,0}{100} = 2,4179 \quad (5.10)$$

За добу, кг/доб

$$G_{\delta}^{\text{доб}} = G_{\delta}^{\text{год}} \cdot 23 = 2,4179 \cdot 23 = 55,66 \quad (5.11)$$

Витрата дріжджів на 1т виробу, кг

$$G_{\delta}^T = \frac{G_{\delta}^T \cdot G_{\delta}}{100} = \frac{746,3 \cdot 1,0}{100} = 7,46 \quad (5.12)$$

Витрати солі

За годину, кг/год

$$G_c^{\text{год}} = \frac{G_{\text{бор}}^{\text{год}} \cdot G_c}{100} = \frac{241,79 \cdot 1,3}{100} = 3,14 \quad (5.13)$$

За добу, кг/доб

$$G_c^{\text{доб}} = G_c^{\text{год}} \cdot 23 = 3,14 \cdot 23 = 72,22 \quad (5.14)$$

Витрата солі на 1т виробу, кг

$$G_c^T = \frac{G_{\delta}^T \cdot G_c}{100} = \frac{746,3 \cdot 1,3}{100} = 9,7 \quad (5.15)$$

#### Потреби в обладнанні тісто приготування

Тістомісильна машина для приготування тіста А2-ХТ2-Б

Спосіб приготування тіста, готується в діжах – порційний на опарі.

Місткість діжі,  $\text{дм}^3$   $V_{\delta} = 330$

Завантаження діжі борошном,  $\text{кг}/100\text{дм}^3$   $G_{\delta}^{\delta} = 35$

Тривалість бродіння

Опарі, хв  $\tau_{\text{оп}} = 240$  [1, с.157, табл. 79]

Тіста, хв  $\tau_{\text{тіста}} = 90$  [1, с.157, табл. 79]

Кількість діж під тістом, необхідних для годинної продуктивності печі

$$D_{\text{год}} = \frac{G_{\delta}^{\text{год}} \cdot 100}{V_{\delta} \cdot G_{\delta}^{\delta}} = \frac{241,79 \cdot 100}{330 \cdot 35} = 2,01 \approx 3 \quad (5.16)$$

Інтервал між замісами тіста, або опари

$$i = \frac{60}{D_{\text{год}}} = \frac{60}{3} = 20 \quad (5.17)$$

Час зайнятості діж під додаткові операції, хв  $\tau_{\delta} = 10$

Кількість діж зайнятих під опарою

$$D_{on} = \frac{D_{zod} \cdot \tau_{on}}{60} = \frac{3 \cdot 240}{60} = 12 \quad (5.18)$$

Кількість діж зайнятих під тістом

$$D_m = \frac{D_{zod} \cdot \tau_m}{60} = \frac{3 \cdot 90}{60} = 4,5 \approx 5 \quad (5.19)$$

Кількість діж зайнятих під додатковій операції, шт

$$D_\delta = \frac{D_{zod} \cdot \tau_\delta}{60} = \frac{3 \cdot 10}{60} = 0,5 \approx 1 \quad (5.20)$$

Загальна кількість діж, шт

$$D_z = D_{on} + D_m + D_\delta = 12 + 5 + 1 = 18 \quad (5.21)$$

#### Оброблення і вистоювання

Тістоподільник А2-ХТН

Продуктивність, шт/хв – 30

Необхідна кількість тістових заготовок за 1 хв (коєф. запасу 1,1)

$$N_{загот} = \frac{Q_{zod}^{um} \cdot 1,1}{60} = \frac{648 \cdot 1,1}{60} = 11,88 \approx 12 \quad (5.22)$$

Маса тістової заготовки, кг

$$\rho_m = \frac{10000 \cdot m}{(100 - \rho_{yn})(100 - \rho_{yc})} = \frac{10000 \cdot 0,5}{(100 - 8,7)(100 - 4)} = 0,571 \quad (5.23)$$

Упікання, %  $\rho_{yn} = 8,7$  [1, с.253, табл. 114]

Усихання, %  $\rho_{yc} = 4$  [1, с.253, табл. 114]

Шафа для вистоювання А2-ХРА

Кількість заготовок на колисці, шт  $n_{кол} = 6$

Тривалість вистоювання, хв  $\tau_{вис} = 50$  [1, с.157, табл. 79]

Кількість колисок, які знаходяться в роботі

$$K_{роб} = \frac{Q_{zod}^{um} \cdot \tau_{вис}}{n_{кол} \cdot 60} = \frac{648 \cdot 50}{6 \cdot 60} = 90 \quad (5.24)$$

Кількість заготівок у шафі

$$N_{заг} = K_{роб} \cdot n_{кол} = 90 \cdot 6 = 540 \quad (5.25)$$

## Охолодження та зберігання

Зберігання хліба в вагонетках

Тривалість зберігання, год.  $\tau_{зб} = 8$

Кількість лотків на вагонетці, шт.  $n_{лот} = 16$

Кількість виробів на лотку, шт.  $n_{вир} = 12$

Кількість виробів на вагонетці, шт.

$$n_{ваг} = n_{лот} \cdot n_{вир} = 16 \cdot 12 = 192 \quad (5.26)$$

Кількість вагонеток необхідних для годинної продуктивності печі

$$B_{год} = \frac{Q_{год}^{ум}}{n_{ваг}} = \frac{648}{192} = 3,375 \approx 4 \quad (5.27)$$

Кількість вагонеток, зайнятих при зберіганні хліба

$$B_{зб} = B_{год} \cdot \tau_{зб} = 4 \cdot 8 = 32 \quad (5.28)$$

Час використання вагонеток, підсобними роботами (за хронометражем), хв

$$\tau_{під} = 10$$

Кількість вагонеток під підсобними роботами

$$B_{п.р} = \frac{B_{год} \cdot \tau_{п.р}}{60} = \frac{4 \cdot 10}{60} = 0,6 \approx 1 \quad (5.29)$$

Кількість лотків для годинної продуктивності печі

$$L_{год} = \frac{Q_{год}^{ум}}{n_{вир}} = \frac{648}{12} = 54 \quad (5.30)$$

Кількість лотків для зберігання хліба

$$L_{зб} = L_{год} \cdot \tau_{зб} = 54 \cdot 8 = 432 \quad (5.31)$$

Кількість лотків для підсобних операцій

$$L_{п.р} = \frac{L_{год} \cdot \tau_{п.р}}{60} = \frac{54 \cdot 10}{60} = 9 \quad (5.32)$$

## 5.2 Розрахунок процесу виготовлення житнього хліба

Сорт борошна: житнє обдирне

ГОСТ 2077-84

Маса виробу, кг – 1,0 [1, с.256, табл. 115]

Плановий вихід, % - 149 [1, с.256, табл. 115]

Розрахунок продуктивності печі ПХС – 25

Габарити поду печі, мм

довжина  $L = 12000$

ширина  $B = 2100$

Розмір виробу, мм

довжина  $l = 220$

ширина  $b = 220$

Зазор між виробами, мм  $a = 30$

Кількість рядів виробів за довжиною печі, шт

$$N = \frac{L-a}{b-a} = \frac{12000-30}{220+30} = 47,88 \approx 48 \quad (5.33)$$

Кількість виробів у ряді, шт.

$$n = \frac{B-a}{l+a} = \frac{2100-30}{220+30} = 8,28 \approx 9 \quad (5.34)$$

Тривалість випікання, хв  $\tau_{вип} = 40$  [1, с.186, табл. 86]

Кількість годин роботи, год  $\tau_n = 23$

Продуктивність печі, кг/год

$$Q_{год} = \frac{N \cdot n \cdot m \cdot 60}{\tau_{вип}} = \frac{48 \cdot 9 \cdot 1,0 \cdot 60}{40} = 648 \quad (5.35)$$

Кількість, шт/год

$$Q_{год}^{шт} = \frac{Q_{год}}{m} = \frac{648}{1,0} = 648 \quad (5.36)$$

Продуктивність печі, добова

$$\text{шт/доб} \quad Q_{доб} = Q_{год} \cdot 23 = 648 \cdot 23 = 14904 \quad (5.37)$$

$$\text{кг/доб} \quad Q_{доб}^{шт} = \frac{Q_{доб}}{m} = \frac{14904}{1,0} = 14904 \quad (5.38)$$

## Розрахунок витрат сировини

### Рецептура

100 кг борошна житнього обдирного, кг  $G_b - 100$  [1, с.98, табл. 43]

дріжжі пресовані, кг  $G_{dp} - 0,05$  [1, с.98, табл. 43]

сіль, кг  $G_c - 1,5$  [1, с.98, табл. 43]

### Витрати борошна

За годину, кг/год

$$G_b^{год} = \frac{Q_{ГОД} \cdot 100}{B_x} = \frac{648 \cdot 100}{149} = 434,9 \quad (5.39)$$

За добу, кг/доб

$$G_b^{доб} = G_b^{год} \cdot 23 = 434,9 \cdot 23 = 10002,7 \quad (5.40)$$

Витрата борошна на 1т виробу, кг

$$G_b^T = \frac{1000 \cdot 100}{B_x} = \frac{1000 \cdot 100}{149} = 671,14 \quad (5.41)$$

### Витрати дріжджів

За годину, кг/год

$$G_d^{год} = \frac{G_b^{год} \cdot G_{dp}}{100} = \frac{434,9 \cdot 0,05}{100} = 0,217 \quad (5.42)$$

За добу, кг/доб

$$G_d^{доб} = G_d^{год} \cdot 23 = 0,217 \cdot 23 = 5,00 \quad (5.43)$$

Витрата дріжджів на 1т виробу, кг

$$G_d^T = \frac{G_b^T \cdot G_d}{100} = \frac{671,14 \cdot 0,05}{100} = 0,3355 \quad (5.44)$$

### Витрати солі

За годину, кг/год

$$G_c^{год} = \frac{G_b^{год} \cdot G_c}{100} = \frac{434,9 \cdot 1,5}{100} = 6,52 \quad (5.45)$$

За добу, кг/доб

$$G_c^{доб} = G_c^{зод} \cdot 23 = 6,52 \cdot 23 = 150,04 \quad (5.46)$$

Витрата солі на 1т виробу, кг

$$G_c^T = \frac{G_6^T \cdot G_c}{100} = \frac{671,14 \cdot 1,5}{100} = 10,06 \quad (5.47)$$

Потреби в обладнанні тісто приготування

Тістомісильна машина для приготування тіста А2-ХТ2-Б

Спосіб приготування тіста, готується в діжах – порційний на опарі.

Місткість діжі,  $\text{дм}^3$   $V_d = 330$

Завантаження діжі борошном,  $\text{кг}/100\text{дм}^3$   $G_6^d = 35$

Тривалість бродіння

Закваски, хв  $\tau_{закв} = 210$  [1, с.186, табл. 86]

Тіста, хв  $\tau_{тіста} = 90$  [1, с.186, табл. 86]

Кількість діж під тістом, необхідних для год. продуктивності печі

$$D_{зод} = \frac{G_6^{зод} \cdot 100}{V_d \cdot G_6^d} = \frac{434,9 \cdot 100}{330 \cdot 35} = 3,76 \approx 4 \quad (5.48)$$

Інтервал між замісами тіста, або опари

$$i = \frac{60}{D_{зод}} = \frac{60}{4} = 15 \quad (5.49)$$

Час зайнятості діж під додаткові операції, хв  $\tau_d = 10$

Кількість діж зайнятих під закваскою

$$D_{закв} = \frac{D_{зод} \cdot \tau_{закв}}{60} = \frac{4 \cdot 210}{60} = 14 \quad (5.50)$$

Кількість діж зайнятих під тістом

$$D_m = \frac{D_{зод} \cdot \tau_m}{60} = \frac{4 \cdot 90}{60} = 6 \quad (5.51)$$

Кількість діж зайнятих під додаткові операції, шт

$$D_d = \frac{D_{зод} \cdot \tau_d}{60} = \frac{4 \cdot 10}{60} = 0,6 \approx 1 \quad (5.52)$$

Загальна кількість діж, шт

$$D_z = D_{закв} + D_m + D_d = 14 + 6 + 1 = 21 \quad (5.53)$$

## Оброблення і вистоювання

Тістоподільник А2-ХТН

Продуктивність, шт/хв – 30

Необхідна кількість тістових заготовок за 1 хв (коєф. запасу 1,1)

$$N_{загот} = \frac{Q_{год}^{ум} \cdot 1,1}{60} = \frac{648 \cdot 1,1}{60} = 11,88 \approx 12 \quad (5.54)$$

Маса тістової заготовки, кг

$$\partial_m = \frac{10000 \cdot m}{(100 - \partial_{yn})(100 - \partial_{yc})} = \frac{10000 \cdot 1,0}{(100 - 0)(100 - 4,0)} = 1,04 \quad (5.55)$$

Упікання, %  $\partial_{yn} = 0$  [1, с.252, табл. 114]

Усихання, %  $\partial_{yc} = 4$  [1, с.252, табл. 114]

Шафа для вистоювання А2-ХРА

Кількість заготовок на колисці, шт  $n_{кол} = 6$

Тривалість вистоювання, хв  $\tau_{вис} = 40$  [1, с.186, табл. 86]

Кількість колісок, які знаходяться в роботі

$$K_{роб} = \frac{Q_{год}^{ум} \cdot \tau_{вис}}{n_{кол} \cdot 60} = \frac{648 \cdot 40}{6 \cdot 60} = 72 \quad (5.56)$$

Кількість заготовок у шафі

$$N_{заг} = K_{роб} \cdot n_{кол} = 72 \cdot 6 = 432 \quad (5.57)$$

## Охолодження та зберігання

Зберігання хліба в вагонетках

Тривалість зберігання, год.  $\tau_{зб} = 8$

Кількість лотків на вагонетці, шт.  $n_{лот} = 16$

Кількість виробів на лотку, шт.  $n_{вир} = 12$

Кількість виробів на вагонетці, шт.

$$n_{ваг} = n_{лот} \cdot n_{вир} = 16 \cdot 12 = 192 \quad (5.58)$$

Кількість вагонеток необхідних для годинної продуктивності печі

$$B_{\text{зод}} = \frac{Q_{\text{зод}}^{\text{ум}}}{n_{\text{газ}}} = \frac{648}{192} = 3,375 \approx 4 \quad (5.59)$$

Кількість вагонеток, зайнятих при зберіганні хліба

$$B_{\text{зб}} = B_{\text{зод}} \cdot \tau_{\text{зб}} = 4 \cdot 8 = 32 \quad (5.60)$$

Час використання вагонеток, підсобними роботами (за хронометражем),

хв

$$\tau_{\text{нід}} = 10$$

Кількість вагонеток під підсобними роботами

$$B_{\text{н.р}} = \frac{B_{\text{зод}} \cdot \tau_{\text{н.р}}}{60} = \frac{4 \cdot 10}{60} = 0,6 \approx 1 \quad (5.61)$$

Кількість лотків для годинної продуктивності печі

$$L_{\text{мд}} = \frac{Q_{\text{зод}}^{\text{ум}}}{n_{\text{вир}}} = \frac{648}{12} = 54 \quad (5.62)$$

Кількість лотків для зберігання хліба

$$L_{\text{зб}} = L_{\text{зод}} \cdot \tau_{\text{зб}} = 54 \cdot 8 = 432 \quad (5.63)$$

Кількість лотків для підсобних операцій

$$L_{\text{но}} = \frac{L_{\text{зод}} \cdot \tau_{\text{но}}}{60} = \frac{54 \cdot 10}{60} = 9 \quad (5.64)$$

## 6 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ПЕЧІ

Паливо – природній газ. Об'ємний склад палива в %:  $\text{CO}_2 = 0,1$ ;  $\text{CH}_4 = 97,4$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,5$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,2$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1$ ;  $\text{N}_2 = 1,2$ .

Теплота згорання газу  $Q_{\text{н}}^p = 35600$  кДж/м<sup>3</sup>; його густина  $\rho = 0,73$  кг/м<sup>3</sup>; теоретичний об'єм повітря, необхідний для 1 м<sup>3</sup> газу,  $V_0 = 9,48$  м<sup>3</sup>. Склад продуктів, які утворюються при спалюванні 1 м<sup>3</sup> природного газу з коефіцієнтом витрат повітря  $\alpha = 1$ ;  $V_{\text{N}_2}^0 = 7,5$ ;  $V_{\text{H}_2\text{O}}^0 = 2,14$ ;  $V_{\text{O}_2}^0 = 10,64$ ;

## 6.1 Тепловий баланс печі і витрати палива

### 6.1.1 Об'єми продуктів згорання, м<sup>3</sup>

$$V_{\partial} = V_{CO_2}^0 + V_{N_2}^0 + V_{H_2O}^0 + (\alpha - 1)V_0, \quad (6.1)$$

де  $V_{CO_2}^0$  - об'єм оксиду вуглецю;

$V_{N_2}^0$  - об'єм азоту;

$$V_{\partial} = 1 + 7,5 + 2,14 + (1 - 1)9,48 = 10,64$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V, \quad (6.2)$$

$$V_{H_2O} = 2,14 + 0,0161(1 - 1)9,48 = 2,15$$

### 6.1.2 Кількість тепла, що витрачається в пекарній камері

$$q_{n.k} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \text{ кДж/кг.} \quad (6.3)$$

### 6.1.3 Корисно використане тепло на випікання виробів

$$q_1 = \omega_{ам} (i_{n.n} - i') + g_k c_k (t_k - t_T) + (g_m c_m + \omega_m c_{\epsilon}) (t_m - t_T), \quad (6.4)$$

$$q_1 = 0,06(2970 \cdot 26) + 0,15 \cdot 1,67(150 - 30) + (0,425 \cdot 1,67 + 0,425 \cdot 4,19)(98 - 30) = 371 \text{ кДж/кг,}$$

де  $i_{n.n}$  - ентальпія перегрітої пари;  $i_{n.n} = 2970$  кДж/кг;

$i'$  - ентальпія води при температурі тіста;  $i' = 126$  кДж/кг;

$g_k$  - маса скоринки;  $g_k = 0,15$  кг;

$c_k$  - питома теплоємність скоринки;  $c_k = 1,67$  кДж/(кг·град);

$t_k$  - температура скоринки;  $t_k = 150$  °С;

$t_T$  - початкова температура тіста;  $t_T = 30$  °С;

$g_m$  - маса сухої частини м'якіша;  $g_m = 0,425$  кг;

$c_m$  - теплоємність сухої частини м'якіша;  $c_m = 1,67$  кДж/(кг·град);

$\omega_m$  - волога м'якіша;  $\omega_m = 0,425$  кг/кг;

$c_{\epsilon}$  - теплоємність води;  $c_{\epsilon} = 4,19$  кДж/(кг·град);

$t_m$  - температура м'якіша;  $t_m = 98$  °С;

### 6.1.4 Витрати тепла на перегрів пара

$$q_2 = g_n (i_{n,n} - i_{n,n}) = 0,15(2970 - 2360) = 92 \text{ кДж/кг.} \quad (6.5)$$

#### 6.1.5 Ентальпія насиченої пари

$$i_{n,n} = i' + xr = 465 + 0,85 \cdot 2230 = 2360 \text{ кДж/кг.} \quad (6.6)$$

При  $p = 0,15 \text{ Мн/м}^2$  ( $p = 1,5 \text{ кг/см}^2$ ) і степеня сухості пари  $x = 0,85$  ентальпія води  $i' = 465 \text{ кДж/кг}$  і теплота випаровування  $r = 2230 \text{ кДж/кг}$ .

#### 6.1.6 Втрати тепла з вентиляційним повітрям

$$q_3 = c_p \frac{\omega_{вм} + g_n}{d_{n,к} - d_г} (t_{n,к} - t_г) = 1 - \frac{0,06 + 0,150}{0,270 - 0,012} (250 - 25) = 184 \text{ кДж/кг,} \quad (6.7)$$

де  $c_p$  - масова теплоємність повітря при постійному тиску;  $c_p = 1 \text{ кДж/кг}$ ;

$d_{n,к}$  - вологовміст середовища пекарної камери;  $d_{n,к} = 0,27 \text{ кг/кг}$ ;

$d_г$  - вологовміст зовнішнього повітря;  $d_г = 0,012 \text{ кг/кг}$ ;

$t_{n,к}$  - температура середовища пекарної камери;  $t_{n,к} = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$t_г$  - температура зовнішнього повітря;  $t_г = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

6.1.7 Втрати тепла на нагрівання транспортних пристосувань при зміні температури сітки від  $t'_c = 30$  до  $t''_c = 140 \text{ }^\circ\text{C}$

$$q_4 = g_c c_c (t''_c - t'_c) = 1,11 \cdot 0,46 (140 - 30) = 56 \text{ кДж/кг,} \quad (6.8)$$

де  $g_c$  - маса сітки на 1 кг хліба;  $g_c = 1,11 \text{ кг}$ ;

$c_c$  - теплоємність сітки в кДж/(кг·град);  $c_c = 0,46$ ;

6.1.8 Втрати тепла через огороження пекарної камери в навколишнє середовище

$$q_5 = \frac{Q_5}{G}. \quad (6.9)$$

6.1.9 Втрати тепла в навколишнє середовище, відносно 1 год,

$$Q_5 = a_{np} C_o f_n \left[ (0,01T_n)^4 - (0,01T_o)^4 \right] + \alpha_{\kappa} f_n (t_n - t_o). \quad (6.10)$$

6.1.10 Потужність печі при випіканні подового хліба вагою 1 кг

$$G = \frac{ng}{60\tau} = \frac{48 \cdot 9}{60 \cdot 40} \approx 0,18 \text{ кг/сек (650 кг/год)}, \quad (6.11)$$

де  $g$  – вага хліба на сітці в одному ряді;  $g = 9$  кг;

$n$  – число рядів хліба в печі;  $n = 48$ ;

$\tau$  - тривалість випікання;  $\tau = 40$  хв;

6.1.11 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від вертикальних стін

$$\alpha_k^{вепм} = Nu \frac{\lambda}{l} = 225 \frac{0,0269}{1,50} = 4,00, \quad (6.12)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності повітря;  $\lambda = 0,0269$  Вт/(м·град);

$l$  – висота печі;  $l = 1,5$  м.

6.1.12 Число Нусельта

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n = 0,135(4,65 \cdot 10^9)^{0,33} = 225. \quad (6.13)$$

6.1.13 Середня температура

$$t_m = \frac{T_n + T_o}{2} = \frac{40 + 25}{2} = 32,5^\circ\text{C}, \quad (6.14)$$

де  $T_n$  - температура внутрішньої поверхні печі;  $t_n$  -  $40^\circ\text{C}$ ,

$T_o$  - температура навколишнього середовища;  $t_o$  -  $25^\circ\text{C}$ .

6.1.14 Критерій Грасгофа для вертикальних стін

$$Gr = \frac{\beta l^3 g \Delta t}{\nu^2} = \frac{1,50^3 \cdot 9,81(40 - 25)}{(273 + 32,5)(16,3 \cdot 10^{-6})^2} = 6,2 \cdot 10^9, \quad (6.15)$$

$$\text{де. } \beta = \frac{l}{T_m} = \frac{1}{32,5}$$

6.1.15 Критерій  $Pr=0,72$  для повітря (визначається по таблиці). Тоді,

$$Gr \cdot Pr = 6,2 \cdot 10^9 \cdot 0,72 = 4,46 \cdot 10^9. \quad (6.16)$$

При цьому добутку  $C=0,135$  і  $n=0,33$  [2, с.40].

6.1.16 Коефіцієнт тепловіддачі від горизонтальних стін

$$\alpha_{\kappa}^{zop} = 1,3Nu \frac{\lambda}{l} = 1,3 \cdot 425 \frac{0,0269}{2,9} = 5,15 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}, \quad (6.17)$$

де.  $Nu = C(\text{Pr}Gr) = 0,135(43,5 \cdot 10^9 \cdot 0,72)^{0,33} = 425$

6.1.17 Критерій Грасгофа для горизонтальних стін

$$Gr = \frac{\beta l^3 g \Delta t}{\nu^2} = \frac{2,90^3 \cdot 9,81 \cdot 15}{305,5(16,3 \cdot 10^{-6})^2} = 43,5 \cdot 10^9, \quad (6.18)$$

в цьому випадку визначаючим розміром печі є ширина;  $l=2,9$  м.

$$GrPr = 43,5 \cdot 10^9 \cdot 0,72 = 31,4 \cdot 10^9;$$

$$C=0,135; n=0,33;$$

По даним печі, поверхня вертикальних огорожень  $f_{\epsilon} = 62 \text{ м}^2$  і горизонтальних  $f_z = 36 \text{ м}^2$ .

6.1.18 Тепловіддача вертикальними поверхнями печі

$$\begin{aligned} Q_{5\epsilon} &= f_{\epsilon} \left\{ a_{np} C_o \left[ (0,01T_n)^4 - (0,01T_o)^4 \right] + \alpha_{\kappa}^{sepm} (t_n - t_o) \right\} = \\ &= 62 \left\{ 0,82 \cdot 5,7 \left[ \left( \frac{273+40}{100} \right)^4 - \left( \frac{273+25}{100} \right)^4 \right] + 4,00(40-25) \right\} = 8700 \text{ Вт}, \quad (6.19) \end{aligned}$$

де  $a_{np}$  - приведена степінь чорноти поверхні печі і навколишнього середовища;

$$a_{np} = \frac{1}{\frac{2}{a_m} - 1} = \frac{1}{\frac{2}{0,9} - 1} = 0,82; \text{ степінь чорноти матеріалу } a_m = 0,9;$$

$C_o$  - степінь чорноти абсолютно чорного тіла;  $C_o = 5,7$ ;

6.1.19 Тепловіддача горизонтальними поверхнями огорожень печі

$$Q_{5z} = f_z \left\{ a_{np} C_o \left[ (0,01T_n)^4 - (0,01T_o)^4 \right] + \alpha_{\kappa}^{zop} (t_n - t_o) \right\} =$$

$$=36 \left\{ 0,82 \cdot 5,7 \left[ \left( \frac{273+40}{100} \right)^4 - \left( \frac{273+25}{100} \right)^4 \right] + 5,15(40-25) \right\} = 5700 \text{ Вт.} \quad (6.20)$$

6.1.20 Всього віддається тепла в навколишнє середовище

$$Q_{53} = Q_{56} + Q_{52} = 8700 + 5700 = 14400 \text{ Вт} = 14,4 \text{ кВт} \quad (6.21)$$

або на 1 кг виробів  $q_5 = \frac{Q_5}{G} = \frac{14,4}{0,18} = 80 \text{ кДж/кг.}$

Інші втрати приймаються на 1 кг виробів  $q_6 = 29,3 \text{ кДж/кг.}$

6.1.21 Сумарні витрати тепла в пекарній камері

$$q_{n.k} = 371 + 92 + 184 + 56 + 80 + 29,3 = 812,3 \text{ кДж/кг.} \quad (6.22)$$

6.1.22 Секундні витрати тепла в кВт:

$$Q_1 = q_1 G = 371 \cdot 0,18 = 67; \quad (6.23)$$

$$Q_2 = q_2 G = 92 \cdot 0,18 = 16,6; \quad (6.24)$$

$$Q_3 = q_3 G = 184 \cdot 0,18 = 33,2; \quad (6.25)$$

$$Q_4 = q_4 G = 56 \cdot 0,18 = 10,1; \quad (6.26)$$

$$Q_5 = q_5 G = 80 \cdot 0,18 = 14,4; \quad (6.27)$$

$$Q_6 = q_6 G = 29,3 \cdot 0,18 = 5,3; \quad (6.28)$$

6.1.23 Загальна витрата тепла в пекарній камері:

$$Q_{n.k} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 67 + 16,6 + 33,2 + 10,1 + 14,4 + 5,3 = 146,6 \text{ кВт.} \quad (6.29)$$

6.1.24 Приймаємо температуру продуктів згорання, які виходять

$t_{yx} = 350 \text{ }^\circ\text{C.}$  При цій температурі втрати тепла з газами, які виходять  $l_{yx} = 12000 \text{ кДж/м}^3$ . Ці втрати, віднесені до одиниці палива,

$$q_{yx} = \frac{l_{yx}}{Q_n^p} 100 = \frac{12000}{35600} 100 = 33,7\%. \quad (6.30)$$

6.1.25 При втраті тепла від хімічної неповноти горіння  $q_{хим} = 0$  секундна витрата палива

$$B = \frac{Q_{n.k}}{Q_n^p (1 - q_{yx})} = \frac{146,6}{35600(1 - 0,337)} = 0,0062 \text{ м}^3 \text{ (22,3 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.31)$$

6.1.26 Питома витрата природного газу при нормальних умовах

$$b = \frac{B}{G} = \frac{22,3}{0,650} = 34,4 \text{ м}^3/\text{т хліба}. \quad (6.32)$$

6.1.27 Питома витрата умовного палива

$$b_y = b \frac{Q_n^p}{29300} = 34,4 \frac{35600}{29300} = 41,7 \text{ кг умовного палива/т хліба}. \quad (6.33)$$

6.2 Розрахунки камери згорання

6.2.1 Основні розміри камери згорання, кратність циркуляції і кількість продуктів згорання

Топочна частина

6.2.1.1 Теоретична температура згорання

$$t_{zop} = \frac{Q_n^p + \alpha V_o c_6 t_6}{V_o c_o} = \frac{35600 + 1,2 \cdot 9,48 \cdot 1,25 \cdot 20}{12,57 \cdot 1,62} = 1765 \text{ }^\circ\text{C (2038 }^\circ\text{K)}. \quad (6.34)$$

По даним досліджень камер згорання печей ПХС, витраті палива  $B=0,0062 \text{ м}^3/\text{сек. (22,3 м}^3/\text{Год)}$  відповідає величина параметра  $\pi_1''' = 2,7$  [2, с.337].

6.2.1.2 Температура продуктів згорання при виході з топки

$$T_y = (0,87 - 0,074 \pi_1''') T_{zop} = (0,87 - 0,074 \cdot 2,7) 2038 = 1360 \text{ }^\circ\text{K (1087 }^\circ\text{C)}. \quad (6.35)$$

6.2.1.3 Середня ефективна температура продуктів згорання в топочній частині камери згорання з врахуванням коефіцієнта сумішоутворення для короткопалуменевих горілок  $\beta=0,85$

$$\bar{T}_{\partial.m} = \sqrt{\beta T_{zop} T_y} = \sqrt{0,85 \cdot 2038 \cdot 1360} = 1530 \text{ }^\circ\text{K (1257 }^\circ\text{C)}. \quad (6.36)$$

6.2.1.4 Теплонапруження поперечного перерізу топки

$$q_f = 3,6 - 0,47 \pi_1''' = 3,6 - 0,47 \cdot 2,7 = 2,33 \text{ мВт/м}^3 = 2330 \text{ кВт/м}^3. \quad (6.37)$$

6.2.1.5 Теплонапруження топочного об'єму

$$q_v = 4,5 - 0,587\pi''' = 4,5 - 0,587 \cdot 2,7 = 2,9 \text{ мВт/м}^3 = 2920 \text{ кВт/м}^3. \quad (6.38)$$

6.2.1.6 Поперечний переріз топки камери згорання

$$f_T = \frac{BQ_H^p}{q_f} = \frac{0,0062 \cdot 35600}{2330} = 0,0945 \text{ м}^2. \quad (6.39)$$

6.2.1.7 Діаметр топки

$$d_1 = \sqrt{\frac{f_T}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,0945}{0,785}} = 0,346 \text{ м}. \quad (6.40)$$

Приймаємо  $d_1 = 0,345$  м, як в виконаній конструкції.

6.2.1.8 Об'єм топки

$$V_T = \frac{BQ_H^p}{q_v} = \frac{0,0062 \cdot 35600}{2920} = 0,076 \text{ м}^3. \quad (6.41)$$

6.2.1.9 Довжина топки

$$l_T = \frac{V_T}{f_T} = \frac{0,076}{0,0945} = 0,8 \text{ м}. \quad (6.42)$$

Знайдена довжина топки відповідає виконаній конструкції.

6.2.1.10 Поверхня внутрішньої обичайки топочної частини камери згорання

$$H_1 = \pi d_1 l_T = 3,14 \cdot 0,345 \cdot 0,8 = 0,865 \text{ м}^2. \quad (6.43)$$

6.2.1.11 Кратність циркуляції

$$m \approx \frac{0,995I_{гор} - I_{\alpha_{см}}}{I_{\alpha_{см}} - I_{\alpha_{см}}^o} = \frac{0,995 \cdot 35885 - 18300}{18300 - 11500} = 2,58, \quad (6.44)$$

де  $I_{гор}$  - ентальпія продуктів згорання, отриманих при спалюванні  $1 \text{ м}^3$  палива при теоретичній температурі горіння;

$I_{\alpha_{см}}$  - ентальпія продуктів згорання, отриманих при спалюванні  $1 \text{ м}^3$  палива при  $\alpha_{см}$  і температурі суміші  $t_{см}$ ;  $I_{\alpha_{см}}^o = 18300 \text{ кДж/ м}^3$ ;

$I_{\alpha_{cm}}^o$  - ентальпія продуктів згорання, отриманих при спалюванні  $1 \text{ м}^3$  палива при коефіцієнті витрат повітря  $\alpha_p = \alpha_{yx}$  і температурі рециркулюючих газів при вході в камеру згорання  $t_p^o$ ;  $I_{\alpha_{cm}}^o = 11500 \text{ кДж/ м}^3$ ;

В цьому виразі ентальпії визначені при температурі суміші при виході з камери змішування  $t_{cm} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$  і температурі рециркулюючих газів при вході в камеру згорання з врахуванням охолодження і підсмоктування повітря на шляху від пекарної камери передачі до камери згорання  $t_p^o = 330 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 6.2.1.12 Секундна кількість продуктів згорання

а) при виході з топки (при нормальних умовах)

$$V_{\alpha_T} = BV'_{\alpha_T} = 0,0062 \cdot 12,57 = 0,078 \text{ м}^3/\text{сек. (280 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.45)$$

б) при виході з камери змішування

$$V_{\alpha_{cm}} = (1+m)BV'_{\alpha_{cm}} = (1+2,58)0,0062 \cdot 21,72 = 0,483 \text{ м}^3/\text{сек. (1730 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.46)$$

в) при вході в канали

$$V_{\alpha_{ex}} = (1+m)BV'_{\alpha_{ex}} = (1+2,58)0,0062 \cdot 22,19 = 0,490 \text{ м}^3/\text{сек. (1770 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.47)$$

г) при виході з каналів печі

$$V_{\alpha_{вих}} = (1+m)BV'_{\alpha_{вих}} = (1+2,58)0,0062 \cdot 24,6 = 0,548 \text{ м}^3/\text{сек. (1970 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.48)$$

#### 6.2.1.13 Середній секундний об'єм газів в каналах

$$\bar{V} = \frac{V_{\alpha_{ex}} + V_{\alpha_{вих}}}{2} = \frac{0,49 + 0,548}{2} = 0,519 \text{ м}^3/\text{сек. (1870 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.49)$$

#### 6.2.1.14 Об'єм рециркулюючих газів в секунду (при $\alpha_p = \alpha_{yx}$ )

$$V_{\alpha_p} = mBV'_{\alpha_p} = 2,58 \cdot 0,0062 \cdot 25,08 = 0,402 \text{ м}^3/\text{сек. (1450 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.50)$$

#### 6.2.1.15 Секундний об'єм газів, які виходять з печі

$$V_{\alpha_{yx}} = (1+m)BV'_{\alpha_{yx}} = 3,58 \cdot 0,0062 \cdot 25,08 = 0,559 \text{ м}^3/\text{сек. (2010 м}^3/\text{Год)}. \quad (6.51)$$

6.2.1.16 Секундний об'єм газів, які випускаються в атмосферу

$$V_{вип} = V'_{\alpha_{yx}} - V_{\alpha_p} = 0,559 - 0,402 = 0,157 \text{ м}^3/\text{сек.} \quad (560 \text{ м}^3/\text{Год}). \quad (6.52)$$

Камера змішування

6.2.1.17 Діаметр внутрішньої обичайки камери змішування

$$d_2 = \sqrt{\frac{f_{cm}}{0,785}} = \sqrt{\frac{0,192}{0,785}} = 0,495 \text{ м.} \quad (6.53)$$

Приймається  $d_2 = 0,5$  м (в натуре  $d_2 = 0,505$  м).

6.2.1.18 Переріз камери змішування

$$f_{cm} = \frac{V_{\alpha_{cm}}}{\omega_0} = \frac{0,483}{2,5} = 0,192, \quad (6.54)$$

де  $\omega_0$  - швидкість змішування топочних і рециркуляційних газів;  $\omega_0$  лежить в межах від 2,2 до 2,5 м/сек. при нормальних умовах.

6.2.1.19 Об'єм камери змішування

Об'єм камери змішування розраховується в залежності від часу перебування в ній газів при їх середній температурі. Зазвичай  $\tau$  лежить в межах від 0,15 до 0,2; приймаємо  $\tau = 0,175$  сек.

$$V_2 = \frac{\tau V_{\alpha_{cm}} \bar{T}_{cm}}{273} = \frac{0,175 \cdot 0,483 \cdot 973}{273} = 0,30 \text{ м}^3, \quad (6.55)$$

де  $\bar{T}_{cm}$  - середня температура суміші газів по довжині змішувальної камери, знайдена на основі слідуючих міркувань.

За даними табл. V- 6 і рис. V- 36 [2, с.346] можна визначити, що відношення середньої температури газової суміші в змішувальній камері до температури тієї ж суміші при виході з цієї ж камери  $\frac{\bar{t}'_{d.cm}}{t_{d.cm}} = \frac{534}{459} = 1,16$

(459 – температура суміші в °С на відстані 1 м від кінцевого перерізу топки, де

$\Delta t_{\max} = 25$  град ). В наших вимогах при  $t_{\partial,cm} = 600$  °C і в тому ж співвідношенні середня температура суміші газів в камері змішування  $\bar{t}'_{\partial,cm} = 1,16t_{\partial,cm} = 1,16 \cdot 600 = 700$  °C (973 °K). (Це значення введене в вираз для  $V_2$ ).

6.2.1.20 Довжина камери змішування, яка забезпечує повне перемішування газів

$$l_{cm} = \frac{V_2}{f_{cm}} = \frac{0,3}{0,192} = 1,56 \text{ м.} \quad (6.56)$$

Відношення  $\frac{l_{cm}}{d_2} = \frac{1,56}{0,5} = 3,12$ , що ненабагато вище, ніж в виконаній конструкції ( $m=2,58$ ).

6.2.1.21 Поверхня внутрішньої обичайки камери змішування

$$H_2 = \pi d_2 l_{cm} = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 1,56 = 2,45 \text{ м}^2. \quad (6.57)$$

6.2.2 Теплообмін в камері згорання

Топочна частина

6.2.2.1 Швидкість продуктів згорання в топці при нормальних умовах

$$\omega_{0,T} = \frac{V_{\alpha_T}}{f_T} = \frac{0,078}{0,0945} = 0,825 \text{ м/сек.} \quad (6.58)$$

6.2.2.2 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією до внутрішньої обичайки топки (впливом температури нехтуємо)

$$\alpha_{k,T} \approx 3,5 \frac{\omega_{0,T}^{0,8}}{\sqrt[4]{d_1}} = 3,5 \frac{0,825^{0,8}}{\sqrt[4]{0,345}} = 3,93 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \quad (6.59)$$

6.2.2.3 На довжині топки камери згорання співвідношення

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{0,5}{0,345} = 1,45. \quad (6.60)$$

Зовнішня обичайка камери згорання має діаметр  $d_3 = 0,63$  м.

6.2.2.4 Переріз зовнішнього кільцевого каналу для рециркуляційного газу, утворене за рахунок різниці діаметрів  $d_3$  і  $d_{2нар} = 0,51$  м,

$$f_{нар} = 0,785(d_3^2 - d_{2нар}^2) = 0,785(0,63^2 - 0,51^2) = 0,110 \text{ м}^2. \quad (6.61)$$

6.2.2.5 Швидкість рециркуляційного газу в цьому січенні при нормальних умовах

$$\omega_{0,нар} = \frac{V_{\alpha_p}}{f_{нар}} = \frac{0,402}{0,110} = 3,66 \text{ м/сек.} \quad (6.62)$$

6.2.2.6 Еквівалентний діаметр внутрішнього кільцевого каналу з врахуванням тепловіддачі на обидві сторони каналу

$$d_{екв.нар} = \frac{4f_{нар}}{\pi(d_3 + d_{2нар})} = \frac{4 \cdot 0,110}{3,14(0,63 + 0,510)} = 0,123 \text{ м.} \quad (6.63)$$

6.2.2.7 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією до рециркулюючого газу в цьому каналі

$$\alpha_{к.р}^{нар} \approx 3,5 \frac{\omega_{0,нар}^{0,8}}{\sqrt[4]{d_{екв.нар}}} = 3,5 \frac{3,66^{0,8}}{\sqrt[4]{0,123}} = 16,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \quad (6.64)$$

6.2.2.8 Аналогічно внутрішній кільцевий переріз при  $d_{1нар} = 0,355$  м.

$$f_{вн} = 0,785(d_2^2 - d_{1нар}^2) = 0,785(0,5^2 - 0,355^2) = 0,0975 \text{ м}^2. \quad (6.65)$$

6.2.2.9 Швидкість рециркулюючого газу в цьому перерізі

$$\omega_{0,вн} = \frac{V_{\alpha_p}}{f_{вн}} = \frac{0,402}{0,0975} = 4,15 \text{ м/сек.} \quad (6.66)$$

6.2.2.10 Еквівалентний діаметр внутрішнього кільцевого каналу

$$d_{екв.вн} = \frac{4 \cdot f_{вн}}{\pi(d_2 + d_{1нар})} = \frac{4 \cdot 0,0975}{3,14(0,5 + 0,355)} = 0,145 \text{ м.} \quad (6.67)$$

6.2.2.11 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією до рециркулюючого газу в цьому каналі

$$\alpha_{к.р}^{вн} \approx 3,5 \frac{\omega_{0,вн}^{0,8}}{\sqrt[4]{d_{екв.вн}}} = 3,5 \frac{4,15^{0,8}}{\sqrt[4]{0,145}} = 17,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}). \quad (6.68)$$

6.2.2.12 Середній коефіцієнт конвективної тепловіддачі до рециркулюючого газу

$$\bar{\alpha}_{к.р} = \frac{\alpha_{к.р}^{нар} + \alpha_{к.р}^{вн}}{2} = \frac{16,7 + 17,8}{2} = 17,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}). \quad (6.69)$$

Поверхня обичайок не впливає на величину  $\bar{\alpha}_{к.р}$ , що видно з розрахунків:

$$\bar{\alpha}_{к.р} = \frac{\alpha_{к.р}^{нар} F_{нар} + \alpha_{к.р}^{вн} F_{вн}}{F_{нар} + F_{вн}} = \frac{16,7 \cdot 1,43 + 17,8 \cdot 1,07}{1,43 + 1,07} = 17,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}). \quad (6.70)$$

6.2.2.13 Поверхня обичайки, розрахована по середньому діаметру зовнішнього кола

$$F_{нар} = \pi \frac{d_3 + d_{2нар}}{2} l_T = 3,14 \frac{0,63 + 0,51}{2} 0,8 = 1,43 \text{ м}^2 \quad (6.71)$$

6.2.2.14 Поверхня обичайки, розрахована по середньому діаметру внутрішнього кола

$$F_{вн} = \pi \frac{d_2 + d_{1нар}}{2} l_T = 3,14 \frac{0,5 + 0,355}{2} 0,8 = 1,07 \text{ м}^2. \quad (6.72)$$

6.2.2.15 Приведений коефіцієнт випромінювання між обичайками топочної частини камери згорання, якщо прийняти, що вони представляють собою плоскі паралельні поверхні, при  $C_1=C_2=a'_m$ ,  $C_0 = \beta \cdot 5,7 = 4,85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ , де  $\beta$  - коефіцієнта сумішоутворення для короткополумєневих горілок;  $\beta=0,85$ ; 5.7 - степінь чорноти абсолютно чорного тіла;

$$C_{np} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_0}} = \frac{1}{\frac{2}{4,85} - \frac{1}{5,7}} = 4,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}). \quad (6.73)$$

Внаслідок ретельної ізоляції втратами тепла камерою згорання та її топочною частиною в середовище  $q_5^T$  нехтуємо.

6.2.2.16 Ефективна степінь чорноти сталеної обичайки при степені чорноти метала  $a'_m = \frac{C_1}{C_0} = \frac{4,85}{5,7} = 0,85$

$$a_m = \frac{a'_m + 1}{2} = \frac{0,85 + 1}{2} = 0,925. \quad (6.74)$$

6.2.2.17 Максимальна температура продуктів згорання в топці, яка спостерігається

$$T_{\max} = \beta T_{\text{зор}} = 0,85 \cdot 2038 = 1730 \text{ } ^\circ\text{K} (1457^\circ\text{C}). \quad (6.75)$$

6.2.2.18 Тепло розсіювання, прийняте  $1\text{ м}^2$  внутрішньої обичайки топочної частини при  $k=0,3$  і  $H_l=0,865 \text{ м}^2$ .

$$q_{\text{рас}}^c = k \frac{V_{\alpha_T}}{H_1} (c_{\text{зор}} t_{\text{зор}} - c_{\text{max}} t_{\text{max}}) = 0,3 \frac{0,078 \cdot 10^3}{0,865} (1,62 \cdot 1765 - 1,57 \cdot 1457) = 15400 \text{ Вт/м}^2. \quad (6.76)$$

6.2.2.19 Кутовий коефіцієнт внутрішньої обичайки топки на фронтову футеровку

$$\bar{\varphi}_{\text{кл}} = 0,25 \left( 1 - e^{-\frac{1,8 l_T}{d_1}} \right) \frac{d_1}{l_T} = 0,25 \left( 1 - e^{-1,8 \frac{0,8}{0,345}} \right) \frac{0,345}{0,8} = 0,106. \quad (6.77)$$

#### Камера змішування

6.2.2.20 Поперечний переріз камери змішування

$$f_{\text{см}} = 0,785 d_2^2 = 0,785 \cdot 0,5^2 = 0,196 \text{ м}^2. \quad (6.78)$$

6.2.2.21 Швидкість суміші газів при нормальних умовах

$$\omega_0 = \frac{V_{\alpha_{\text{см}}}}{f_{\text{см}}} = \frac{0,483}{0,196} = 2,44 \text{ м/сек.} \quad (6.79)$$

6.2.2.22 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від суміші газів до внутрішньої обичайки камери змішування

$$\alpha_{к.см} \approx 3,5 \frac{\omega_0^{0,8}}{\sqrt[4]{d_2}} = 3,5 \frac{2,44^{0,8}}{\sqrt[4]{0,5}} = 8,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}). \quad (6.80)$$

### 6.3 Розрахунок теплообміну в зонах печі

I зона

Потреба зони в теплі з одної сторони  $Q_I=21$  кВт. [2, с.458]

6.3.1 Ентальпія продуктів згорання на вході в обігриваючі канали від спалювання  $1 \text{ м}^3$  природного газу при  $\alpha_{ex} = 2,2$ ,  $t'_\delta = 590$  °С,  $I_{ex} = 18550$  кДж/м<sup>3</sup>.

6.3.2 Ентальпія продуктів згорання при виході з каналів

$$I_{вих} = I_{ex} - \frac{3600Q_1}{B_1} = 18550 - \frac{3600 \cdot 21}{10,8} = 11550 \text{ кДж}/\text{м}^3 \text{ палива}. \quad (6.81)$$

При коефіцієнті витрат повітря  $\alpha_{вих} = 2,45$  цій ентальпії відповідає температура газу, який виходить з каналу  $t''_\delta = 350$  °С.

6.3.3 Середня температура газів в каналах

$$\bar{t}_\delta = \frac{t'_\delta + t''_\delta}{2} = \frac{590 + 350}{2} = 470 \text{ °С} (743 \text{ °К}). \quad (6.82)$$

6.3.4 Швидкість газів при їх середній температурі

$$\omega = \omega_0 \frac{\bar{t}_\delta}{273} = 0,69 \frac{743}{273} = 1,875 \text{ м}/\text{сек}. \quad (6.83)$$

Швидкість газів в каналі при нормальних умовах  $\omega_0 = 0,69$  м/сек. [2, с.458]

6.3.5 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією в каналі до поверхні нагрівання

а) наближено

$$\alpha_{\delta,к} = 3,5 \frac{\omega_0^{0,8}}{\sqrt[4]{d_{екв}^{кан}}} = 3,5 \frac{0,69^{0,8}}{\sqrt[4]{0,09}} = 4,75 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}); \quad (6.84)$$

б) більш точно

$$\alpha_{\delta,к} = 0,00425 \frac{\lambda}{\nu} \omega \text{Pr}^{0,4} = 0,00425 \frac{530 \cdot 10^6}{69 \cdot 10^4} 1,875 \cdot 0,722^{0,4} = 5,38 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}); \quad (6.85)$$

При  $\bar{t}_\delta = 470$  °С  $\lambda = 530 \cdot 10^{-4}$  Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Приймається друге значення  $\alpha_{\delta,к} = 5,38$ .

6.3.6 Останньою формулою можна користуватися, оскільки  $Re > 10000$ :

$$Re = \frac{\omega d_{екв}^{кан}}{\nu} = \frac{1,875 \cdot 0,09 \cdot 10^6}{69} = 2450, \quad (6.86)$$

де при  $\bar{t}_d = 470 \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт кінематичної в'язкості  $\nu = 69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек.}$

6.3.7 Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні нагріву в пекарню камеру

$$Nu = C(Gr Pr)^n = 0,54 \sqrt[4]{0,72 \cdot 14,9 \cdot 10^6} = 30,6. \quad (6.87)$$

6.3.8 Критерій Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta \Delta t g (d_{екв}^{n.к})^3}{\nu^2} = \frac{30 \cdot 9,81 \cdot (0,36 \cdot 10^4)^3}{528 \cdot 42^2} = 14,9 \cdot 10^6. \quad (6.88)$$

$$\text{Коефіцієнт } \beta = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{528}.$$

6.3.9 Середня температура

$$t_m = \frac{t_n + t_{n.к}}{2} = \frac{270 + 240}{2} = 255 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (} 528 \text{ }^\circ\text{K)}, \quad (6.89)$$

де  $t_n$  - середня температура поверхні нагрівання;  $t_n = 270 \text{ }^\circ\text{C}$  (543 °K),

$t_{n.к}$  - температура в пекарній камері;  $t_{n.к} = 240 \text{ }^\circ\text{C}$  (513 °K),

6.3.10 Різниця температур

$$t = t_n - t_{n.к} = 270 - 240 = 30 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (6.90)$$

6.3.11 Еквівалентний діаметр пекарної камери з висотою  $h_{n.к} = 0,2 \text{ м}$

$$d_{екв}^{n.к} = 1,8 h_{n.к} = 1,8 \cdot 0,2 = 0,360 \text{ м}. \quad (6.91)$$

6.3.12 Конвективний коефіцієнт теплопередачі в камері

$$\alpha_{к.к} = Nu \frac{\lambda}{d_{екв}^{n.к}} = 30,6 \frac{420}{0,36 \cdot 10^4} = 3,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}). \quad (6.92)$$

При  $t_m = 255 \text{ }^\circ\text{C}$  для повітря  $\nu = 42 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек.}$  і  $\lambda = 420 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$

6.3.13 Степінь чорноти суміші при прийнятій температурі поверхні нагріву  $t_n = 250 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $523 \text{ }^\circ\text{K}$ )  $a_{\phi,n} = 0,097$  [2, с.465] і степінь чорноти газової суміші в каналі  $a_{\phi,\delta} = 0,077$  [2, с.464].

6.3.14 Розрахункова степінь чорноти газів в каналі

$$a_{\phi} = \frac{a_{\phi,\delta} (0,01\bar{T}_{\delta i})^4 - a_{\phi,n} (0,01\bar{T}_{ni})^4}{(0,01\bar{T}_{\delta i})^4 - (0,01\bar{T}_{ni})^4} =$$

$$= \frac{0,077 \cdot (0,01 \cdot 743)^4 - 0,097 (0,01 \cdot 523)^4}{(0,01 \cdot 743)^4 - (0,01 \cdot 523)^4} = 0,07. \quad (6.93)$$

6.3.15 Видимий коефіцієнт випромінювання в каналі

$$C_{\epsilon,\delta} = 5,7 a'_m a_{\phi} \frac{1 - a_{\phi} + F_c}{1 + a_{\phi} (F_c - 1)} = 5,7 \cdot 0,85 \cdot 0,071 \frac{1 - 0,071 + 1,0465}{1 + 0,071(1,0465 - 1)} = 0,68$$

Вт/(м<sup>2</sup>·град), (6.94)

де  $F_c$ - степінь розвитку кладки.

6.3.16 Температура поверхні нагрівання

$$C_{\epsilon,\delta} \left[ (0,01\bar{T}_{\delta})^4 - (0,01\bar{T}_n)^4 \right] + \alpha_{\delta,k} (\bar{t}_{\delta} - \bar{t}_n) = C_{np} \left[ (0,01\bar{T}_n)^4 - (0,01\bar{T}_{xl})^4 \right] + \alpha_{k,k} (\bar{t}_n - t_{n,k})$$

$$0,68 \left[ (0,01 \cdot 743)^4 - (0,01 \cdot \bar{T}_n)^4 \right] + 5,38 (470 - \bar{t}_n) =$$

$$= 4,25 \left[ (0,01 \cdot \bar{T}_n)^4 - (0,01 \cdot 353)^4 \right] + 3,55 (\bar{t}_n - 240), \quad (6.95)$$

де  $\bar{t}_{xl}$ - температура поверхні хліба в I зоні;  $\bar{t}_{xl} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ . ( $353 \text{ }^\circ\text{K}$ ).

Із останнього числового виразу отримуємо

$$8,93\bar{t}_n + 4,93(0,01\bar{T}_n)^4 = 6134,$$

звідки середня температура поверхні каналу в I зоні  $\bar{t}_n = 255 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $528 \text{ }^\circ\text{K}$ ) при прийнятому раніше значенні  $\bar{t}_n = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура в пекарній камері при цьому  $t_{n.к} = 240 \text{ }^\circ\text{C}$ , а середня температура поверхні хліба  $\bar{t}_{хл} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ . ( $353 \text{ }^\circ\text{K}$ ).

6.3.17 Величина теплового потоку на поверхню нагрівання

$$q_1 = C_{\epsilon, \delta} \left[ (0,01\bar{T}_\delta)^4 - (0,01\bar{T}_n)^4 \right] + \alpha_{\delta,к} (\bar{t}_\delta - \bar{t}_n) =$$

$$= 0,68 \left[ (0,01 \cdot 743)^4 - (0,01 \cdot 528)^4 \right] + 5,38(470 - 255) = 2715 \text{ Вт/м}^2. \quad (6.96)$$

6.3.18 Кількість тепла, яке передається в камеру

$Q_1 = q_1 H_1 = 2,715 \cdot 7,53 = 20,4 \text{ кВт}$  при потребі цієї зони в теплі  $21,0 \text{ кВт}$ , де  $H_1 = 7,53 \text{ м}^2$  – поверхня нагрівання з одної сторони в I зоні. В даному випадку роль конвективної тепловіддачі в сумарному значенні  $q_1$  поверхні, яка передає тепло складає  $43\%$ .

6.3.19 Якщо прийняти, що теплові втрати в навколишнє середовище не мають місця, то температура стінки каналу, яка випромінює тепло визначається

$$(0,01\bar{T}_{cm})^4 = \frac{a_\phi F_c (0,01\bar{T}_\delta)^4 + (1 - a_\phi)(0,01\bar{T}_n)^4 + \frac{\alpha_{\delta,к} F_c (\bar{t}_\delta - \bar{t}_{cm})}{C_n}}{1 + a_\phi (F_c - 1)} =$$

$$= \frac{0,071 \cdot 1,0465 (0,01 \cdot 743)^4 + (1 - 0,071)(0,01 \cdot 528)^4 + \frac{5,38 \cdot 1,0465 (470 - 310)}{4,85}}{1 + 0,071(1,0465 - 1)} = 1154$$

звідки  $\bar{T}_{cm} = 580 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $307 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ( $C_n = a_m C_o = 0,85 \cdot 5,7 = 4,85$ ). (6.97)

Рішення цього рівняння виконується методом послідовних наближень, приймають  $\bar{t}_{cm}$  до практично повного спів падання з шуканою величиною  $\bar{T}_{cm}$  (ми прийняли  $\bar{t}_{cm} = 310 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Без врахування конвективної тепловіддачі  $\bar{T}_{cm}=555 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $282 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

II зона

Потреба одного каналу в теплі  $Q_2=34,6 \text{ кВт}$ . Розрахунок ведемо аналогічно I зоні.

6.3.20 Ентальпія продуктів згорання при виході із каналів обігріву

$$I_{вих} = I_{вх} - \frac{3600Q_2}{B_2} = 18550 - \frac{3600 \cdot 34,6}{17,8} = 11550 \text{ кДж/м}^3 \text{ палива.} \quad (6.98)$$

6.3.21 Середня температура газів в каналах

$$\bar{t}_\partial = \frac{t'_\partial + t''_\partial}{2} = \frac{590 + 350}{2} = 470 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (} 743 \text{ }^\circ\text{K)}. \quad (6.99)$$

6.3.22 Швидкість газів при їх середній температурі

$$\omega = \omega_0 \frac{\bar{t}_\partial}{273} = 1,14 \frac{743}{273} = 3,10 \text{ м/сек.} \quad (6.100)$$

Швидкість газів в каналі при нормальних умовах  $\omega_0 = 1,140 \text{ м/сек}$ .

[2, с.458].

6.3.23 Критерій Рейнольда

$$\text{Re} = \frac{\omega d_{екв}^{кан}}{\nu} = \frac{3,10 \cdot 0,09 \cdot 10^6}{69} = 4050, \quad (6.101)$$

де при  $\bar{t}_\partial = 470 \text{ }^\circ\text{C}$  коефіцієнт кінематичної в'язкості  $\nu = 69 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$ .

6.3.24 Так як турбулізація потоку в каналі забезпечується ребрами, то для визначення  $\alpha_{\partial,к}$  використовується приведена вище формула, в якій змінилась лише швидкість газового потоку порівняно з каналами в I зоні, в яких  $\alpha_{\partial,к} = 5,38 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$ ; при  $\omega = 1,875 \text{ м/сек}$ . в каналі, що розглядається

$$\alpha_{\partial,к} = \alpha_{\partial,к1} \frac{\omega}{\omega_1} = 5,38 \frac{3,10}{1,875} = 8,90 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. \quad (6.102)$$

При прийнятих  $\bar{t}_n=270$  °С і  $t_{n.к} = 240$  °С середній конвективний коефіцієнт тепловіддачі в камеру від поверхонь верхнього і нижнього каналів  $\alpha_{к.к} = 3,55$  Вт/(м<sup>2</sup>·град) (див. І зону). Аналогічно попередньому розрахунку маємо  $a_\phi = 0,071$  і  $C_{\epsilon,\delta} = 0,68$  Вт/(м<sup>2</sup>·град<sup>4</sup>).

6.3.25 Рівняння теплопередачі каналу, що розглядається, при підстановці отриманих значень і середньої температури поверхні хліба  $\bar{t}_{хл} = 125$  °С (398 °К) отримує вигляд

$$C_{\epsilon,\delta} \left[ (0,01\bar{T}_\delta)^4 - (0,01\bar{T}_n)^4 \right] + \alpha_{\delta,к} (\bar{t}_\delta - \bar{t}_n) = C_{np} \left[ (0,01\bar{T}_n)^4 - (0,01\bar{T}_{хл})^4 \right] + \alpha_{к,к} (\bar{t}_n - t_{n.к}) \quad (6.103)$$

Підставляємо в формулу числові значення

$$\begin{aligned} & 0,68 \left[ (0,01 \cdot 743)^4 - (0,01 \cdot \bar{T}_n)^4 \right] + 8,9(470 - \bar{t}_n) = \\ & = 4,25 \left[ (0,01 \cdot \bar{T}_n)^4 - (0,01 \cdot 398)^4 \right] + 3,55(\bar{t}_n - 240), \end{aligned}$$

де температура поверхні нагріву  $\bar{t}_n = 280$  °С (553 °К) при прийнятій  $\bar{t}_n = 270$  °С.

6.3.26 Величина теплового потоку

$$\begin{aligned} q_2 &= C_{\epsilon,\delta} \left[ (0,01\bar{T}_\delta)^4 - (0,01\bar{T}_n)^4 \right] + \alpha_{\delta,к} (\bar{t}_\delta - \bar{t}_n) = \\ &= 0,68 \left[ (0,01 \cdot 743)^4 - (0,01 \cdot 553)^4 \right] + 8,90(470 - 280) = 3135 \text{ Вт/м}^2. \quad (6.104) \end{aligned}$$

6.3.27 При поверхні нагріву цього каналу  $H_2 = 10,20$  м<sup>2</sup> тепло, яке передане в камеру

$Q_2 = q_2 H_2 = 3,135 \cdot 10,20 = 32,0$  кВт при потребі цієї зони в теплі 34,6 кВт.

6.3.28 Температура випромінюючої стінки каналу

$$(0,01\bar{T}_{cm})^4 = \frac{a_\phi F_c (0,01\bar{T}_\delta)^4 + (1 - a_\phi) (0,01\bar{T}_n)^4 + \frac{\alpha_{\delta,к} F_c (\bar{t}_\delta - \bar{t}_{cm})}{C_n}}{1 + a_\phi (F_c - 1)} =$$

$$= \frac{0,071 \cdot 1,0465(0,01 \cdot 743)^4 + (1 - 0,071)(0,01 \cdot 553)^4 + \frac{8,9 \cdot 1,0465(470 - 335)}{4,85}}{1 + 0,071(1,0465 - 1)} = 1365,$$

де  $\bar{T}_{cm} = 608 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $335 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Без врахування конвективної тепловіддачі до випромінюючої стінки каналу температура її була б  $\bar{T}_{cm} = 575 \text{ }^\circ\text{K}$  ( $302 \text{ }^\circ\text{C}$ ). (6.105)

III зона

Потреба в теплі з кожної сторони складає 17,7 кВт.

6.3.29 Ентальпія продуктів згорання при виході із каналів обігріву

$$I_{вих} = I_{вх} - \frac{3600Q_3}{B_3} = 18550 - \frac{3600 \cdot 17,7}{9,10} = 11550 \text{ кДж/м}^3 \text{ палива. (6.106)}$$

Цій ентальпії відповідає температура газу, який виходить із каналів обігріву  $t''_g = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ .

6.3.30 Середня температура в каналах (як в I і II зонах)  $t_g = 470 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $743 \text{ }^\circ\text{K}$ ).

6.3.31 Швидкість газів при їх середній температурі

$$\omega = \omega_0 \frac{\bar{t}_g}{273} = 0,583 \frac{743}{273} = 1,585 \text{ м/сек. (6.107)}$$

Швидкість газів в каналі при нормальних умовах  $\omega_0 = 0,583 \text{ м/сек}$ .

[2, с.458].

6.3.32 Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією

$$\alpha_{d,k} = \alpha_{d,k1} \frac{\omega}{\omega_1} = 5,38 \frac{1,585}{1,875} = 4,55 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}. (6.108)$$

6.3.33 Критерій Нусельта

$$Nu = C \sqrt[3]{Gr Pr} = 0,135 \sqrt[3]{67,5 \cdot 10^6} = 55 (6.109)$$

6.3.34 Середня температура

$$t_m = \frac{t_n + t_{n,k}}{2} = \frac{270 + 240}{2} = 255 \text{ }^\circ\text{C} (528 \text{ }^\circ\text{K}), (6.110)$$

де  $t_n$  - середня температура гріючої поверхні;  $t_n = 270 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $543 \text{ }^\circ\text{K}$ ),

$t_{n,k}$  - температура в пекарній камері;  $t_{n,k} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $433 \text{ }^\circ\text{K}$ ).

### 6.3.35 Різниця температур

$$t = t_n - t_{n,k} = 270 - 160 = 110^\circ\text{C}. \quad (6.111)$$

### 6.3.36 Критерій Грасгофа

$$Gr = \frac{\beta \rho g (d_{екв}^{n,k})^3}{\nu^3} = \frac{110 \cdot 9,81 \cdot (0,36 \cdot 10^4)^3}{488 \cdot 37^2} = 93,5 \cdot 10^6. \quad (6.112)$$

$$\text{Коефіцієнт } \beta = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{488}.$$

При  $t_m = 215^\circ\text{C}$  для повітря  $\nu = 37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек.}$  і  $\lambda = 390 \cdot 10^{-4} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град.})$ .

При добутку критеріїв

$$GrPr = 93,5 \cdot 0,722 \cdot 10^6 = 67,5 \cdot 10^6, C = 0,135 \text{ і } n = 0,33.$$

### 6.3.37 Конвективний коефіцієнт теплопередачі в камері

$$\alpha_{к.к} = Nu \frac{\lambda}{d_{екв}^{n,k}} = 55 \frac{390}{0,36 \cdot 10^4} = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град.}) \quad (6.113)$$

### 6.3.38 При середній температурі поверхні хліба в III зоні $\bar{t}_{xl} = 145^\circ\text{C}$ (418

$^\circ\text{K}$ ) рівняння теплопередачі

$$C_{\epsilon,\delta} \left[ (0,01\bar{T}_\delta)^4 - (0,01\bar{T}_n)^4 \right] + \alpha_{\delta,k} (\bar{t}_\delta - \bar{t}_n) = C_{np} \left[ (0,01\bar{T}_n)^4 - (0,01\bar{T}_{xl})^4 \right] + \alpha_{к.к} (\bar{t}_n - t_{n,k})$$

$$\begin{aligned} & 0,68 \left[ (0,01 \cdot 743)^4 - (0,01 \cdot \bar{T}_n)^4 \right] + 4,55 (470 - \bar{t}_n) = \\ & = 4,25 \left[ (0,01 \cdot \bar{T}_n)^4 - (0,01 \cdot 418)^4 \right] + 6 (\bar{t}_n - 160), \end{aligned} \quad (6.114)$$

де  $\bar{t}_n = 252^\circ\text{C}$  (525  $^\circ\text{K}$ )

$C_{\epsilon,\delta} = 0,68 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}^4)$  – коефіцієнт випромінювання.

### 6.3.39 Тепловий потік

$$\begin{aligned} q_3 &= C_{\epsilon,\delta} \left[ (0,01\bar{T}_\delta)^4 - (0,01\bar{T}_n)^4 \right] + \alpha_{\delta,k} (\bar{t}_\delta - \bar{t}_n) = \\ &= 0,68 \left[ (0,01 \cdot 743)^4 - (0,01 \cdot 525)^4 \right] + 4,55 (470 - 252) = 2570 \text{ Вт}/\text{м}^2. \end{aligned} \quad (6.115)$$

6.3.40 При поверхні нагріву цього каналу  $H_3 = 7,7 \text{ м}^2$  тепло, яке передане в камеру

$$Q_3 = q_3 H_3 = 2,57 \cdot 7,7 = 19,75 \text{ кВт при потребі цієї зони в теплі } 17,7 \text{ кВт.}$$

6.3.41 Температура стінки каналу, яка випромінює тепло

$$\begin{aligned} (0,01\bar{T}_{cm})^4 &= \frac{a_\phi F_c (0,01\bar{T}_d)^4 + (1 - a_\phi)(0,01\bar{T}_n)^4 + \frac{\alpha_{d,k} F_c (\bar{t}_d - \bar{t}_{cm})}{C_n}}{1 + a_\phi (F_c - 1)} = \\ &= \frac{0,071 \cdot 1,0465 (0,01 \cdot 743)^4 + (1 - 0,071)(0,01 \cdot 525)^4 + \frac{4,55 \cdot 1,0465 (470 - 335)}{4,85}}{1 + 0,071(1,0465 - 1)} = 1375, \end{aligned} \quad (6.116)$$

де  $\bar{T}_{cm} = 608 \text{ °K (335 °C)}$

$a_\phi = 0,071$  – степінь чорноти газу.

Таблиця 1 Показники роботи печі

Зона по ходу сітчастого конвейєра	Поверхня нагрівання $H_i$ в $\text{м}^2$	Тепло яке віддане в зоні		Швидкість газової суміші в зоні $W_o$ в $\text{м/сек}$
		$Q_i$ в $\text{кВт}$	$a_i$ в $\%$	
I	7,53	21,0	14,3	0,69
II	10,2	34,6	23,6	1,14
III	7,7	17,7	12,1	0,583
Всього з печі	50,86	146,6	100,0	-

Таблиця 2 Результати розрахунку теплообміну

Зона по ходу сітчастого конвейєра	Температура в $^{\circ}\text{C}$					Потреба в теплі $Q_i$ в $\text{кВт}$	Передається тепла в $\text{кВт}$ $Q'_i$
	поверхні хліба $t_{xl}$	в камер $t_{n,k}$	поверхні нагрівання $t_n$	газів, що виходять $t''_d$	випромінюючих поверхонь в каналі $t_c$		
I	80	240	255	350	307	42,0	40,8
II	125	240	280	350	335	69,2	64

III	145	160	252	350	335	35,4	39,5
Всього						146,6	144,3
						100 %	98,5 %

## 7 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПЕЧІ ПХС - 25

Проаналізувавши патенти № SU 1168176 А та №1391562 А2 ми дійшли висновку щодо модернізації печі ПХС-25.

Метою модернізації є заощадження енергоресурсів при випіканні шляхом більш повного використання тепла газів, які виходять в атмосферу. Суть модернізації: в систему рециркуляції теплоносія можна включити додатковий вентилятор для видалення теплоносія з передостанньої секції печі по ходу руху конвеєра, а нагрівальні канали останньої секції розташувати між нагнітаючими патрубками додаткового вентилятора та димарем.

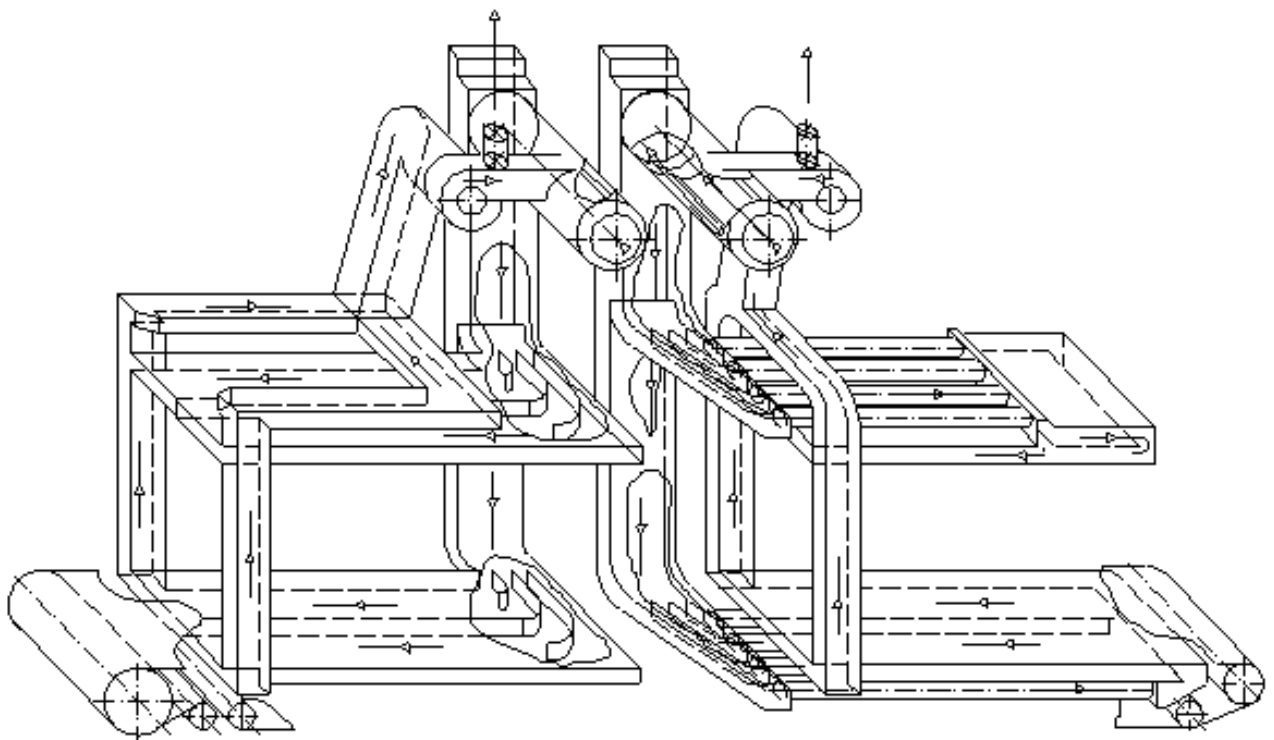


Рисунок 7.1 - Газовий контур до модернізації

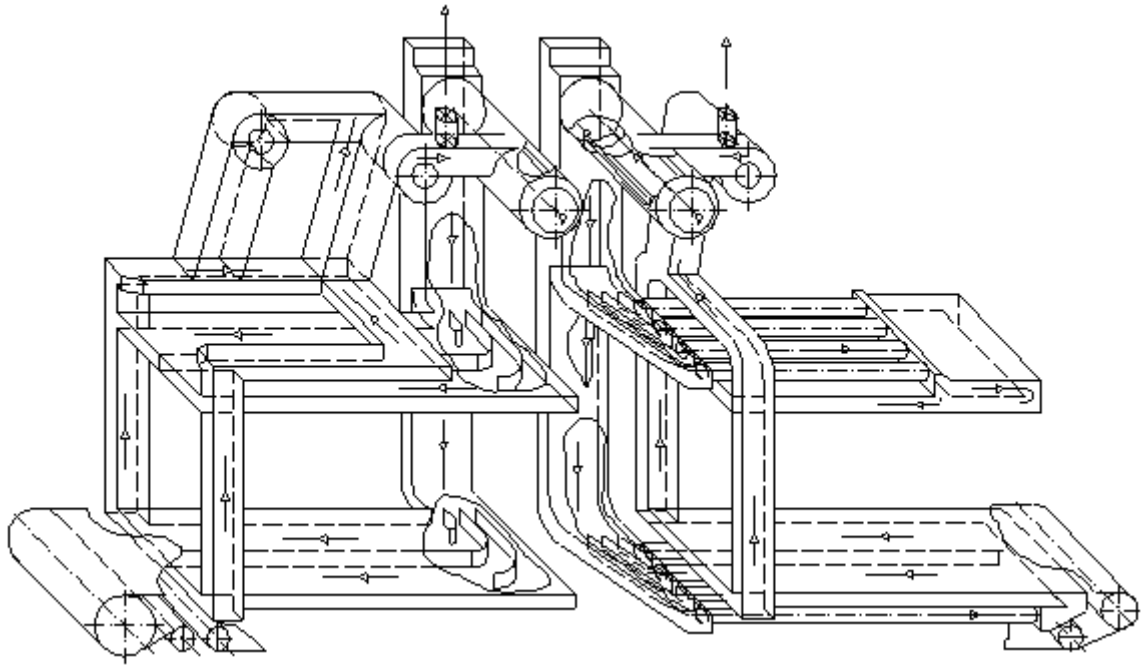


Рисунок 7.2 - Газовий контур після модернізації

На рис. 7.3 приведена аеродинамічна схема відцентрового вентилятора серії Ц4-70, призначеного для переміщення малозапиленого і що не містить волоконних домішок повітря. При обертанні робочого колеса вентилятора 1 повітря з міжлопаточного простору відцентровою силою відкидається в кожух 2, виконаний з розворотом по архимедовій спіралі. В результаті на вході в робоче колесо створюється розрідження, а в кожусі - підвищений тиск. Внаслідок розрідження повітря підходить до патрубку 4 вентилятора всмоктується і через зазори між лопатками викидається під дією відцентрової сили в кожух, звідки виходить через вихлопний отвір 3. Коефіцієнт корисної дії вентилятор Ц4-70 досягає 0,8.

Відцентрові вентилятори виготовляють правого і лівого обертання. У вентиляторів правого обертання робоче колесо обертається за годинниковою стрілкою по ходу розвороту спіралі кожуха, якщо дивитися з боку приводу, а у вентиляторів лівого обертання - проти годинникової стрілки.

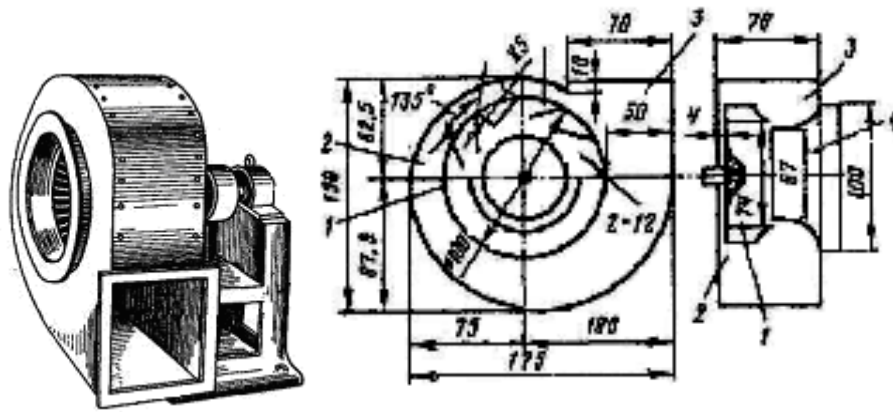


Рисунок 7.3 – Схема відцентрового вентилятора марки Ц4-70

Відцентрові вентилятори розрізняють по напрямку вихлопного отвору кожуха, що визначає так звану фігуру вентилятора. Розмір вентилятора визначається його номером - діаметром робочого колеса по зовнішній кромці лопаток, вираженим в дециметрах. Типи вентиляторів визначаються їх аеродинамічними схемами. Вентилятори, виконані по одній аеродинамічній схемі і одного конструктивного виконання, але різних номерів складають серію. Аеродинамічна характеристика вентилятора обумовлюється в першу чергу конструкцією його робочого колеса. Робоче колесо може мати лопатки, заломлені вперед, назад або радіальні. Для пневмотранспортних установок, призначених для переміщення волоконних матеріалів, застосовують пилові вентилятори, конструкція яких виключає забивання колеса тим, що транспортуються. Тому такі колеса мають невелике число лопаток, як правило, радіальної форми. В даний час як збудник руху повітря для пневмотранспорта на підприємствах широко використовують відцентрові пилові вентилятори ЦП-6-46 № 5, 6, 8; ЦП-7-40 № 5, 6, 8; ЦТ-6-28 № 6. Буква Ц означає відцентровий вентилятор, буква П - пиловий. Перша цифра відповідає безрозмірному коефіцієнту повного тиску, помноженому на 10 і заокругленому до одиниці, останні дві цифри - швидкості вентилятора.

#### 7.1 Розрахунок сітчастого конвеєра

Конвеєр із сітчастим настилом для печі ПХС – 25

Вихідні дані:

- довжина конвеєра  $L=12$  м;
- ширина конвеєра  $B=2,1$  м;
- продуктивність  $P=648$  шт/год;
- розміри хліба  $l \times b = 220 \times 220$  мм;

– маса однієї хлібини  $m_o = 1$  кг.

В печі ПХС – 25 використовується шарнірно - ланкова дротяна стрічка, яка витримує температуру до 1000 °С, має високу міцність і мале видовження, рівну міцність як на стиках, так і в будь-якому перерізі, можуть охоплювати барабани малого діаметра. Виходячи із таких характеристик такі стрічки з успіхом застосовуються як рухомий черінь для випічки хліба і кондитерських виробів.

Маса сітки на 1 кг хліба  $m_{c,x} = 1,11$  кг.

Крок рядів  $p_e = a + e = 30 + 220 = 250$  мм

де  $a$  – крок між виробами; (п.5.2).

$e$  – розмір виробу. (п.5.2).

5.1.1 Довжина сітки, яка завантажена хлібом

$$L_x = p_b \cdot N + l_e = 250 \cdot 48 + 220 = 12220 \text{ мм}, \quad (7.1)$$

де  $N$  – кількість рядів виробів на черіні; (п.5.2).

5.1.2 Кількість хліба, який знаходиться одночасно на робочій частині конвеєра

$$Z_x = N \cdot n = 48 \cdot 9 = 432 \text{ шт}, \quad (7.2)$$

де  $n$  – кількість виробів в ряду; (п.5.2).

5.1.3 Кількість рядів хліба на довжині 1 м сітчастого настилу

$$Z_{px} = \frac{1000}{l_e + 30} = \frac{1000}{220 + 30} = 4 \text{ ряди}. \quad (7.3)$$

7.1.4 Маса хліба, яка припадає на 1 м довжини настилу

$$m = m_x \cdot Z_{px} \cdot n, \quad (7.4)$$

де  $n$  – кількість хлібин в одному ряду,  $n = 9$  шт.

$$m = 1 \cdot 4 \cdot 9 = 36 \text{ кг}.$$

7.1.5. Лінійні навантаження

7.1.5.1 Від шарнірно – ланкової дротяної стрічки

$$q_c = m \cdot m_{cx} = 36 \cdot 1,11 = 39,96 \text{ кг/м} = 392 \text{ Н/м}. \quad (7.5)$$

7.1.5.2 Від обертових частин роликкоопор

Відповідно до рекомендацій [5, с.110, табл. 4.4 і 4.5] прийняті роликкоопори з діаметром  $d_p = 108$  мм і кроком верхніх роликкоопор  $P_{p,e} = 1,3$ . Тоді крок нижніх роликкоопор буде

$$p_{p.n} = (2...2,5)p_{p.e} = (2...2,5) \cdot 1,3 = 2,6...3,25 \text{ м}, \quad (7.6)$$

прийнято  $p_{p.n} = 3,0 \text{ м}$ .

Лінійні навантаження на робочій сітці  $q_{p.e} = 1325 \text{ Н/м}$ , на холостій -  $q_{p.n} = 525 \text{ Н/м}$  [5, с.132, табл. 4.13].

#### 7.1.5.3 Від маси вантажу

$$q_e = \frac{m_g \cdot n \cdot g}{p_e} = \frac{1 \cdot 9 \cdot 9,81}{0,25} = 353,16 \text{ Н/м}. \quad (7.7)$$

### 7.2 Лінійні навантаження від рухомих частин конвеєра

#### 7.2.1 На робочій вітці

$$q_p = q_c + q_{p.e} = 392 + 1325 = 1717 \text{ Н/м}. \quad (7.8)$$

#### 7.2.2 На холостій вітці

$$q_x = q_c + q_{p.n} = 392 + 525 = 917 \text{ Н/м}. \quad (7.9)$$

#### 7.2.3 Сила мінімального натягу тягового органу

$$F_{\min} = K_{ck} (0,8...1,2)(q_e + q_p), \quad (7.10)$$

де  $K_{ck}$  - коефіцієнт складності траси конвеєра,  $K_{ck} = 5$  [5, с.134].

$$F_{\min} = 5 \cdot 1 \cdot (353,16 + 1717) = 10351 \text{ Н}.$$

### 7.3 Тяговий розрахунок конвеєра

#### 7.3.1 Діаметр ведучого барабана $D_{\sigma} = 700 \text{ мм}$ (паспорт печі).

#### 7.3.2 Вибір коефіцієнтів опору руху

Кочення на роликкоопорах з підшипниками кочення при великих умовах  $C = 0,045$ ; коефіцієнти натягу на криволінійних ділянках, при куті охоплення  $\alpha < 90^\circ$   $K_1 = 1,04$ ; при куті охоплення  $\alpha < 180^\circ$   $K_2 = 1,06$  [5, с.131].

#### 7.3.3 Зусилля в характерних точках траси конвеєра

$$F_1 = F_{\min} = 10351 \text{ Н}; \quad (7.11)$$

$$F_2 = F_1 \cdot K_1 = 10351 \cdot 1,04 = 10765 \text{ Н}; \quad (7.12)$$

$$F_3 = F_2 \cdot K_1 = 10765 \cdot 1,04 = 11196 \text{ Н}; \quad (7.13)$$

$$F_4 = F_3 + q_x c L_1 = 11196 + 917 \cdot 0,045 \cdot 12 = 11691 \text{ Н}; \quad (7.14)$$

$$F_5 = F_4 \cdot K_1 = 11691 \cdot 1,04 = 12159 \text{ Н}; \quad (7.15)$$

$$F_6 = F_5 \cdot K_2 = 12159 \cdot 1,06 = 12888 \text{ Н}; \quad (7.16)$$

$$F_7 = F_6 + (q_p + q_e)cL = 12888 + (1717 + 353)0,5 \cdot 13,66 = 14161 \text{ Н}. \quad (7.17)$$

#### 5.3.4 Розрахункова потужність двигуна

$$P_p = \frac{K_3 \cdot F_t \cdot v}{1000 \cdot \eta}, \quad (7.18)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу зчеплення стрічки з барабаном,  $K_3 = 1,5$  [5, с.115];

$v$  – швидкість конвеєра, м/с;

$$v = \frac{\Pi \cdot p_e}{3600 \cdot n},$$

де  $\Pi$  – продуктивність,  $\Pi = 648$  шт/год;

$n$  – кількість хлібин в ряду,  $n = 9$  шт.;

$p_e$  – крок вантажних позицій,  $p_e = 0,25$  м.

$$v = \frac{648 \cdot 0,25}{3600 \cdot 9} = 0,005 \text{ м/с}. \quad (7.19)$$

#### 7.3.5 Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \eta_{л.н}^n \cdot \eta_p, \quad (7.20)$$

де  $\eta_{л.н}$  – коефіцієнт корисної дії ланцюгової передачі,  $\eta_{л.н} = 0,95$

[6, с.127, табл.5.1];

$\eta_p$  – коефіцієнт корисної дії черв'ячної передачі,  $\eta_p = 0,7$  [6, с.127, табл.5.1];

$n$  – кількість передач,  $n = 2$ .

$$\eta = 0,95^2 \cdot 0,7 = 0,63.$$

7.3.6 Тягове (колове) зусилля, яке може передати приводний барабан без врахування втрат на самому барабані із-за жорсткості стрічки

$$F_t = F_{зб} (e^{f\alpha} - 1), \quad (7.21)$$

де  $F_{зб} = F_1 = 10351$  Н – зусилля в точці збігання стрічки з приводного барабана.

$f$  – коефіцієнт тертя (зчеплення) стрічки з поверхнею барабана,  $f = 0,2$  [5, с.115, табл.4.6];

$\alpha$  – кут охоплення привідного барабана,  $\alpha = 180^\circ$ .

$$F_t = 10351 \cdot (e^{0,3\pi} - 1) = 16582 \text{ Н}.$$

### 7.3.7 Перевірка тягової здатності привідного барабана

$$\frac{F_{н.б}}{F_{зб}} \leq e^{f\alpha} \Rightarrow \frac{F_7}{F_1} = \frac{14161}{10851} = 1,368, \text{ а } e^{0,3\pi} = 1,874, \quad (7.22)$$

тобто умова виконується.

$$P_p = \frac{1,5 \cdot 16582 \cdot 0,005}{1000 \cdot 0,63} = 0,197 \text{ кВт.}$$

За цією потужністю вибрано двигун 4A71B8Y3, з номінальною потужністю  $P_n = 0,25$  кВт, частота обертання вала електродвигуна  $n_e = 680 \text{ хв}^{-1}$  коефіцієнт пускового моменту  $K_n = 1,6$ , маховий момент  $T_m = 0,0185 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ .

### 7.3.8 Перевірка двигуна по пусковій потужності

$$P = P_p + P_m + P_n \leq [P_n], \quad (7.23)$$

де  $P_m$  - потужність для компенсації махового моменту першого вала привода

$$P_m = \frac{0,126 \cdot T_m \cdot n_e^2}{9550}; \quad (7.24)$$

$P_n$  - потужність для компенсації інерції ходових частин конвеєра

$$P_n = \frac{(L_n q_x + L_6 q_6) \cdot V^2}{9810}, \quad (7.25)$$

де  $L_n$  - довжина периметра;

$$L_n = 13,66 + 0,6 + 12 + 0,4 + 0,8 = 27,46 \text{ м (розміри дільниць, див. рис. 8.1).}$$

$$P_m = \frac{0,126 \cdot 0,0185 \cdot 680^2}{9550} = 0,113 \text{ кВт;}$$

$$P_n = \frac{(27,46 \cdot 910 + 13,66 \cdot 353,16) \cdot 0,005^2}{9810} = 0,00008 \text{ кВт;}$$

Отже, пускова потужність буде

$$P = 0,197 + 0,126 + 0,00008 = 0,31 \text{ кВт} > [P_n] = 0,25 \text{ кВт.}$$

Так як умова не виконується, то необхідно вибрати двигун більшої потужності. Остаточо вибрано двигун 4A80A8Y3 номінальної потужності

$P_n = 0,37 \text{ кВт}$ , частотою обертання вала  $n_e = 1365 \text{ хв}^{-1}$  [5, с.299, табл. III 3.1];

### 7.3.9 Частота обертання ведучого барабана конвеєра

$$n_g = \frac{60000 \cdot v}{\pi \cdot D_g}, \quad (7.26)$$

де  $D_g$  - діаметр привідного барабана;

$$n_g = \frac{60000 \cdot 0,005}{\pi \cdot 700} = 0,136.$$

7.3.10 Загальне передаточне число

$$U_o = \frac{n_e}{n_g} = \frac{1365}{0,136} = 10038. \quad (7.27)$$

7.3.11 Комплектування привідної станції

Для реалізації цього передаточного числа залишаємо існуючий привод, який складається з блок – варіатора 11РАХ-02-190х6х30 і двох ланцюгових передач, замінивши лише двигун меншої потужності.

7.4 Розрахунок осі роликоопори

7.4.1 Вихідні дані:  $l = 2,04$  м,  $l_k = 0,3$  м

Розподілена сила, яка прикладена по твірній роликоопори.

$$q_p = \frac{0,02466148 \cdot \delta(108 - 6)}{l} = \frac{0,02466148 \cdot 6(108 - 6)}{2,04} = 67 \text{ Н/м,}$$

$$q = 392 + 353 + 67 = 1037 \text{ Н/м.}$$

7.4.2 Визначення опорних реакцій

$$\sum M_A = ql \left( \frac{l}{2} + l_k \right) - F_B (2l_k + l) = 0$$

$$F_B = \frac{ql(l + 2l_k)}{2(2l_k + l)} = \frac{ql}{2} = \frac{1037 \cdot 2,04}{2} = 1057,74$$

Система зовнішніх сил, які прикладені до роликоопори симетрична, тому

$$F_A = F_B = 1057,74 \text{ Н.}$$

$$\text{Перевірка: } \sum Y = F_A - ql + F_B = 1057,74 - 1037 \cdot 2,04 + 1057,74 = 0$$

Отже, реакції виконано вірно.

7.4.3 Моменти згину в перерізах роликоопори

$$M_1 = F_A \cdot l_k = 1057,74 \cdot 0,3 = 317,322 \text{ Н/м}$$

$$M_2 = F_A z_2 - q(z_2 - l_k) \frac{(z_2 - l_k)}{2} = F_A z_2 - q \frac{(z_2 - l_k)^2}{2} - \text{рівняння параболи і для її}$$

побудови необхідно три точки. Біжуча координата  $z_2$ , буде мінятись при

$$l_k \leq z_2 \leq (l + l_k).$$

$$\text{При } z_2 = l_k \quad M_{2,1} = 1057,74 \cdot 0,3 = 317,322 \text{ Н/м}$$

$$\begin{aligned} \text{При } z_2 = \left(\frac{l}{2} + l_k\right) \quad M_{2,2} &= F_A \left(\frac{l}{2} + l_k\right) - q \frac{\left(\frac{l}{2} + l_k - l_k\right)^2}{2} = \\ &= 1057,74 \cdot 0,5(2,04 + 0,3) - 1037 \cdot 0,5 \cdot 1,02^2 = 698,108 \text{ Н/м} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } z_2 = (l + l_k) \quad M_{2,3} &= F_A (l + l_k) - q \frac{(l + l_k - l_k)^2}{2} = \\ &= 1057,74 \cdot 2,34 - 1037 \cdot 0,5 \cdot 2,04^2 = 317,322 \text{ Н/м.} \end{aligned}$$

#### 7.4.4 Дійсні напруження згину в матеріалі корпусу роликоопори

$$\delta = \frac{M}{W} \leq [\delta], \quad (7.28)$$

де  $M$  – максимальний момент згину,  $M = 698108 \text{ Н/мм.}$ (див. п.11.3)

$W$  – момент опору кільцевого перерізу.

$$W = \frac{\pi d^2 \cdot \rho}{4}. \quad (7.29)$$

$$\text{Отже, } \sigma = \frac{4M}{\pi D^2 \delta} = \frac{4 \cdot 698108}{\pi \cdot 108^2 \cdot 6} = 12,7 \text{ мПа} < [\sigma]. \quad (7.30)$$

Очевидно можна взяти трубу з меншою товщиною стінки, але виходячи з технології виготовлення (зварювання) роликоопори залишаємо трубу  $\frac{108 \times 6 \text{ ГОСТ } 8732 - 70}{Б10 \text{ ГОСТ } 8731 - 74}$ .

#### 7.4.5 Деталі осі роликоопори

Для виготовлення осі застосуємо сталь 35 з границею міцності  $\sigma_s = 540 \text{ мПа}$ , границею текучості  $\sigma_T = 320 \text{ мПа}$ , твердість за Брінеллем НВ 140...187 одиниць. [7, с.105, табл. 5].

##### 7.4.5.1 Допустимі напруження згину

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F\text{lim}}}{S_F}, \quad (7.31)$$

де  $\sigma_{F\text{lim}}$  - границя витривалості на згин, мПа;

$S_F$  - коефіцієнт безпеки, прийнято  $S_F = 1,7$ ;

$$\sigma_{F\text{lim}} = HB + 260 = 140 + 260 = 400 \text{ мПа}$$

$$[\sigma_F] = \frac{400}{1,7} = 235,3 \text{ мПа.}$$

Із умови міцності на згин діаметр осі буде

$$d_o = \sqrt[3]{\frac{M}{0,1 \cdot [\sigma_F]}}, \quad (7.32)$$

де  $M$ - момент згину в перерізі кріплення осі;

$$d_o = \sqrt[3]{\frac{317322}{0,1 \cdot 235,3}} = 23,8 \text{ мм.}$$

Прийнято  $d_o = 24$  мм.

Посадочний діаметр під підшипник  $d_n = 20$  мм. Прийнято підшипник радіальний шариковий середньої серії з зовнішнім діаметром  $D = 52$  мм, ширина  $B = 15$  мм. [7, табл. 2].

Загальний вигляд печі після модернізації зображений на листі 7, газовий контур після модернізації – на 8, модернізація відцентровий вентилятор – на листі 9, ролюкоопора – на листі 10.

## 8 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному розділі дипломної роботи буде проведений розрахунок доцільності модернізації печі ПХС – 25.

Розрахунок кошторису на нову розробку

Кошторис на нову розробку може передбачати такі основні витрати:

8.1 Основна заробітна плата розробників (дослідників):

$$Z_o = \frac{M}{T_p} t \text{ грн.}, \quad (8.1)$$

де  $M$ - місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; приблизно від 21 до 23 днів;

$t$  – число днів роботи розробника (дослідника).

Таблиця 8.1 - Основна заробітна плата розробників (дослідників)

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
1. Керівник проекту	11600	153,33	30	12086,95
2. Інженер	11500	150	30	11956,52
3. М.н.с	11400	146,6	30	11826,08
Всього				35869,55

8.2 Основна заробітна плата робітників  $Z_p$ , що виконують роботи за робочими професіями:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \cdot K_c \text{ грн.}; \quad (8.2)$$

де  $n$ - число робіт за видами та розрядами;

$t$  – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, год.;

$K_c$  – коефіцієнт співвідношень, який установлений Генеральною тарифною угодою між урядом та профспілками,  $K_c$  = від 1 до 5;

$C_i$  – погодинна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу, яка визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}} = \frac{1524 \cdot 1,69}{23 \cdot 8} = 35,58 \text{ грн.}, \quad (8.3)$$

де  $M_m$  – мінімальна місячна оплата праці, грн.;

$K_i$  – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; приблизно від 21 до 23;

$T_{зм}$  – тривалість зміни, зазвичай 8 годин.

Таблиця 8.2 - Основна заробітна плата робітників

Найменування робіт	Трудовісткість, н.- годин	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Слюсарні	8	3	35,58	446,4
2. Зварювальні	8	3	35,58	446,4
Всього				892,8

8.3 Додаткова заробітна плата  $Z_d$  всіх робітників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення. Розраховується як 10...12% від основної заробітної плати всіх розробників та робітників:

$$Z_d = (Z_o + Z_p) \cdot 10\% = (15869,55 + 892,8) \cdot 10\% = 1676,23 \text{ грн.} \quad (8.4)$$

8.4 Нарахування на заробітну плату  $H_{zn}$  розробників та робітників, які приймали участь в розробці нового технічного рішення. Розраховується як 37,2... 40% від суми основної та додаткової заробітної плати всіх розробників та робітників:

$$C_{cnp} = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot 38\% = (5869,55 + 892,8 + 676,23) \cdot 0,38 = 12826,66 \text{ грн.} \quad (8.5)$$

8.5 Амортизація обладнання, яке використовувалось для розробки нового технічного рішення:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} = \frac{100000 \cdot 0,15}{100} \cdot \frac{228}{12} = 12850 \text{ грн.}, \quad (8.6)$$

де  $Ц$  – балансова вартість обладнання, грн.;

$H_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань, % (від 15 до 25% в квартал);

$T$  – термін використання обладнання, місяців.

8.6 Витрати на матеріали, що були використані на розробку нового технічного рішення:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot C_e, \quad (8.7)$$

де  $n$  – кількість видів матеріалів;

$H_i$  – витрати матеріалу  $i$ - го найменування, кг;

$C_i$  – вартість матеріалу  $i$ - го найменування, грн/кг;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат (від 1,1 до 1,15);

$B_i$  – маса відходів матеріалу  $i$ - го найменування, кг;

$C_e$  – ціна відходів матеріалу  $i$ - го найменування грн/кг.

Таблиця 8.3 - Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн. (за одиницю)	Витрачено, кг (одиниць)	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн./кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
1. х/к 1,2 мм ст.08КП	4,5	15,96	12,54	56,76	172,24
2. кутник 32x32x3	4,21	3,27	-	-	113,76
3. гайка М6	0,05	16	-	-	10,80

Продовження таблиці 8.3

4. болт М6	0,15	16	-	-	12,4
5. шайба гроверна	0,04	16	-	-	10,64
Всього					389,84

8.7 Витрати на комплектуючі  $K$ , що були використані на розробку нового технічного рішення:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (8.8)$$

де  $n$  – кількість видів комплектуючих;

$H_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;

$C_i$  – покупна ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн.;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат (від 1,1 до 1,15).

Таблиця 8.4 - Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість	Ціна за штуку, грн..	Транспортні витрати	Сума, грн..
1. муфта	1	80	1,1	188
2. відцентровий вентилятор	1	700	1,1	1770
3.електродвигун	1	550	1,1	3605
Всього				4463

8.8 Витрати на силову енергію  $B_e$ :

$$B_e = B \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n = 7,99 \cdot 12 \cdot 21 \cdot 0,8 = 154,43 \text{ ,грн.}, \quad (8.9)$$

де  $B$  – вартість однієї кіловат - години електроенергії;

$P$  – установлена потужність обладнання, кВт;  $P= 12$  кВт;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин;  $\Phi = 21$  година;

$K_n$  – коефіцієнт використання потужності,  $K_n < 1$ .

8.9 Інші витрати

$$I_g = (3o + 3d) \frac{200\%}{100} = (5869,55 + 892,8 + 676,23) \frac{200\%}{100} = 14877,16 \text{ грн.} \quad (8.10)$$

8.10 Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на розробку нового технічного рішення:

$$B = Z_o + Z_p + Z_d + C_{стр} + A + M + K + B_e + B_i = \quad (8.11)$$
$$= 5869,55 + 892,8 + 676,23 + 2826,66 + 2850 + 89,84 + 1463 + 54,43 + 14877,16 = 129599,6$$

7грн.

## ВИСНОВОК

Розрахунок теплового балансу печі дає нам можливість зробити наступні висновки:

1. При постійній температурі продуктів згорання, при вході в канали печі температура газів залишається постійною;
2. Температура поверхні нагрівання в I зоні в середньому є 255 °С , в II і III відповідно 280 °С і 252 °С;
3. Температура випромінювання стінками каналу в I зоні складає 307 °С, а II і III зони - 335 °С;
4. Викид відпрацьованої газової суміші в атмосферу з температурою 125...130 °С приводить до витрати енергоносіїв.

На основі вище викладеного прийшли до висновку, що ці викиди необхідно направляти в топочну камеру для підігріву горючої суміші, в результаті чого відбувається заощадження енергоресурсів.

## ЛІТЕРАТУРА

- 1) Дробот В.І. Довідник з технології хлібопекарського виробництва. – К.: Руслана, 1998. – 416 с.
- 2) Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств. А.А. Михелев, Н.М. Ицкович. Изд.2-е, перераб. и доп. - М.: “Пищевая промышленность”1968 г. – 487 с.

- 3) Маклюков И.И., Маклюков В.И. Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983 г. – 272 с.
- 4) Машины и аппараты пищевых производств. Антипов С.Т., Кретов И.Т., Остриков А.Н.; Под ред. акад. РАСХН Панфилова В.А.. – М.: Высш. шк., 2001. – 680 с.
- 5) Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: Учеб.пособие для машиностроительных вузов. – 3- е изд., перераб. – М.: Машиностроение. 1983. – 487с.
- 6) Справочник по расчетам механизмов подъемно – транспортных машин. Кузьмин А.В., Марон Ф.Л. Минск, “Высшая школа”, 1983. – 349с.
- 7) Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроителя: В 3- х т. – 5- е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978.



