

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ  
ЗАМОРОЖУВАНИХ СОРТІВ ХЛІБА**

Шифр роботи: «РОЗУМНИЙ ХЛІБ»

## АНОТАЦІЯ

В науковій роботі під шифром «Розумний хліб» досліджується проблематика енергоефективного виробництва заморожуваних сортів хліба для територій з техногенним навантаженням.

Метою науково-дослідної роботи є розробка цифрової платформи технологічних процесів виробництва ремісничого хліба на базі інтелектуальних систем керування процесами заморожування.

Актуальність роботи полягає у пошуку та розробці теоретичних основ проектування смарт-продуктів харчування підприємств з виробництва хліба з холодильними установками, в яких готова продукція проходить стадію автоматизації замороження з метою одержання продуктів харчування з профілактично-лікувальними властивостями.

В науково-дослідній роботі вирішено наступні задачі:

- досліджено теоретичні основи адаптивних систем керування виробництва хлібопродуктів;
- розроблено цифрову платформу керування виробництвом розумних хлібопродуктів з інтелектуальною системою керування стадіями охолодження та заморожування ремісничого хліба.
- розглянуто сучасні системи заморожування хлібопродуктів;
- спроектовано інтелектуальну систему управління виробництва заморожених сортів хліба.

Методи досліджень – аналіз адаптивних моделей процесів виробництва ремісничого хліба в умовах оптимізації процесів заморожування..

Наукова робота включає: 30 с., 7 рис., 5 табл., 58 літературних джерел.

ХЛІБ РЕМІСНИЧИЙ , ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ, НЕЧІТКІ МНОЖИНИ, ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ, СИСТЕМА, КЕРУВАННЯ, ХЛІБОЗАВОД.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Розвиток систем керування виробництвом хліба для регіонів з техногенним тиском.....	6
1.1. Інноваційні технології та обладнання заморожених продуктів з тіста і хліба.....	6
1.2. Концепції RADEMAKER для виробництва заморожуваних продуктів.....	7
2. Холодильні технології та холодильне обладнання для виробництва заморожуваних продуктів харчування	11
2.1. Визначення загального напрямку розвитку заморожуваних продуктів харчування.....	11
2.2. Холодильне обладнання в системі виробництва заморожуваних продуктів здорового харчування .....	11 2.3
Ідентифікація холодильного технологічного обладнання	15
3. Інтелектуальна система керування виробництвом ремісничого хліба.....	27
3.1 Автоматизовані системи керування технологічними лініями з виробництва харчових продуктів	27 3.2
Адаптивні системи керування процесами виробництва ремісничого хліба.....	Висновки.....
	30
Список використаної літератури.....	31
Додаток А.....	37

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку якості життя українського народу пов'язаний з періодом короно вірусних пандемій та вирішення проблеми здорового харчування населення. Розробка системи «розумного» харчування для воїнів ЗСУ, гірників, металургів та людей, що мешкають на територіях з високим рівнем забруднення в умовах ймовірних захворювань на Ковід-19 вимагає інноваційних рішень щодо розробки технологій, обладнання та систем автоматизованого керування і робото технічного виробництва продуктів збалансованого харчування. Цю проблему потрібно вирішувати за рахунок впровадження високих технологій з використанням безлюдних технологій, та робототехнологічних комплексів, а також з використанням новітніх біотехнологій та інформаційних технологій. В криворізькому мегаполісі Придніпровського регіону є ряд промислових зон з високим рівнем техногенного забруднення. Вчені Оксфордського університету вважають, що на забруднених територіях люди захворюють на 10-15% частіше ніж на екологічно чистих. Тому проблему харчування населення криворізького мегаполісу необхідно розглядати з екологічними факторами та їх впливу на здоров'я дітей, студентів, робітників підприємств гірничо-металургійного кластеру, які працюють та мешкають на забруднених територіях. Особливу увагу необхідно звернути на категорію працівників підприємств з підземним виробництвом залізної руди. На таких підприємствах робітники працюють на глибинах більше 1300м з низьким рівнем якості повітря та високою вологістю гірничих виробок.

Дослідження показують, що в якості одного з інгредієнтів збагачувальної добавки виробів з хліба можна використовувати м'ясо птиці або яловичу печінку, що дозволяє збільшити поживну цінність готового продукту і підвищити вміст вітаміну А

Огляд літературних джерел показав, що допустимий обсяг добавок в тісто для виробництва якісних виробів не достатнє з точки зору розробки інноваційних продуктів харчування, а повинно поєднуватись з розробкою новітнього обладнання, автоматизованого виробництва продукції на базі автоматизованого комплексу. У процесі вивчення проблеми – роботизації та автоматизації виробництва хлібобулочних виробів встановлено наступне: технологічна лінія з виробництва замороженої продукції представляє складну технологічну систему, яка включає стадії підготовки сировини- виробництва замісу- тіста- приготування м'ясних додатків їх диспергування- виготовлення хліба та процесу охолодження, попереднього заморожування та стадії заморожування..

Сучасний стан теорії і практики виробництва хлібобулочних виробів показує, що технологічні процеси та обладнання не відповідають вимогам до виробництва

продукції з високим рівнем автоматизації та роботизації. Тому технологічні процеси повинні бути модернізовані для прискорення впровадження автоматизованих систем керування та робототехнологічних комплексів

Незважаючи на широке впровадження інноваційного обладнання хлібопекарень, інтелектуалізації виробничих процесів виробництва хлібобулочних виробів, на наш погляд, не достатньо вивченими є питання енергоефективності цих процесів, управління виробництвом продукції з мінімізацією енергозатрат, та розробки алгоритмів керування інтелектуальними системами заморожування хліба. Це пояснюється, зокрема, відсутністю надійних проектних рішень щодо розробки технологічного обладнання з високим рівнем енергоефективності. Аналіз публікацій вітчизняних вчених Ауєрмана Л.Я., Злобіна Б.М. Гончаренко Б.М., Д.А., Соколова, А.В., Лисовенко А.Т., Мирончука В.Г., Шаруди С.С., Гавриша Т.В. та ін. [1,2,4,5,6,7,8,10,11,12,14,15,16,] свідчить про недостатньо розглянуті питання комп'ютерного моделювання процесу заморожування хліба за критерієм мінімізації енергозатрат в технологічній системі: дозування-опара-тісто-випікання-заморожування. Викладене вище зумовлює актуальність обраної теми досліджень, спрямованої на розробку алгоритму цифрового керування процесом заморожування хлібобулочних виробів за критерієм мінімізації питомих енергозатрат.

**Мета і задачі дослідження:** Метою науково-дослідної роботи є розробка цифрової платформи технологічних процесів виробництва ремісничого хліба на базі інтелектуальних систем керування процесами заморожування.

Актуальність роботи полягає у пошуку та розробці теоретичних основ проектування смарт-продуктів харчування підприємств з виробництва хліба з холодильними установками, в яких готова продукція проходить стадію автоматизації замороження з метою одержання продуктів харчування з профілактично-лікувальними властивостями.

В науково-дослідній роботі вирішено наступні задачі:

- запропоновано технологію виробництва замороженого продукту харчування;

- розроблено цифрову платформу керування виробництвом розумних хлібопродуктів з інтелектуальною системою керування стадіями охолодження та заморожування ремісничого хліба.
- розглянуто сучасні системи заморожування хлібопродуктів;
- спроектовано інтелектуальну систему управління виробництвом заморожених сортів хліба.

**Об'єкт дослідження** – виробничі процеси та процеси автоматизованого заморожування хлібобулочних виробів з лікувально-профілактичними властивостями для регіонів з техногенним навантаженням.

**Предмет дослідження** – параметри холодильного обладнання з інтелектуальними цифровими системами комп'ютерного керування.

**Методи дослідження** – базуються на теоретичному та експериментальному визначенні робочих характеристик системи опара-тісто-випікання та контролю параметрів процесів заморожування

**Новизна та практична цінність роботи:** розроблено теоретичні основи заморожування хлібопродуктів на основі цифрових моделей виробництва хліба з холодильними установками, в яких готова продукція проходить стадію автоматизації охолодження та замороження з метою одержання продуктів харчування з профілактично-лікувальними властивостями.

За матеріалами наукової роботи опубліковано **дві** статті та тези в матеріалах міжнародної конференції

## Розділ 1

### Розвиток систем керування виробництвом хліба для регіонів з техногенним тиском

#### 1.1 Технології та обладнання заморожуваних продуктів з тіста і хліба

В Україні за останні п'ять років почали впроваджуватись міні-пекарні з високим рівнем автоматизації, де з'являються нові магазини з власними міні-пекарнями, де команди кваліфікованих пекарів постійно випікають свіжий хліб.

Переваги централізованого виробництва заморожуваних продуктів з тіста і хліба з частковою випічкою:

- Програма в роздрібних точках: отримання свіжого ароматного продукту за 10 – 20 хвилин;
- Можливість постійно мати великий асортимент продукції в морозильнику магазину;
- Для покупців – свіжий гарячий якісний продукт на полиці магазину;
- Поділ виробництва і точок продажів може мати сильний позитивний економічний ефект – на центральному виробництві ефективніше і безпечніше забезпечити необхідне тривалий час для виробництва якісного хліба при нижчій собівартості рецептури;
- Відсутність відходів;
- Зниження витрат на кваліфікований персонал в магазинах;
- Немає необхідності мати спеціальне обладнання в роздрібних точках для повного циклу виробництва борошняних виробів;
- Супермаркети – забезпечуються власними пекарнями або пекарнями-партнерами.

Все залежить від того, де ви знаходитесь в Україні, але всюди хліб і випічку люблять, коли вони свіжоспечені!



Після фінального замісу, тісто подається в чашу для розстоювання або на конвеєри для вистоювання.

При промисловому автоматичному виробництві тісто може вистоюватись і бродити протягом контрольованого періоду, який може бути на протязі до декількох годин. В ході цього процесу знову з'являється багато аромату і бульбашок повітря, що забезпечує дуже повітряний хліб з відкритою структурою м'якушки. Це важлива особливість ремісничого хліба. Завдяки даним тривалим ферментаційним процесам борошно отримує можливість поглинати якомога більше води, що продовжує свіжість і м'якість.

З метою розробки проектних рішень автори наукової роботи провели дослідження існуючого технологічного обладнання [3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,17,18], технологій з виробництва хліба, методів побудови систем керування [1,16,21,22,24,27,28] та методів сучасного цифрового керування виробництвом заморожуваних сортів хліба [29,30,32,34]. Цей аналіз дозволив зробити висновок про необхідність розробки цифрової платформи «ІЖА» та технології виробництва ремісничого хліба й розробки систем адаптивного керування технологічним процесом. **Цифрова платформа** складається з програмних продуктів (ПП) та програмного забезпечення, Інтернет технологій, інформаційної системи забезпечення виробництва заморожуваних сортів хліба з м'ясними додатками та інтелектуальних систем керування процесами планування, управління бізнес-процесами та логістики. Така цифрова платформа є складовою системи інтелектуального керування виробництвом заморожуваних сортів хліба та його постачання в магазини за допомогою Інтернет-речей. Крім цього ЦИФРОВА ПЛАТФОРМА, оцінюючи запити споживачів продукції визначає їх нутрієнтні характеристики та технологію виробництва безпечних продуктів харчування. Цифрова платформа виконує оцінку якості продукції та окремих стадій автоматизованого виробництва:

1. Процес закінчення часу готовності тіста й хліба оцінювали за допомогою методів ультразвукового контролю [20], обробляли опару та тісто за допомогою ультразвукових робототехнологічних інтенсифікаторів. [32,34].

2. Наступним кроком в процесі виробництва ремісничого хліба є процес диспергування в тісто м'ясних продуктів. Готові тістові заготовки розміщують на дошки, які направляються на кілька годин в камеру для вистоювання при різних температурах. Відмінності в температурі сприяють появі дуже хрусткої скоринки, що сприяє отриманню якості і виду ремісничого хліба.

3. Наступний етап виробництва після випікання – це охолодження та заморожування. Випечений хліб охолоджують при температурі навколишнього середовища до  $+30-35^{\circ}\text{C}$ . Потім продукти переносять в шоківий морозильник, щоб якомога швидше остудити їх до критичної температури  $-7^{\circ}\text{C}$ . При цій температурі старіння хліба сповільнюється якнайкраще. Коли температура хліба становить близько  $-16 / -20^{\circ}\text{C}$ , він автоматично підраховується, упаковується і далі зберігається при  $-20^{\circ}\text{C}$ . З метою проектування системи автоматизованого керування виробництвом ремісничого хліба з цифровою платформою «ІЖА» та створення адаптивних систем керування (САК) нами детально вивчені джерела [6-13,14,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,37] та побудована база знань оптимізації технологічних процесів виробництва хліба.

## Розділ 2

### Холодильні технології та холодильне обладнання для заморожування продукції харчування

#### 2.1. Визначення загального напрямку розвитку заморожуваних продуктів харчування

Заморожування - це зниження температури продукту нижче його криоскопічної температури. Для кожного продукту температура заморожування та характер процесу заморожування специфічні, тому продукт вважається замороженим, якщо температура в глибині продукту досягла  $-8^{\circ}\text{C}$ ».

На сучасному рівні заморожування є основним засобом консервування харчових продуктів, що швидко псуються. Харчові продукти заморожуються з метою підготовки їх до тривалого зберігання. Заморожування здійснюється в повітрі та рідких середовищах. Під час заморожування харчових продуктів значна частина вологи, яка міститься в продукті, перетворюється в лід. При цьому знижуються органолептичні показники продукту, але при правильній організації процесу заморожування, зниження якості продукту може бути зведено до мінімуму.

#### 2.2 Холодильне обладнання в системі виробництва заморожуваних продуктів здорового харчування.

Обладнання призначене для заморожування харчових продуктів, виконують у вигляді камер та морозильних апаратів. На рис.2.1 наведено схему такого апарату. В якості охолоджуючого середовища використовують повітря, яке охолоджують за допомогою парокомпресійних та повітряних холодильних машин.

Холодильне обладнання камер заморожування складається з камерних охолоджуючих пристроїв: батарей та повітроохолоджувачів. В залежності від організації руху повітря камери заморожування виконують з примусовим та природним рухом повітря. Камери з примусовим рухом повітря обладнують повітроохолоджувачами, а інколи й батареями в сукупності з різними системами повітророзподілу, а камери з природним рухом повітря – пристінними, стелевими або міжрядними радіаційними батареями.

В залежності від організації технологічного процесу камери заморожування можуть бути камерами одно- та двофазного заморожування.

В камерах однофазного заморожування попередньо заморожують теплий хліб, а двофазного – хліб чи тісто до  $-20$  грд. С. Повітряні морозильні апарати на

сьогодні являються найбільш поширеними. Заморожування продуктів в повітрі дозволяє зберегти їх високі смакові та поживні властивості, а також гарний товарний вигляд.

Повітря – природне і досить інертне середовище. Його можна використовувати для холодильної обробки будь-яких продуктів у широкому інтервалі значень температур, швидкості руху та типу. Ці позитивні якості повітря зумовлюють універсальність його застосування і простоту конструкції повітряних морозильних апаратів. Недоліками повітря є низька здатність до акумулювання теплоти та схильність до поглинання вологи.

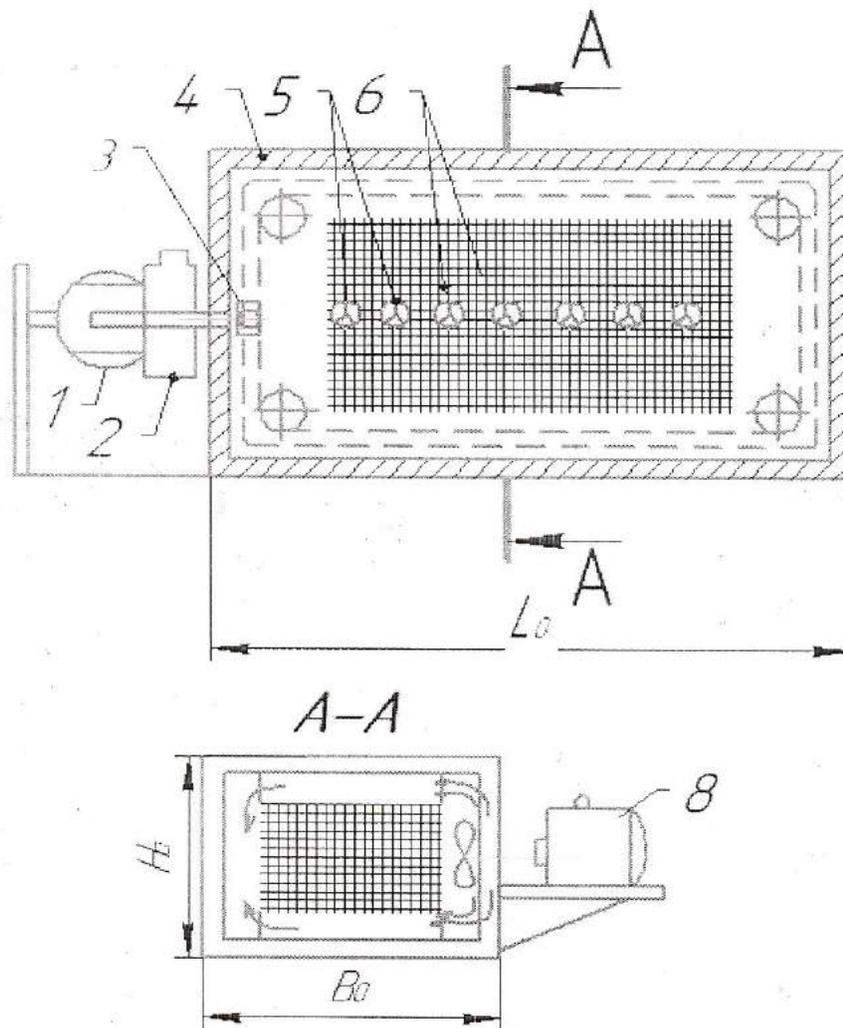


Рисунок 2.1. Принципова схема повітряного конвеєрного морозильного апарата.

1 – вузол завантаження й розвантаження; 2 – паровий ящик (скриня); 3 – блок-форма; 4 – ізолюваний контур апарата; 5 – осьові вентилятори; 6 – оребрені секції повітроохолоджувача; 7 – вантажний конвеєр; 8 – електродвигун.

Повітряні морозильні апарати складаються з вантажного відсіку та відсіку повітроохолоджувачів. В вантажному відсіку застосовують тунельну систему розподілу повітря. В вантажному відсіку знаходиться продукт, що заморожується,

який пересувається різноманітними транспортними засобами, в відсіках повітроохолоджувачів розташовують секції, які призначені для охолодження повітря, системи подачі повітря (вентиляторна установка) та піддон для збору талої води, який обігривається. В розробленій системі адаптивного керування процесом охолодження та стадійного заморожування ремісничого хліба автори наукової роботи запропонували інтелектуальну систему керування конвєсного морозильного апарату, в якій в якості критерія оцінки оптимальності використано питомі затрати електроенергії на створення температури заморожування  $-20^{\circ}\text{C}$  [35]. З метою проектування такої системи автоматизованого керування необхідно провести ідентифікацію параметрів та робочих характеристик конвєсного морозильного апарату.

### 2.3. Ідентифікація холодильного технологічного обладнання

Відповідно до прийнятої схеми апарату попереднє охолодження продуктів до криоскопічної температури і подальше їх заморожування здійснюються в одному апараті. Виходячи з особливостей технологічних процесів, вважаємо, що в апараті є зони попереднього охолодження, заморожування і вирівнювання температури продукту [21, 22].

Прийнято, що в зоні попереднього охолодження продукт охолоджується до середньої температури, що дорівнює криоскопічній.

Питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в криоморозильном апараті, визначають за формулою:

$$q_3 = q_{31} + q_{32}, \text{кДж/кг}$$

де:  $q_{31}$  - питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні попереднього охолодження;

$q_{32}$  - питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні заморожування, визначають за рівнянням.

Питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні попереднього охолодження,  $q_{31}$  знаходиться по формулі:

$$q_{31} = c_0 (t_1 + t_{кр}), \text{кДж/кг}$$

де:  $c_0$  - питома теплоємність охолодженого продукту, Дж/(кг К);

$t_1, t_{кр}$  - початкова і криоскопічна температура,  $^{\circ}\text{C}$ .

Питома кількість теплоти, що відводиться від 1 кг продукту в зоні заморожування,  $q_{32}$  визначають за рівнянням:

$$q_{32} = L \sum W_i w_i' K_i + c_3 (t_{кр} + t_2), \text{ кДж/кг}$$

де:  $L$  - питома теплота льодоутворення, Дж/кг ( $L = 335200$  Дж/кг);

$w_i'$  - частка вимороженої вологи в м'ясі;  $K_i$  - частка м'яса в продукті;

$c_3$  - питома теплоємність замороженого продукту, Дж/(кг·К);

$t_{кр}, t_2$  - криоскопічна кінцева температури, °С;

$W_i$  - кількість води в кілограмі продукту, кг.

Для м'яса частка наповнювача (м'яса)  $K_1 = 0,5$  та тіста  $K_2 = 0,5$ . Кількість що міститься в кожному з цих складових продуктів води  $W_1 = 0,75$  и  $W_2 = 0,45$ . Частка вимороженої вологи  $w_1' = w_2' = 0,8$ .

При середній температурі тепловідводного середовища в процесі заморожування  $t_c = -10^\circ\text{C}$  питома теплоємність продукту.

Теплоприток від продукту при заморожуванні визначають за рівняннями:

$$Q_2 = G^l \cdot q_3, \text{ кДж}$$

де  $q_3$  - питома кількість теплоти, що відводиться от 1 кг продукта, Дж/кг;

$G^l$  - продуктивність апарату, кг/с.

або

$$Q_2 = G^l \cdot [c_0 \cdot (t_1 - t_{кр}) + L \cdot W \cdot w + c_3 \cdot (t_{кр} - t_2)], \text{ Дж}$$

де  $c_0, c_3$  - питомі теплоємності продукту, відповідно,

охолодженого і замороженого, Дж/кг · К;

$t_1, t_2, t_{кр}$  - температури продукту, відповідно, початку, наприкінці процесу заморожування, а також в період льодоутворення, °С;

$W$  - відносний вміст води в продукті, частки одиниці;

$w$  - відносна кількість вимороженої води, частки одиниці.

Питома теплоприток можна також визначати, як різниця ентальпій продукту на початку і в кінці процесу заморожування.

Питому холодопродуктивність рідкого азоту  $q_{N_2}$  складається з питомої теплоти його пароутворення і теплоти нагрівання пара від сухого насиченого до перегрітого, при  $t_{yx} = -30^\circ\text{C}$  визначають за рівнянням:

$$q_{N_2} = r + c_{N_2}(t_{yx} - t_0), \text{ кДж/кг}$$

де  $t_{yx}, t_0$  – температури, що минає і киплячого азоту, °С.

$r$  – питома теплота пароутворення рідкого азоту, Дж/кг (при  $t_0 = -196^\circ\text{C}$ ,  $r = 197600$  Дж/кг);

$c_{N_2}$  – питома теплоємність газоподібного азоту (при середній температурі  $t_c$  і атмосферному тиску  $P = 10^5$  Па, Дж/кг·К.

Витрата рідкого азоту

$$G_{N_2} = Q_2 / q_{N_2}, \text{ кг/с}$$

Питома витрата рідкого азоту на 1 кг заморожуючого продукту

$$q_{N_2} = G_{N_2} / G^I, \text{ кг/кг}$$

Об'ємна витрата газоподібного азоту

$$V_{N_{2yx}} = G_{N_2} \cdot v_{yx}, \text{ м}^3$$

де  $v_{yx}$  – питомий об'єм, що минає з апарату газоподібного азоту при температурі  $t_{yx}$  і атмосферному тиску  $P = 10^5$  Па, м<sup>3</sup>/кг.

При відсутності рециркуляції азоту (в зоні попереднього охолодження апарату) необхідне для циркуляції потоку живий перетин  $f_m$ , що забезпечує задану швидкість руху газоподібного азоту в апараті, знаходять із залежності

$$f_m = V_{N_{2yx}} / w, \text{ м}^2$$

де  $w$  – швидкість руху газоподібного азоту в зоні охолодження.

Ширину стрічки конвеєра кріоморозильного апарату  $B_d$  приймаємо рівною 0,6 м. При питомому навантаженні продукту  $g_f = 8$  кг/м<sup>2</sup> порозність шару складе:

$$\varepsilon = 1 - g_f / \delta \gamma$$

де  $\gamma$  – щільність продукту;

$g_f$  – питома навантаження продукту ( $g_f = 8$  кг/м<sup>2</sup>);

$\delta$  – товщина продукту.

Тоді живий перетин для проходу газоподібного азоту в шарі продукту

$$f_{mc} = B_d \varepsilon \delta, \text{ м}^2$$

Необхідна висота каналу від стрічки до верхньої твірної огорожі апарату

$$H_k^I = \delta + (f_m - f_{mc}) / B_d, \text{ м}$$

Дійсне живий перетин каналу

$$f_{жл} = B_k H_k^l - f_{жс}, \text{ м}^2$$

Теплове навантаження зони попереднього охолодження кріоморозильного апарату

$$Q_0 = G' q_{зл}, \text{ кДж}$$

Температуру газоподібного азоту, що надходить в зону попереднього охолодження, визначають з теплового балансу

$$t_x = t_{yx} - Q_0 / G_{N_2} c_p, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тривалість охолодження продуктів в зоні попереднього охолодження кріоморозильного апарату складається з двох періодів: перший - до регулярного режиму і другий - регулярний режим:

$$\tau_1 = \tau_n + \tau_p, \text{ с}$$

$\tau_n$  - тривалість охолодження першого періоду, с;

$\tau_p$  - тривалість охолодження другого періоду, с.

Тривалість охолодження першого періоду  $\tau_n$  знаходять із залежності, аналогічної залежності:

$$\tau_n = \frac{F_0 \cdot R_v^2}{a_p},$$

де

$F_0$  - число Фурьє,  $F_0 = 0,04$ ;  $R_v$  - еквівалентна товщина продукту, м;

$a_n$  - температуропровідність продукту,  $a_n = 11,3 \cdot 10^{-6}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Еквівалентну товщину продукту визначають за рівнянням

$$R_v = v_n / F_n, \text{ м}$$

де  $v_n$  - обсяг продукту,  $\text{м}^3$ .

Якщо прийняти, що хліб має ферму прямокутного бруса, то  $v_n = l_n b_n \delta_n$ , тут  $l_n b_n \delta_n$  - довжина, ширина и товщина продукту (табл. П.5).[25]

Площа поверхні продукту

$$F_n = 2 (l_n b_n + b_n \delta_n + l_n \delta_n), \text{ м}^2$$

Тривалість охолодження продукту в другому періоді знаходять із залежності

$$\tau_p = \frac{\ln \left( \frac{\bar{t} - t_{cl}}{t_{kp} - t_{cl}} \right)}{m}, \text{с}$$

Середню температуру хліба до моменту початку другого періоду (регулярного режиму) визначають за формулою

$$\bar{t}_1 = \bar{\theta} (t_l - t_c) + t_n, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Теплоприток при холодильній обробці продукту в зоні заморожування знаходять із залежності:

$$Q''_2 = G' q_{32}, \text{ Вт.}$$

Питома кількість теплоти, яка сприймається азотом, визначають за формулою

$$q''_{N_2} = c''_p (t_x - t_{x1}),$$

де  $c''_p$  - питома теплоємність (при середній температурі газоподібного

азоту, що дорівнює  $t_{cp} = (t_x - t_{x1})/2$ ), Дж/кг К;

$t_x$  - температуру газоподібного азоту, що надходить в зону попереднього охолодження,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{x1}$  - температуру газоподібного азоту на виході із зони попереднього охолодження,  $^\circ\text{C}$ .

Температура газоподібного азоту на виході із зони попереднього охолодження визначають із залежності:

$$t_{x1} = t_0 + 10, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Масове кількість газоподібного азоту, що циркулює в зоні заморожування,

$$G''_{N_2} = Q''_2 / q''_{N_2}, \text{ кг/с}$$

Масове кількість рециркулює в зоні заморожування азот

$$G_{\text{рец.}} = G''_{N_2} - G_{N_2}, \text{ кг/с}$$

де  $G_{N_2}$  - витрата рідкого азоту, кг/с.

Кратність циркуляції азоту в зоні заморожування

$$n_a = G''_{N_2} / G_{N_2}$$

Швидкість руху газоподібного азоту в зоні заморожування  $w = 10$  м/с. Цю швидкість можна отримати при живому перетині каналу, рівному

$$f_{ж2} = G_{N_2}^{II} / \nu w, \text{м}^2$$

де  $\nu$  - щільність азоту при температурі  $t_{cp}$ , кг/м<sup>3</sup>.

З урахуванням заповнення каналу апарату продуктом

$$f_{ж2}^I = f_{ж2} - f_{ж}, \text{м}^2$$

де  $f_{ж}$  - живий перетин для проходу газоподібного азоту в шарі мясопродуктів, м<sup>2</sup>

Тривалість заморожування в зоні заморожування апарату визначають за формулою:

$$\tau = \frac{q_3 \cdot \rho_{\pi}}{t_{кр} - t_{cp}} \delta \left( R \frac{\delta}{\lambda_3} + P \frac{1}{\alpha} \right), \text{с}$$

де  $t_{cp}$  — температура тепловідводної середовища, °С;

$R$  и  $P$  — допоміжні коефіцієнти, що залежать від форми співвідношення розмірів заморожувачого продукту

Коефіцієнт тепловіддачі від продукту до газоподібного азоту в зоні заморожування ( $\alpha_2$ ) знаходять по залежностям, аналогічним залежностям для зони попереднього охолодження.

Загальна тривалість заморожування хліба

$$\tau_3 = \tau_1 + \tau_2$$

Приймаємо, що зона вирівнювання температури апарату конструктивно виконана без примусової циркуляції газоподібного азоту (природна конвекція). Тривалість перебування продукту в цій зоні така ж, як і в зоні попереднього охолодження,  $\tau_1 = \tau_2$ . Таким чином, в процесі ідентифікації визначені параметри оптимізації процесу заморожування та параметри керування продуктивністю апарату та температурними режимами зон заморожування [35.36] Ця інформаційна база знань одержаних в першому та другому розділах наукової роботи, дозволяє перейти до проектування автоматизованого керування виробництвом ремісничого хліба та технологіями охолодження й заморожування тіста та хліба.

## Розділ 3

### Інтелектуальна система керування виробництвом ремісничого хліба

#### 3.1 Автоматизовані системи керування технологічними лініями з виробництва харчових продуктів

Сучасні цифрові системи багаторівневого керування виробництва «розумних продуктів» харчування для гірників, школярів та воїнів ЗСУ побудовані по об'єктивному принципу: кожен рівень АСКТЛ відповідає деякому рівню технологічного об'єкта керування (ТОК), а кожному елементу керування АСКТЛ- один або декілько елементів ТОК відповідного рівня. Такий підхід значно підвищує надійність систем управління процесами виробництва продукції харчування та зменшує інтенсивність мережевих обмінів, тому що ведення/виведення інформації та її оброблення максимально локалізуються. Аналіз необхідних характеристик виробництва продукції потрібно розпочати з аналізу структури об'єкта керування та інформаційних характеристик його дільниць. В світі сучасних інформаційних технологій неможливо уявити собі сучасне виробництво без SCADA і MES-систем, робототехнічних комплексів та інтелектуальних систем.

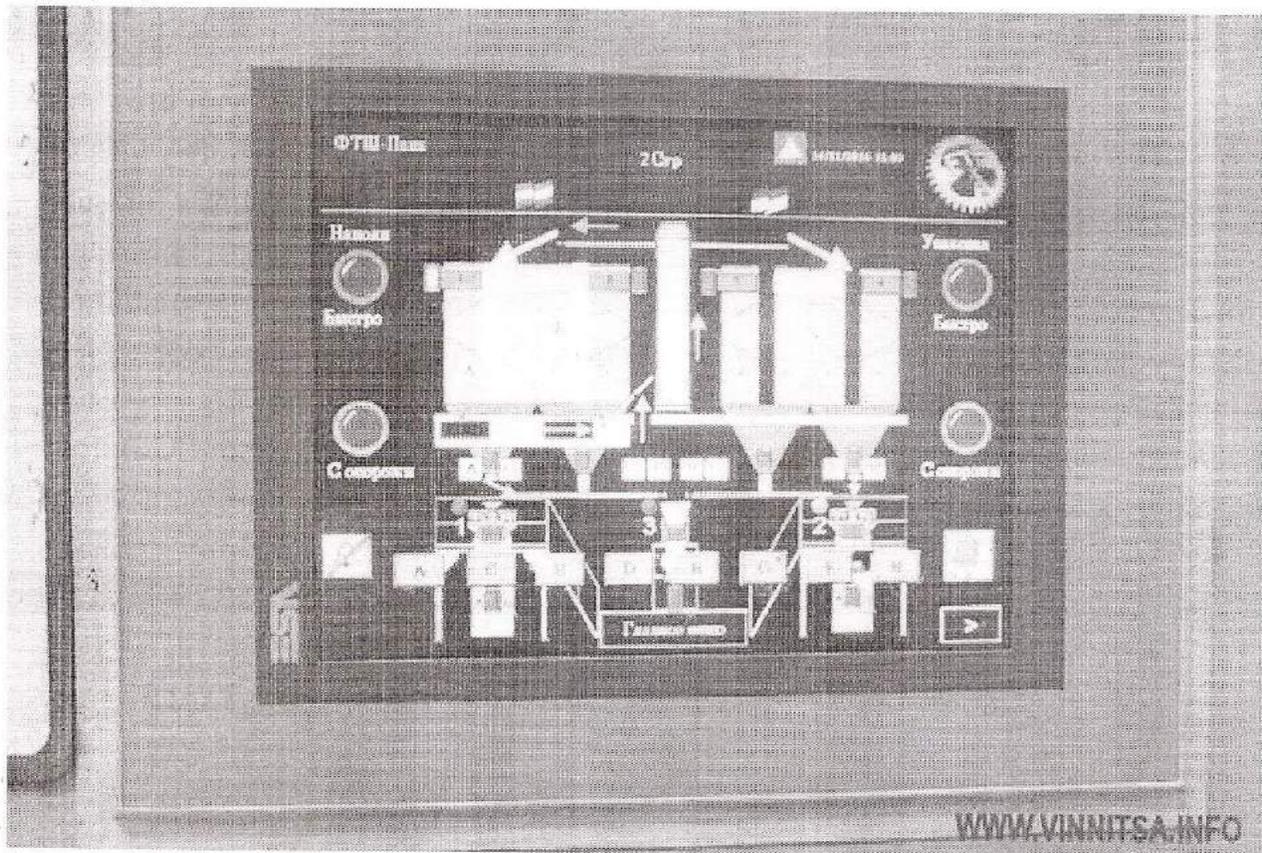


Рисунок 3.1. Сучасна автоматизована система керування виробництвом продукції. На рис 3.1,3.2,3.3 наведено складові сучасної автоматизованої систему керування виробництвом продукції з АРМ-оператора. (рис.3.3) На рис.3.2 наведено

структуру технологічних операцій та адаптивних систем керування (АСК), робототехнічних інтенсифікаторів (РІК) та АСКТЛ з'єднаних між собою інформаційною шиною Profibus DP. Нижній рівень цифрового керування представлений цифровими (інтелектуальними) датчиками, адаптивними системами керування та вбудованими робототехнічними системами-інтенсифікаторами та системами обміну інформацією [37]. На цьому рівні широке розповсюдження одержали контролери (мікропроцесори), які виконують функції автоматичного керування технологічними процесами. Метою керування є вироблення сигналів на виконавчі механізми в результаті оброблення даних про стан технологічних параметрів, одержаних безпосередньо інтелектуальними датчиками, за допомогою спеціальних алгоритмів. Сервери технологічних даних забезпечують обмін інформацією між технологічними апаратами і дільницями та мережею персональних комп'ютерів. Вони підтримують протокол роботи з технологічними пристроями та протокол роботи з мережею персональних комп'ютерів. Дані про поточні параметри стану технологічних апаратів виробництва макаронних виробів можуть бути використані: для контролю їх станів й керування ними з автоматизованих робочих місць операторів, для архівування зміни в часі технологічних параметрів, для формування сумарних звітних форм з метою надання інформації топ-менеджерам. У розробленій АСКТЛ виробництва ремісничого хліба SCADA-система представлена серверами технологічних даних та автоматизованими робочими місцями (АРМ) операторів. АРМ-оператора (технолога) являє собою програмно-технічний комплекс, що складається з кількох (до 12) мікропроцесорів з'єднаних з Міні-ЕОМ та відповідного програмного забезпечення процесів обміну та відображення інформації. Мікропроцесори підключаються до Міні-ЕОМ за допомогою мультиплексора, який послідовно з'єднує канали передачі інформації між відповідним мікропроцесором та комп'ютером [19, 25, 26, 33, 37]. На верхньому рівні керування виробничо-технологічним комплексом (ВТК-виробництвом хліба в цілому) основою рішення задач керування є окремі інформаційні мережі, які зв'язують вбудовану цифрову платформу «Іжа», і які через Промисловий Інтернет-речей (ІІТ), пов'язані зі споживачами продукції та постачальниками. На рівні управління виробництвом продукції для диспетчерського керування використовуються MES-системи. Особливості функцій диспетчерського управління заводом з виробництва хліба вимагають від проєктантів сучасних АСКТЛ створення спеціальних програмних продуктів для рівня керування виробництвом ремісничого хліба. На цьому рівні важливу роль відіграють функції підтримки прийняття рішень, а також комп'ютерного моделювання хліба з м'ясними додатками, які відповідають нутрієнтній адекватності та фізіологічним потребам робітників підземних професій.

Використання стандартного моделювання суттєво покращує проєктуванню програмного забезпечення (ПЗ), а технологам та управлінцям такий підхід дозволяє проєктувати автоматизацію та роботизацію на цеховому рівні на базі SCADA, MES – систем. Прогрес у сфері впровадження мікропроцесорних систем на підприємствах харчової промисловості, використання новітніх інформаційних систем, інтеграція додатків, вбудовування стандартних мовних засобів при програмуванні адаптивних систем та робототехнологічних комплексів з ультразвуковими інтенсифікаторами, розробка алгоритмів керування та створення інноваційних продуктів в темпі з вимогами споживачів та екранних взаємодій оператора з технологічними дільницями в реальному масштабі часу значно збільшили ефективність SCADA та MES- систем. Нами при проєктуванні АСКТЛ виробництва хлібобулочних виробів використано технології розподіленої між мережевої архітектури для корпоративних систем DNA в середовищі MS Windows, комплексування продуктів для керування технологічними процесами створюють нам нові можливості щодо розробки інформаційних автоматизованих систем керування та забезпечують перерозподіл функцій між ними. Тому при проєктуванні АСКТЛ виробництва нами використанні моделі COM DCOM ActiveX, технології JAVA, універсальний інтерфейс зв'язку з зовнішніми пристроями OPC, мови стандарту IEC 61131-3, мови , які описані на основі Visual Basic for Applications (VBA) та промислового інтернет – речей (IIoT) і т. п. В проєкті також нами використано багатоваріантність, а саме розподіл функцій між станціями КТ-900 (блоки 4), установленими на кожній із технологічних дільниць (підготовки борошна, виготовлення опари, тіста, підготовка та диспергація м'ясних додатків та інших інгредієнтів (технологічні дільниці)) за допомогою робототехнічних комплексів та формування функціональних навантажень на технологічну операцію – заморожування хліба, підключення зовнішніх засобів оброблення даних (електронних таблиць, БД, БП, БЗ та БОД та ін., статистична обробка даних, контроль техніко економічних показників (ТЕП) і т. п. В розробленій АСКТЛ заводу з виробництва хлібобулочних виробів використано ІАСУ та промисловий інтернет- речей, який з цифровою платформою «ІЖА» аналізує якісні параметри нутрієнтних характеристик продуктів харчування одержаних з лабораторії заводу. а також без проблем дозволяє одержати інформацію з операційних станцій КТ-900 та впевнитись про те, що технологія дотримується; головний технолог заводу може також за допомогою OPC-інтерфейсу змінити завдання щодо продуктивності виробництва та кількісних параметрів інноваційної продукції. Новації в SCADA-системах забезпечують значне зниження затрат праці на розробку та обслуговування операторських станцій, збільшення швидкості обміну даних в системах керування за рахунок

промислового інтернет - речей. Інтеграція систем керування верхнім та нижнім рівнями в межах заводу в нашому проекті забезпечена засобами інтегрованих програмних систем (наборів) та комунікацій. ІАСУ дозволяє виконувати за допомогою програмних продуктів не лише аналіз нутрієнтної адекватності, але і виконувати рецептуру інгредієнтів, оцінюючи ФТВ сировини та її собівартість. Такий підхід до створення БЗ дозволяє ОПР чітко спланувати режими роботи локальних адаптивних систем керування окремими технологічними дільницями та оперативно контролювати вихідні параметри:  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5, Y_6, Y_7$  стадій: підготовки сировини-заміс-тісто- диспергування м'ясних інгредієнтів – виробництва хліба- стадії охолодження- готовий продукт – стадія заморожування. Ці стадії керовані локальними адаптивними цифровими системами: АСК1, АСК2, АСК3, АСК4 управлінськими впливами  $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_7$  забезпечують оптимізацію виробництва та якості продукції.

На рис. 3.2 наведено структуру АСКТЛ виробництва продуктів для гірників, школярів, воїнів ЗСУ. Із наведеної структури слідує наступне: процес виробництва ремісничого хліба відноситься до дискретних, нестационарних процесів; засоби локальної автоматики можуть забезпечити лише нижній рівень керування функціонування робототехнічних систем та систем завантаження технологічних апаратів. У нашому випадку для прийняття більш складних рішень необхідно проектувати багаторівневі системи керування. Особливості керування дискретними об'єктами – технологічними дільницями визначають характер задач, які вирішують управлінські Міні-ЕОМ. У нашому випадку управління дискретними процесами зведено до управління часом той чи іншої операції. А отже необхідно використовувати значну кількість обчислювальних функцій та достатньо потужні операційні можливості ЕОМ. Моделі дискретних об'єктів виробництва ремісничого хлібу є нелінійними. Для розрахунку таких систем будемо використовувати дискретні перетворення та – Z- перетворення. Для нашого випадку керування процесом диспергування частинок м'ясних продуктів у тісто за допомогою робототехнологічного комплексу одержані наступні вихідні показники: якщо ЕОМ використовувати в якості прямого цифрового керування, то якісні показників параметрів нутрієнтної адекватності покращуються на 15% від керування оператором. Тому в нашій науковій роботі важливими дослідженнями є ідентифікація та синтез адаптивних систем керування зі змінною структурою.

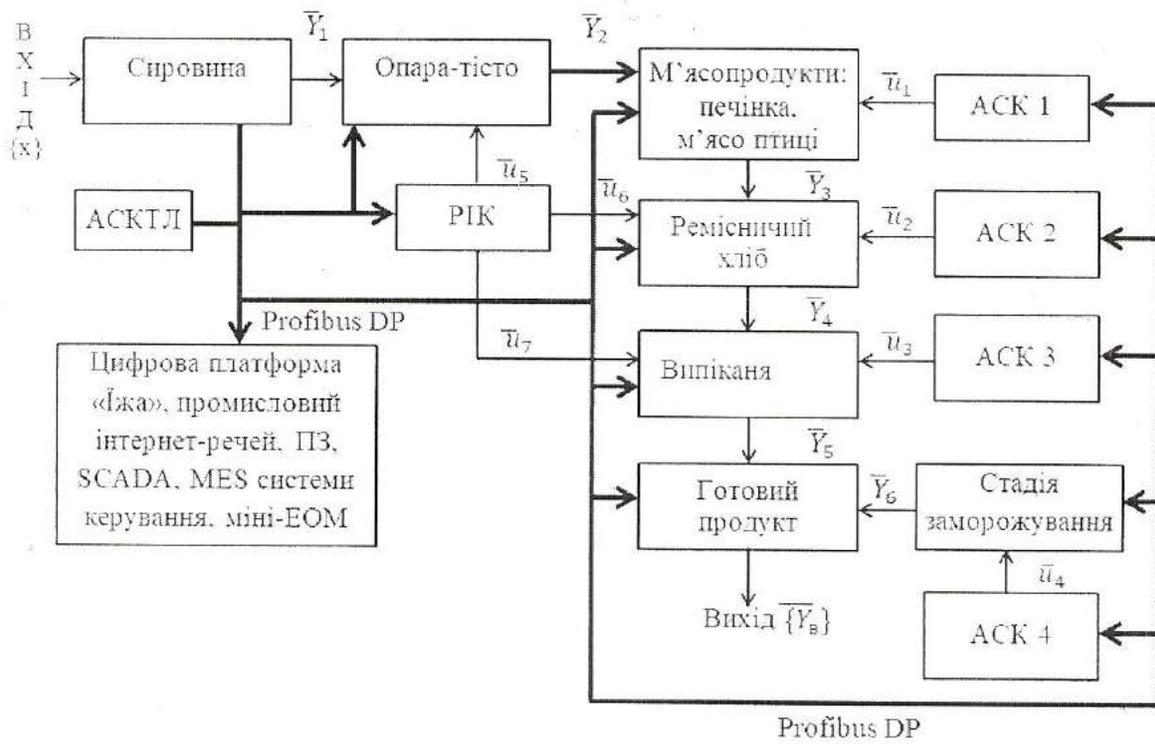


Рис.3.2 Автоматизована система керування технологічної лінії виробництва ремісничого хліба.

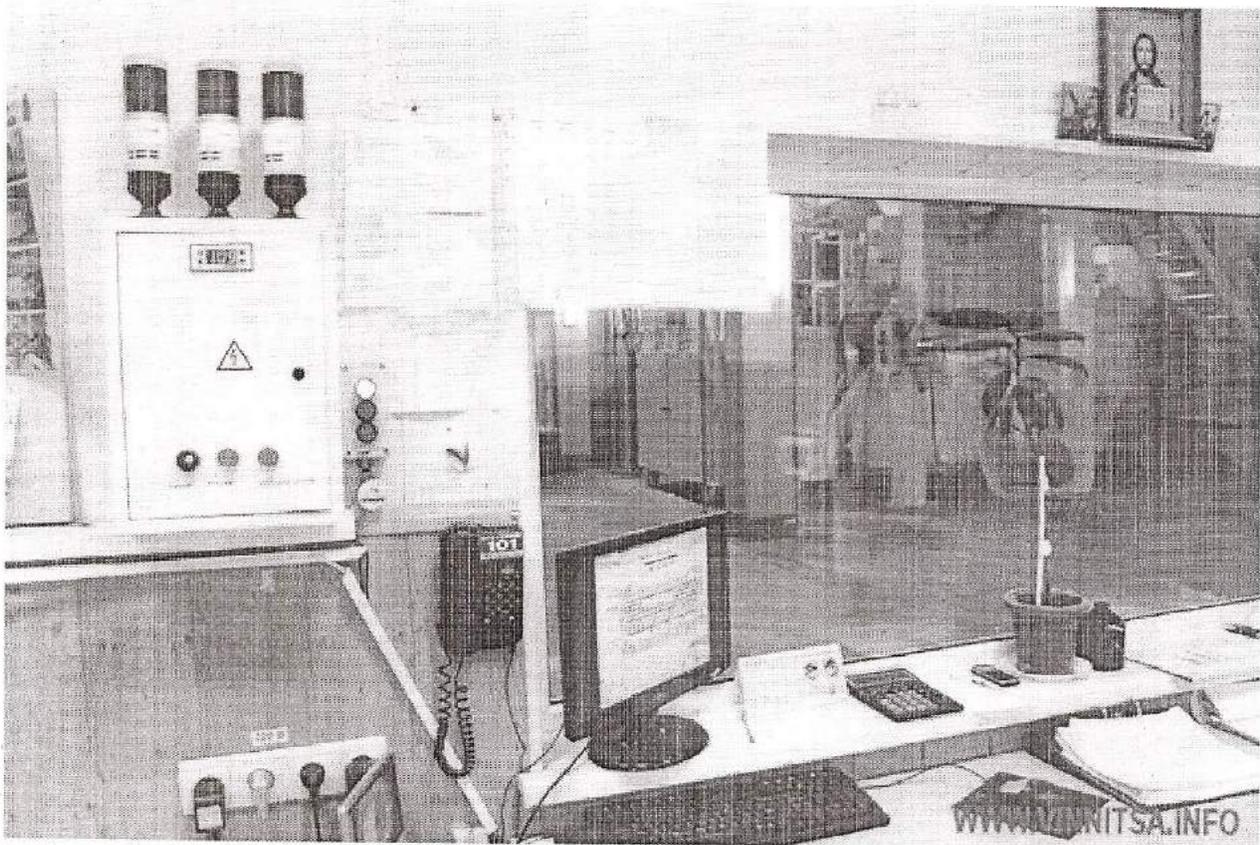


Рисунок 3.3. Автоматизоване робоче місце оператора.

### 3.2 Адаптивні системи керування процесами виробництва ремісничого хліба

На прикладі найбільш складних і енергоємних процесів виробництва продукції на дільницях заміс-тісто - розглянемо методи побудови локальних, адаптивних систем виробництва виробів з хліба, оптимальних за критерієм максимальної ступеня стійкості [1, 24,25, 26,27,37]. Завданням керування виробничими дільницями опаратісто є максимізація продуктивності технологічних апаратів шляхом підтримання заданої густини тіста та рН в зливах тістомісильного апарату.

Сучасні способи регулювання процесів замкнених циклів опаратісто-випікання- заморожування за допомогою робототехнологічних комплексів включають три основні управлінські впливи – витрати борошна  $Q_M$  і витрати води  $W_B^M, W_B^Z$  відповідно у апарат замісу та тістомісильний апарат. Найбільш розповсюдженими в практиці керування комплексом опаратісто- є канал керування зміною витрат води та інгредієнтів в процес – зміна густини тіста в зливів. Передавальна функція об'єкта цього каналу описана рівнянням виду :

$$W(p) = (k - T_p)(p^2 + a_2 p + a_1)^{-1} \quad (3.1)$$

де  $K$  – статичний коефіцієнт підсилення;  $T, a_1, a_2$  – динамічні параметри об'єктів.

На рис.3.4 наведені перехідні характеристики циклу борошно-тісто за визначеним каналом керування. Передавальна функція (3.1) повністю віддзеркалює фізику процесу приготування замісу та прісного тіста, а його динамічний параметр  $T$  визначає величину провалу перехідної функції тістомісильної машини та показує різницю перехідних процесів від апередичних [12,24,37].

Рішення задачі синтезу оптимальної системи керування процесом виробництва тіста будемо шукати в межах теорії безпошукових систем за критерієм максимальної ступеня стійкості, в лінійних ПІ – законах виду:

$$U(t) = U_r(t) + U_i(t) = K_1 E(t) + \int_0^t K_2 E(t) dt \quad (3.2)$$

де  $E(t)$  - відфільтрований сигнал;  $K_1, K_2$  – коефіцієнти при пропорційній  $U_r(t)$  складовій та інтегральній  $U_i(t)$  складовій ПІ – закону регулювання  $U(t)$ .

Коефіцієнти  $K_1$  і  $K_2$  будемо визначати в процесі активної ідентифікації, шляхом подачі на вхід нормованого скачкообразного впливу виду :

$$U_{зад}(t) = KE(t_0) \quad (3.3)$$

На рис.3.5 наведено автоматизовану систему керування виробництвом хліба адаптивними системами керування опарним насосом (Н)-1 та продуктивністю тістомісильного апарату( шнек-2, обладнання 3,4,5)

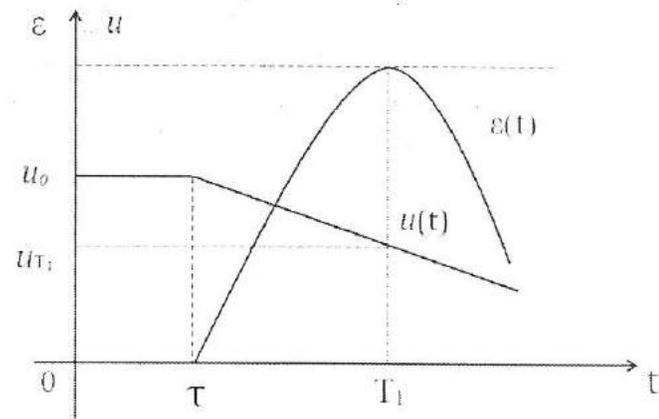


Рисунок 3.4 Графік аналізованого перехідного процесу

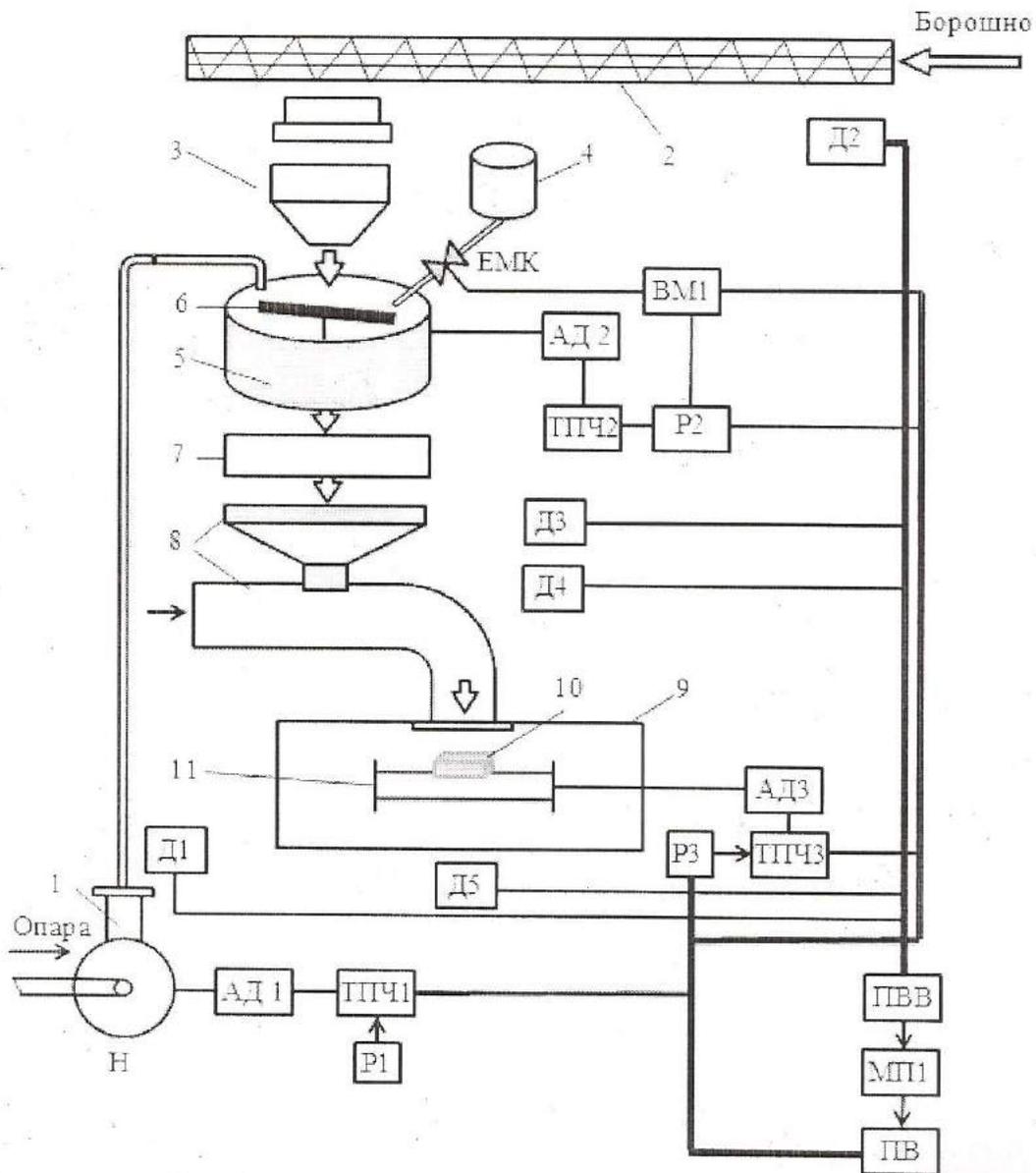


Рисунок 3.5 Адаптивна система керування виробництвом тіста

Адаптивні системи керування тістомісильним апаратом 5 та стадієк виробництва хліба(технологічні стадії 1,2,3,4,5,6,7,8) детально описані в [32,35,37], а для сильних сортів борошна з ультразвуковими робототехнічними інтенсифікаторами (РІК) [34]. При побудові сучасних АСУТП виробництва ремісничого хліба і побудові інтелектуальних систем управління розумними продуктами харчування для робітників підземних професій, школярів та воїнів ЗСУ важливими адаптивними системами керування є: стабілізувальні системи рівня вологи в хлібних виробів -10 густини тіста на виході тістомісильних агрегатів та хлібних виробів з додатками м'яса або печінки.

Такі системи будемо описувати передавальними функціями виду:

$$W(p) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (T_i p + 1)} \quad (3.4)$$

де  $K$  – змінний коефіцієнт передачі об'єкта за одиницю регулюємого параметру;  $n$  – порядок системи;  $T_i$  – динамічні коефіцієнти. Стабілізувальні системи реалізують П – закони регулювання. Оскільки в об'єкті змінюється лише один параметр, то сутності роботи алгоритму адаптації полягає у наступному:

- Визначається момент часу  $t_0$ , при якому  $\epsilon(t)$  досягає максимуму. При цьому, цей момент повинен бути більшим від деякого значення  $DL$ . Значення  $DL$  будемо визначати експериментально, наприклад, у два рази менше допуску, яке задається у вигляді відхилення;
- Через заданий час  $D$ , який складає приблизно 20% від часу перехідного процесу об'єкта регулювання, вимірюється значення помилки і проводиться корекція коефіцієнта регулятора за формулою :

$$K_p^{нов} = K_p^{стар} \frac{\epsilon(t_0)}{\epsilon(t_0) - \epsilon(t_0 + DT)} K\hat{K}, \quad (3.5)$$

де  $K_p^{стар}$  – коефіцієнт регулятора в момент часу  $t_0$ ;  $K\hat{K}$ , – постійний коефіцієнт, який забезпечує налаштування алгоритму щодо критерію максимальної ступені стійкості. На рис 3.6 наведено алгоритм керування процесами стабілізації нутрієнтного складу хліба з додаванням печінки з яловичини. На рис.3.7 наведено результати імітаційного моделювання системи адаптивного керування. На рис.3.8 наведено схему інтелектуального керування процесом виробництва ремісничого хліба : технологіями заморожування. Система (рис.3.5) виконана на основі робототехнологічного комплексу, в якій є інтелектуальні датчики контролю (Д1-Д5) параметрів якості тіста та печінки, датчиків РН- параметрів, візуалізації програмних продуктів керування швидкості руху конвеєра 11 холодильної установки 9 та адаптивних систем охолодження та заморожування хліба.

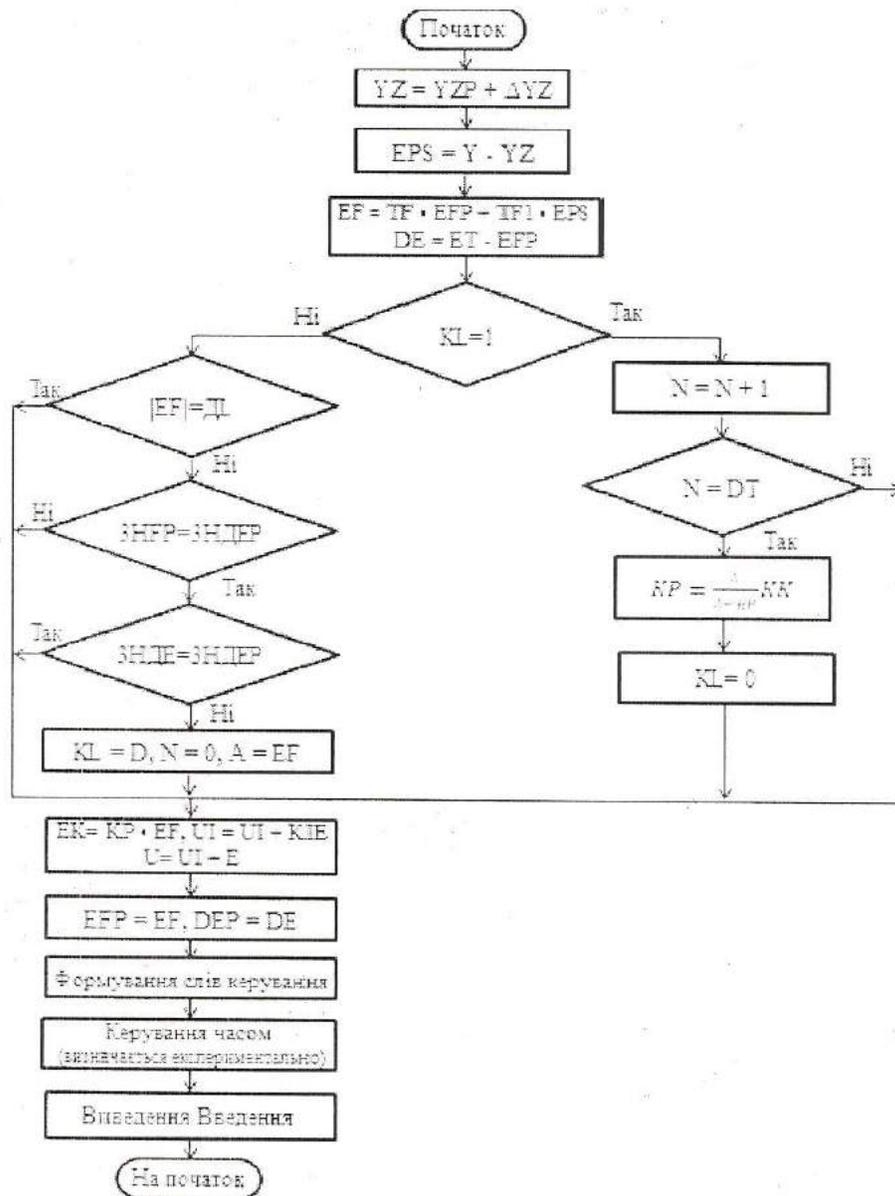


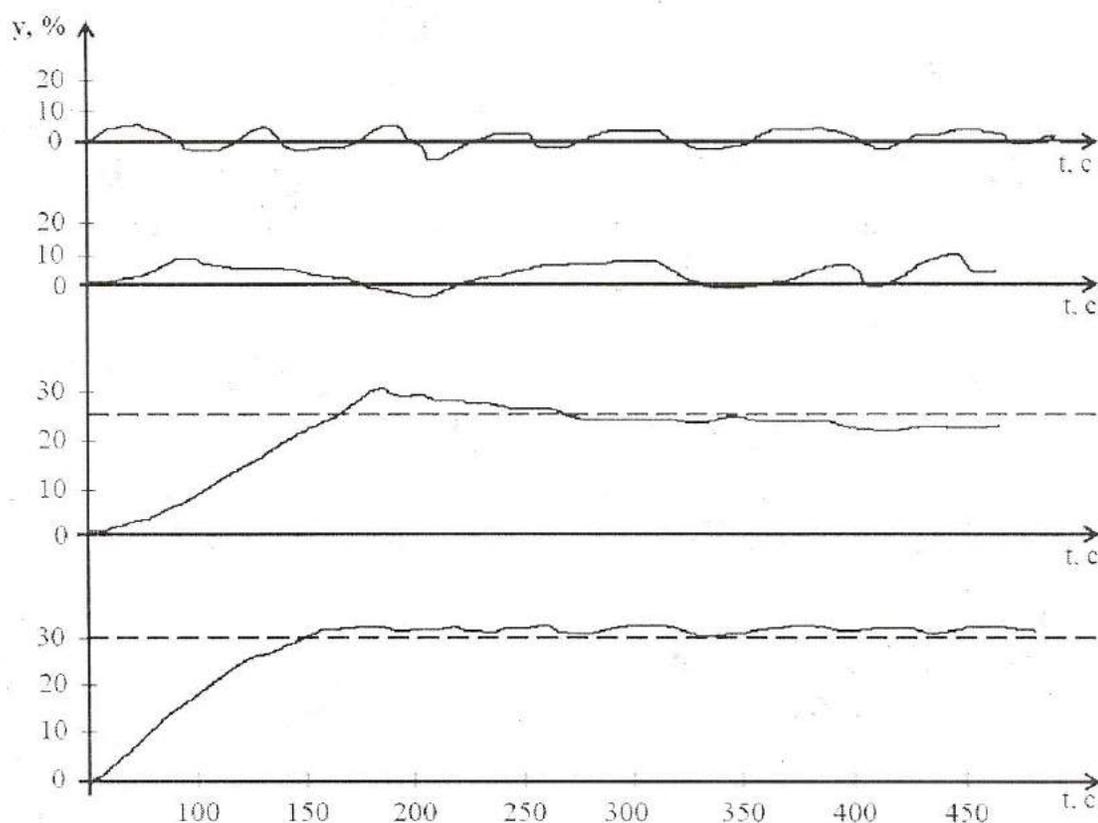
Рис.3.6 Алгоритм керування процесами збагачення інградієнтами хліба

Алгоритм працює наступним чином:

1. Розраховується програмне значення завдання за формулою :  $yz = yzp + \Delta yz$ , де  $yz$  – значення завдання в даний момент часу;  $yzp$  – значення завдання на попередньому кроці;  $\Delta yz$  – лінійна зміна завдання на час  $\Delta t$ .
2. Визначається похибка неузгодження EPS.
3. Виконується фільтрація похибки за формулою:  $EF = TF \cdot EFP + TF1 \cdot EPS$ , де  $EF$  – відфільтрована похибка,  $EFP$  – відфільтрована похибка на попередньому кроці;  $TF$  і  $TF1$  – коефіцієнти фільтрації  $TF + TF1 = 1$
4. Визначається оцінка похідної похибки DE
5. За умови  $KL = 0$  виконується оцінка положення системи на фазовій площині.

6. При переході фазової траєкторії через вісь  $\epsilon$  та похибки більше ніж  $DL$  розпочинається ідентифікація – запам'ятовується значення похибки  $A_0 = EF$  включається таймер. Алгоритм переключається в положення  $KL=1$ .
7. Через час  $DT$  корегується коефіцієнт  $K_p$ . Алгоритм переключається у початкове положення  $KL=0$ .
8. Відпрацьовується ПІ – керування, що дорівнює  $U_1$ . Поточне значення похибки похідної похибки запам'ятовується.
9. Формуються слова керування для виконуючих пристроїв, в якості яких можуть бути електромагнітні клапани витрат води, тиристорні перетворюючі частоти магнітні клапани. шнекових давальників борошна-2, керовані ударні впливи ультразвукових коливань на тісто та м'ясні інгредієнти.

Випробування розроблених вище алгоритмів з типовими локальними системами адаптивної стабілізації рівня нутрієнтної адекватності, густини тіста та рН хліба, процесів охолодження та заморожування проведені в умовах підприємства ПАТ «Криворіжхліб» [20, 35,37].



**Рис.3. 7 Графіки зміни в часі параметрів хлібобулочних виробів**

На рис. 3.7 наведено графіки зміни в часі стабілізувальних параметрів у САК роботи технічного інтенсифікатора процесу кавітаційного диспергування печінки в тісто а) з лінійним ПІ – законом; б) з включеним алгоритмом адаптації. На цьому

ж рисунку наведено загальний вигляд перехідного процесу в тій же системі керування щодо зміни величини завдання контрольованого параметру на 10%. в) з лінійним ПІ – законом; г) з алгоритмом адаптації. При цьому відмітимо, що дисперсія регульованого параметру рН знизилась в 2 рази, в довгота перехідних процесів в 3,5 – 4 рази.

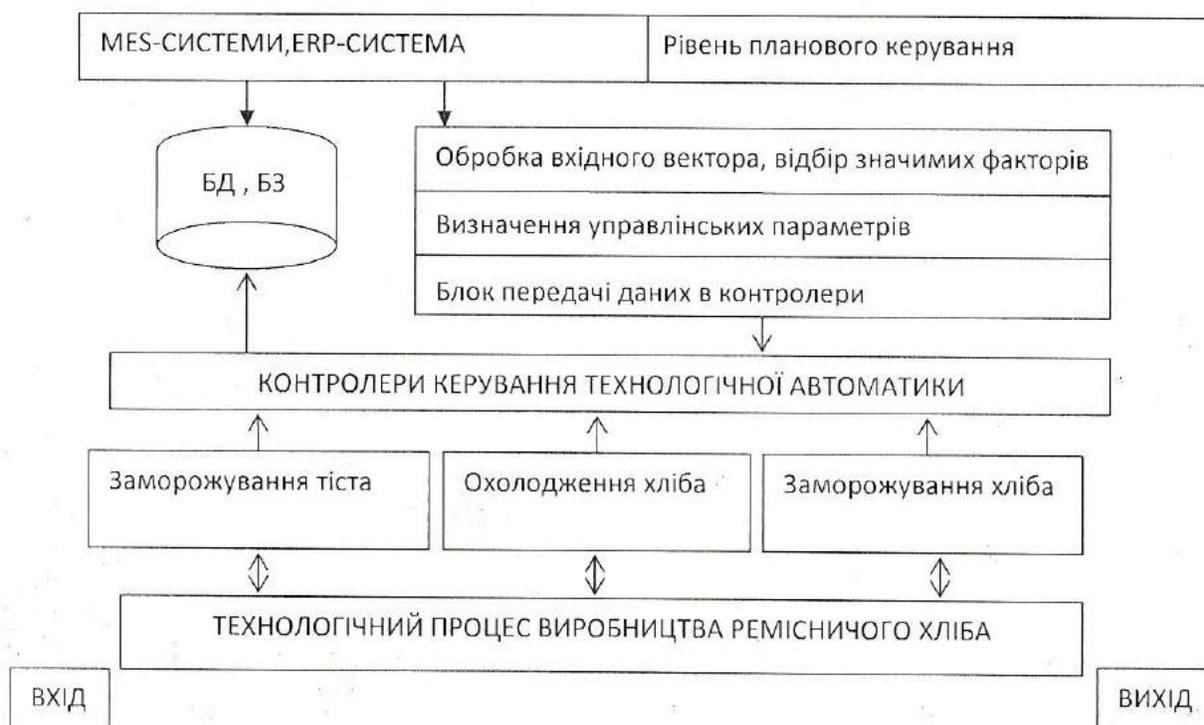


Рисунок 3.8 Інтелектуальна система управління процесом охолодження і заморожування ремісничого хлібу

Розроблена інтелектуальна система дозволяє одержати наступні результати:

1. Скомпенсувати нутрієнтну незбалансованість, мінеральну та вітамінну недостатність, покращити роботу травлення, виконати очищення організму від шлаків, нормалізувати кислотно-лужний баланс, підвищити імунітет, стимулювати обмін речовин та виконати оздоровлення людини, яка працює, проживає на техногенній території можливо за рахунок «розумного» харчування.
2. Комп'ютерне моделювання рецептур ремісничого хліба на основі комбінування м'ясних та рослинної сировини дозволило одержати інноваційні продукти зі збалансованим нутрієнтним складом високої якості та біологічної цінності. Високу нутрієнтну збалансованість та харчову адекватність розроблених «розумних»

продуктів харчування для гірників, школярів, воїнів ЗСУ досягнуто за рахунок розробки і впровадження робототехнічних комплексів та робототехнічних інтенсифікаторів, та цифрових систем адаптивного керування, що привело до одержання значного профілактичного ефекту за рахунок показників енергетичної цінності продуктів харчування.

3. Враховуючи, що конкурентоспроможність розробленого «розумного продукту» забезпечена новітнім технологічним обладнанням з робототехнічними системами керування, а споживання населенням такої продукції, буде збільшуватись за рахунок параметрів безпечності продуктів та показника екологічної чистоти його складових- екоскладових. Високе значення екологічної чистоти продукції харчування одержано за рахунок впливу ультразвукових коливань на гетерогенне середовище, кавітаційних процесів в системі диспергатор м'ясних продуктів- тісто та використання високоякісної сировини в рецептурі продукту, відсутності або мінімізації в його складі штучних харчових добавок, генетично-модифікованих інгредієнтів. Результати розрахунку та ситуаційного моделювання прогнозу конкурентоспроможності розумних продуктів харчування для гірників, воїнів ЗСУ, школярів та населення, яке проживає на забруднених територіях довели, що рахунок високого рівня автоматизації та роботизації якісні характеристики «розумної» продукції, нутрієнтна збалансованість екоскладу та оптимальна ціна щодо значення комплексного показника вони знаходяться на рівні світових стандартів суттєво перевершують традиційні м'ясопродукти. Розрахунок економічного ефекту від впровадження у виробництво розроблених проектних рішень в науковій роботі вимірюється додатковим прибутком, за рахунок енергоефективності процесу заморожування ремісничого хліба. Ефект має місце в результаті зниження собівартості продукції, енергоносіїв за рахунок впровадження алгоритму адаптивного керування процесами підготовки тіста та робототехнічними комплексами по стадійного виробництва замороженої продукції.

## Висновки

1. Для регіону з техногенними територіями з врахуванням ситуації з COVID-19 та державної політики у сфері «розумного» харчування населення Придніпровського регіону та необхідності забезпечення гірників, металургів, воїнів ЗСУ, школярів та інших споживачів високоякісною харчовою продукцією, яка відповідає світовим стандартам нутриціології, аналітично й експериментально розроблено цифрову платформу «Іжа» та доведено, що розробка технологій «розумного» харчування повинна бути забезпечена холодильним обладнанням, автоматизованими комплексами та високим рівнем цифрового керування.
2. Розроблено алгоритм виробництва інноваційної продукції для робітників, школярів, воїнів ЗСУ, в якому процес проектування «розумної» продукції, технологій та обладнання виконує ЕОМ за допомогою ПЗ та технологій імітаційного моделювання.
3. На основі методів автоматизації розроблено систему та алгоритми адаптивного керування окремими дільницями технологічної лінії з виробництва ремісничого хліба - продукту харчування з технологіями заморожування та високим рівнем автоматизації та цифровізації.
4. Розроблено розподілену АСКТЛ виробництва заморожуваних виробів з нутрієнтно-збалансованими характеристиками, в якій за рахунок систем багаторівневого розподіленого керування та адаптивних систем мікропроцесорного керування дисперсія регульованого рН- параметра зменшилась на 15-18%, а витрати електроенергії зменшились на 13-15%.
5. Ефект має місце в результаті зниження собівартості продукції., енергоносіїв за рахунок впровадження алгоритму керування процесами підготовки тіста та робототехнічними комплексами по стадійного виробництва ремісничого хліба та його заморожування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизация технологических процессов и производств пищевой промышленности: Пidrуч. / А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцора. – К.: Аграр. освіта, 2001. – 224с.
2. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Рюмин Н.А. Интегрированные АСУ в промышленности. – К.: НПК «Киевский ин-т автоматики», 1995. – 316с.
3. Ауерман Л.Я. Технология хлебопекарного производства / Л.Я. Ауерман – Спб.: Профессия, 2005. – 416 с.
4. Автоматический контроль и управление качеством пищевых продуктов : [Учеб. пособие для вузов по специальностям "Стандартизация и сертификация пищевых пр-в", "Технология хлеба, кондит. и макарон. изделий", "Автоматизация технол. процессов и пр-в"] / Л. А. Злобин ; М-во общ. и проф. образования Рос. Федерации, Моск. гос. ун-т пищевых пр-в, 276,[4] с. ил. 30 см, М. МГУПП 1998
5. Основні показники роботи харчової промисловості України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [minagro.gov.ua](http://minagro.gov.ua).
6. Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / Под. ред. А.В. Соколова. – М.: Лёгкая и пищ. пром-сть, 1983. – 400с.
7. Хроменков В.М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик / В.М. Хроменков-Спб.: ГЦОРД, 2014. - 496 с.
8. Соломенко М.М. Автоматические методы контроля некоторыми технологическими параметрами хлебопекарного производства/ М.М. Соломенко. М: Машиностроение, 1972. - 200 с.
9. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенствования/ А.Т. Лисовенко. К.:Техника, 1982.-208 с.
10. Васьків М.В. Моніторинг та керування якістю продукції агрегованих технологічних комплексів харчових виробництв/ В.Г. Васьків, В.В. Іващук// Складні системи і процеси, 2010- N1, с 77-83.
11. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості / В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов, А.І. Українець та ін. Вінниця «Нова книга», 2007- 640с.

12. Шаруда С.С. Інтелектуальна система сценарного управління хлібопекарським виробництвом / С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько // Східно-Європейський журнал передових технологій. -2010 -№5/3(47) – С 66-70.

13. Білик О.А. Удосконалення технологій хлібобулочних виробів з борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями / О.А. Білик : дис. канд. техн. наук 05.18.01. Національний ун-т харчових технологій К: 2006-212 с.

14. Бондар І.П. Розроблення технологій хліба з борошняних сумішей підвищеної харчової цінності / І.П. Бондар : дис. канд. наук 05.18.01. Національний ун-т харчових технологій – К., 2003 – 232 с.

15. Гавриш Т.В. Удосконалення технологій хліба зі слабого пшеничного борошна/ Т.В. Гавриш дис. канд. техн. наук 05.18.01. Харківський держ. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2005 – 165 с.

16. Гончаренко Б.М. Ладанюк А.П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: Підруч. – К.: НУХТ, 2014. – 530с.

17. ДСТУ 4588:2006 Вироби хлібобулочні для спеціального дієтичного споживання. Загальні технічні умови / Офіц.вид – К. Держспоживстандарт України, 2006-III, 23 с.

18. ДСТУ 7044:2009 Вироби хлібобулочні. Укладання, зберігання і транспортування – Офіц.вид. К.: Держспоживстандарт України, 2009-III, 5 с.

19. Датчики: Справочник / З.Ю. Готра, Л.Я. Ильницький, Е.С. Полищук и др.; Под. ред.. З.Ю. Готры, О.И. Чайковского. – Львов: Каменяр, 1995. – 312с.

20. Хорольський В.П., Серебренников:В,М, Коренець.Ю.М , **Розчехмаров І В** Ультразвук як аналізатор моніторингу стану харчової сировини//Вісник Хмельницького національного університету- Технічні науки 2019 №6- с138-142

21. Справочник механика по холодильным установкам Под ред. Б.П. Якшарова.И. В. Смирнова. – Л.: Агропромиздат.Ленинград. отд., 1989. – 312 с.

22. Большаков С. А., Холодильная техника и технология продуктов питания :Учебник. – М.: Академия, 2003. – 304 с.

23. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навч. посіб. – К.: НУХТ, 2003. – 320с.

24. Ладанюк.А. П. ,Автоматизація. технологічних процесів і виробництв

харчової промисловості; монографія. – К.: Інтер, 2015. – 408с.

25. Сироджа И.Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления К.: Наукова думка 2002. -418с.

26. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры: Учеб. пособие / И.А. Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов, А.Г.Схиртладзе, С.В. Фролов. – М.: Машиностроение, 2004. – 180с.

27. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти тт. 2-е изд. перераб. и доп. Т.5 Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784с.

28. Шмалько Н.А. Технология для комплексной оценки качества хлебопекарного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции/ Н.А.Шмалько, Ю.Ф.Росляков, О.В.Руденко, Ю.А.Токарева// Пищевая наука и технология (Украина, Одесса), 2011. - №3 (16). – с.28 – 30.

29. Швед С.М. Системний аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів/ С.М.Швед, І.В.Ельперін// Східно – європейський журнал передових технологій. – 2012. - №6/ 3(60). – с.44 – 46.

30. Швед С.М. Автоматизоване управління виробництвом хліба з підсистемою оперативної корекції технологічних режимів Авт. дис. на здобуття н.ст к.т.н. Наук. керівник Ельперін І.В. К.: - 2012- 16 с.

31. Закон України від 06 вересня 2005 року № 2809 – IV «Про безпечність та якість харчових продуктів» // Офіційний вісник України, 2005. - №42.

32. Хорольський В.П. Інтелектуальна система управління та моніторингу робочих характеристик технологічного обладнання хлібобулочних заводів // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки .2016 - №6, с.55 - 62.

33. Simatic – C7 Control system : Manual – Siemens, 07/2006 – 92 pp. Simatic – LOGOL : Руководство пользователя – Siemens, 03/2009 – 302 pp.

34. Khorolskyi V., Korenets Yu., Ostapenko I. Development of robototechnological complex of intellectual management by bread manufacturing for

technological loading territories. // Technology audit and production reserves - № 1/3(39), - 2018. – 53-58pp.

35. Хорольський В.П., Коренець Ю.М., Копайгора О.К., Заїкіна Д.П., **Литвиненко А.К.** Автоматизована система нечіткого керування процесами виробництва та заморожування ремісничого хліба//Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки 2021 -№1

36. Хорольський В. П., Коренець Ю.М., Копайгора О.К., **Литвиненко А.К.** Інтелектуальна система управління технологічними процесами заморожування продуктів харчування.// Інноваційний розвиток готельно-ресторанного господарства та харчових виробництв: матеріали І. Міжнародної наук. практ. інтернет-конференції 2020р.Прага: Octan Print 2020 с130-131

37. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів /В.П.Хорольський, Ю.М.Коренець, А.В.Возняк, О.В.Омельченко та ін.// за ред. проф. В.П.Хорольського-Кривий Ріг\_Видавець ФО-П Чернявський Д.О.- 2019.204с.