

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

На правах рукопису



ПАНЬКОВ ДМИТРО ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 004.89:664.64.016

**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ
КОМПЛЕКСОМ ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО ВИРОБНИТЦВА НА ОСНОВІ
МЕТОДІВ КВАЛІМЕТРІЇ**

Спеціальність 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі автоматизації та інтелектуальних систем керування Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кишенько Василь Дмитрович,
Національний університет харчових технологій,
м. Київ,
професор кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Жученко Анатолій Іванович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
м.Київ,
завідувач кафедри автоматизації хімічних виробництв;

кандидат технічних наук, доцент
Решетюк Володимир Михайлович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ,
доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем імені академіка І.І. Мартиненка.

Захист відбудеться «27» червня 2018 року о 13-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ-33, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий «25 » травня 2018 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К 26.058.05,
к. т. н., доцент



Л. О. Власенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Хлібопекарська промисловість є однією із провідних галузей агропромислового комплексу України і пов'язана із задоволенням попиту населення у хлібобулочних výroбах різноманітного асортименту. Реалізація виробничих програм на хлібозаводах України проходить в умовах жорсткої конкуренції, визваною відсутністю дефіциту на хлібопекарські вироби і достатністю потужностей обладнання для забезпечення існуючих вимог споживачів. В сучасних економічних умовах проблема управління якістю та забезпечення його високого рівня є актуальною і практично значущою. Задоволення вимог споживачів і досягнення підприємством лідируючих позицій на ринку забезпечується випуском конкурентоспроможної продукції. Якість продукції визначається ступенем відповідності властивостей товару вимогам стандартів, а також і показникам споживчих уподобань, причому, з точки зору споживача, значущість кожного показника у формуванні загальної якості продукції різна. Це обставина визиває необхідність неперервного моніторингу та управління якістю сировини, напівфабрикатів та готової продукції в процесі виробництва та реалізації хлібобулочних виробів. Враховуючи високу лабільність характеристик якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції хлібопекарського виробництва а також те, що багато показників якості мають органолептичну оцінку, ефективне керування технологічним комплексом хлібозаводу можливо при умові використання математичних моделей, побудованих на основі методів кваліметрії. Для ефективного управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва створені сценарії управління, в яких реалізовані алгоритми багатокритеріальної оптимізації, направлені на поліпшення якості продукції, підвищення продуктивності та зменшення втрат ресурсів та сировини, що є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування Національного університету харчових технологій «Наукові основи створення автоматизованих систем управління для комп'ютерно-інтегрованих виробництв харчової промисловості» (номер державної реєстрації 0112U001496), «Теоретичні основи розробки робастно-оптимальних систем керування складними технологічними об'єктами та комплексами в умовах невизначеності» (номер державної реєстрації 0115U000379) та «Наукові основи створення інтелектуальних систем автоматизації технологічних об'єктів з використанням робастно-оптимальних та енергозбережних методів» (номер державної реєстрації 0116U001531).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу хлібозаводу за рахунок розробки автоматизованої системи управління якістю продукції на основі принципів та методів кваліметрії з використанням сучасних інформаційних технологій.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні науково-технічні задачі:

- Отримати моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції хлібопекарського виробництва;
- Сформувати динамічні бази знань на основі онтології процесу хлібопекарського виробництва;
- Виконати ідентифікацію нелінійних моделей процесів приготування хліба;
- Розробити сценарії управління технологічним комплексом хлібозаводу на основі багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів;
- Здійснити синтез оптимальних законів синергетичного керування процесами приготування хліба у відповідності із методологією аналітичного конструювання агрегованих регуляторів для забезпечення оперативних малопотужних ефективних керувальних дій резонансного характеру;
- Провести імітаційне моделювання та виробничі випробування розроблених систем керування якістю хлібопекарської продукції.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси виробництва хліба, що реалізовані на сучасному технологічному обладнанні.

Предметом дослідження є теоретичні, методичні та практичні проблеми оптимального управління технологічними процесами на хлібозаводах.

Методи дослідження. Для розв'язання поставлених задач використовувались методи сучасної теорії автоматичного керування, системного та категорійно-функторного аналізу, ідентифікації об'єктів керування, базові принципи ситуаційного та сценарного підходів, багатокритеріальної оптимізації, імітаційного моделювання. Результати досліджень підтверджувались шляхом використання математичного моделювання та аналізу експериментальних даних.

Наукова новизна:

- набули подальшого розвитку математичні моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції на всіх стадіях виробництва хліба, які дозволили проводити оперативну комплексну оцінку якості при оптимізації технологічних процесів;
- вперше розроблена динамічна база знань хлібопекарського виробництва на основі онтології;
- удосконалені нелінійні моделі процесів приготування хліба, що дозволяють в реальному часі змінювати режими та тривалість стадій приготування хліба;
- набули подальшого розвитку алгоритми управління хлібопекарськими процесами, які дозволяють організувати багатокритеріальне оптимальне керування технологічними процесами хлібопекарського виробництва;
- вперше для технологічних об'єктів хлібопекарського виробництва здійснений синтез синергетичних агрегованих систем керування для організації малопотужних ресурсощадних керувальних дій резонансного стимулюючого характеру, що забезпечує досягнення визначених в залежності від виробничої

ситуації цілей – атракторів як відображення бажаного у відповідності з фізико-хімічною природою об'єкта його цільового стану;

- удосконалена структура інтелектуальної автоматизованої системи синергетичного керування процесами приготування хліба на основі динамічних баз знань та нелінійних моделей.

Практичне значення та реалізація отриманих результатів. В результаті теоретичних та експериментальних досліджень розроблено структуру, алгоритмічне та програмне забезпечення автоматизованої системи управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва на основі методів кваліметрії.

Одержані результати можуть бути використані при проектуванні, розробці та впровадженні нових, або при вдосконаленні існуючих систем автоматизації хлібопекарського виробництва.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування Національного університету харчових технологій та передані для впровадження на ДП «ІндаСофт-Україна», що підтверджено відповідними довідками.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, що викладені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто. В публікаціях у співавторстві особистий внесок автора полягає в наступному: в [1] категорійно-функторному аналізі хлібопекарського виробництва; в [2] особливості впровадженні автоматизованої системи управління якістю хлібопекарської продукції; в [3] створенні онтології хлібопекарського виробництва; [4] управління якістю продукції на основі методів кваліметрії; [5] розглянуто інформаційне забезпечення автоматизованої системи управління хлібопекарським виробництвом.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи обговорювались та доповідались на: Міжнародній конференції з автоматичного керування «АВТОМАТИКА/ AUTOMATICS – 2015» (Одеса, 2015); Наукових конференціях молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (Київ, НУХТ, 2015-2017); XXIII Міжнародній конференції з автоматичного управління «АВТОМАТИКА/ AUTOMATICS – 2016» (Суми, 2016); III Всеукраїнській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2016); 8th Central European Congress on Food «CEFood congress» (Kyiv, Ukraine, 2016); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (К. : НУБіП України, 2016); Advances in Intelligent Systems and Computing (Warsaw, Poland, 2016); International scientific – practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS–2016» (Kiev, Ukraine, 2016); III International Scientific and Practical Conference "Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for Their Development" (Abu-Dhabi, UAE, 2016).

Публікації. Основні результати роботи викладено у 21 друкованих працях, з яких 5 статей у фахових виданнях, 4 з них у закордонних виданнях, а також один патент України та 15 тез доповідей.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (160 найменувань) і додатків. Загальний обсяг становить 225 стор., з яких зміст викладено на 190 стор. тексту і включає 66 рисунків, 17 таблиць та 7 додатків.

Основні положення, що виносяться на захист: результати досліджень технологічних процесів хлібопекарського виробництва як складного об'єкта управління в умовах невизначеності; критерії та задачі багатокритеріальної оптимізації функціонування технологічних підсистем хлібозаводу; математичні моделі технологічних підсистем, алгоритми, структура та параметри сценаріїв управління технологічними процесами виготовлення хліба; функціональна структура, алгоритмічне та програмне забезпечення інтелектуальної системи управління хлібопекарським виробництвом на основі методів кваліметрії.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Обґрунтовано актуальність роботи, яка відзначається необхідністю розробки системи автоматизації технологічного комплексу хлібопекарського виробництва для підвищення ефективності його функціонування на основі методів кваліметрії. Визначено предмет та об'єкт дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

Перший розділ присвячений аналізу технологічних процесів хлібокомбінату як складного об'єкта керування, оцінки рівня систем автоматизації кожної стадії хлібопекарського виробництва, сформовані перспективні напрями розвитку систем автоматичного керування технологічним комплексом хлібопекарського виробництва на основі методів кваліметрії. Визначено, що технологічні процеси хлібопекарського виробництва мають характерні риси складних технологічних систем, серед яких необхідно виділити наявність процесів з різною природою фізико-хімічних явищ, багатофакторність, нестаціонарність, нелінійність, високий ступінь невизначеності та складний характер поведінки.

Встановлено, що технологічні процеси хлібопекарського виробництва складаються з таких основних стадій: підготовка сировини до виробництва, дозування сировини, заміс опари, бродіння опари, заміс тіста, бродіння тіста, вистоювання тістових заготовок, випікання хліба. Для кожної стадії хлібопекарського виробництва були виділені задачі та проблеми.

Аналіз розробок в галузі автоматизації хлібопекарського виробництва показав, що проблемами підвищенням якості та розробками систем автоматизації технологічного забезпечення займалась значна кількість таких вчених як: Кишенько В.Д.; Благовещенська М.М.; Щербатенко В.В.; Швед С.В.; Устинов Ю.В.; Злобін Л.А.; Шаруда С.С.; Баришніков О.М.; Самойленко Ю.О. та інші.

На основі проведеного аналізу принципів керування складними технологічними комплексами визначені основні перспективні напрямки розвитку систем автоматизованого управління хлібопекарським виробництвом: методи кваліметрії, використання інженерії знань, сценарний підхід. Сформульовані задачі досліджень.

Визначено, що сучасні системи автоматизації хлібокомбінату відповідно до задач управління мають ряд недоліків: оптимізація технологічних режимів проводиться в однокритеріальній постановці, що не відображає реальну багатоальтернативність розвитку об'єкта в умовах невизначеності, яку можна врахувати за допомогою сценарного підходу, суттєва нелінійність та складність поведінки об'єкта вимагає застосування синергетичних регуляторів.

У другому розділі розглянуто інформаційні аспекти управління процесами підвищення якості хлібопекарської продукції та ефективності процесу приготування хліба; розроблені моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції; проведена лінгвістична апроксимація основних змінних; проведене когнітивне моделювання перебігу технологічних процесів та здійснена ідентифікація мережевих моделей в характерних ситуаціях поведінки об'єкта. На основі проведеного системного аналізу об'єкта керування виявлено основні технологічні фактори та показники ефективності основних стадій виробництва хліба. Враховуючи важливість оцінки якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції, значної кількості показників та складності оцінки їх взаємозв'язків, був проведений аналіз об'єкта керування хлібопекарського виробництва з позицій категорійно-функторного підходу. На основі якого було виділено категорії якості, продуктивності та втрат. За рахунок використання алгоритмізованих процедур у вербальній формі категорійно-функторний підхід дозволив знизити частку суб'єктивної оцінки параметрів якості. При використанні теорії категорій та функторів виникає можливість розрахунку кількісних характеристик станів системи, зокрема показників якості і виявлення, за їхньої допомоги, оптимальних станів системи.

Встановлення зв'язку між різними категоріями здійснювалось на основі функторів, які дозволили, наприклад, для категорії якості - виявити властивості різних показників якості завдяки функторним перетворенням шляхом визначення структури та параметрів функторів (взаємозв'язків між окремими показниками якості). Категорія складає собою поєднання двох класів – класу об'єктів та класу морфізмів. Морфізми як характеристики взаємозв'язків між категоріями були сформульовані у вербальній формі та реалізовані в базі знань у вигляді продукційних правил.

На основі методів кваліметрії, було проведено експертне опитування. Експертне опитування проводилося за допомогою анкетування для оцінки якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції і встановлення їх рангів. В ролі експертів були викладачі, технологи. Внаслідок анкетування експертів отримано ранжування за важливістю показників хлібопекарського виробництва та ступені їх впливу на якість напівфабрикатів та готової продукції. Обробка отриманих даних проводилась за допомогою пакету STATISTICA.. Якість оцінювалась інтегральною залежністю показників :

$$K=f(K_1, K_2, \dots, K_n) \quad (1)$$

де K_1, K_2, \dots, K_n – окремі показники якості. В загальному вигляді комплексний показник якості описується виразом:

$$K=f(K_i \cdot M_i) \quad (2)$$

де M_i – коефіцієнт важливості i -го відносного показника якості продукції ($0 \leq M_i \leq 1$); K_i – відносний i -й показник якості продукції.

З використанням принципів кваліметрії на основі експертної інформації були отримані комплексні показники оцінки якості продукції ($K_1 - K_8$).

Стадія підготовки сировини:

$$K_1 = 0.263F_6 + 0.109ВПЗ_6 + 0.245H_{\text{стисн.}}^{\text{АП}} + 0.185K_{\text{сир.кл.}} + 0.078\Gamma_6 + 0.12K_6 \quad (3)$$

Стадія дозування сировини:

$$K_2 = 0.446\rho_{\text{др.}} + 0.387\rho_{\text{с.р.}} + 0.167 W_6 \quad (4)$$

Стадія замісу опари:

$$K_3 = 0.098 W_{\text{оп}} + 0.113\rho_{\text{оп}} + 0.145\eta_{\text{оп}} + 0.276 F_6 + 0.11\rho_{\text{др}} + 0.08\rho_{\text{с.р.}} + 0.178W_6 \quad (5)$$

Стадія бродіння опари:

$$K_4 = 0.098W_{\text{оп}} + 0.113\rho_{\text{оп}} + 0.11G_{\text{др.}} + 0.086\eta_{\text{оп}} + 0.133F_6 + 0.102\rho_{\text{др.}} + 0.08\rho_{\text{с.р.}} + 0.096W_6 + 0.086ПС_{\text{др.}} + 0.063\Gamma_6 + 0.33K_6 \quad (6)$$

Стадія замісу тіста:

$$K_5 = 0.098W_{\text{т}} + 0.348I_{\text{з.т.}} + 0.145\eta_{\text{т}} + 0.163C_{\text{з.т.}} + 0.11ВПЗ_6 + 0.136W_6 \quad (7)$$

Стадія бродіння тіста:

$$K_6 = 0.98A_{\text{п.т.}} + 0.158I_{\text{з.т.}} + 0.086G_6 + 0.096F_6 + 0.102t_{\text{т}} + 0.079ПС_{\text{оп}} + 0.017\rho_{\text{Ноп}} + 0.107K_{\text{оп}} + 0.096W_{\text{т}} + 0.161\Gamma_6 \quad (8)$$

Стадія вистоювання тістових заготовок:

$$K_7 = 0.201ПС_{\text{т.з.}} + 0.213\Phi_{\text{т.з.}} + 0.158\tau_{\text{вист.}} + 0.143\Pi_{\text{т.з.}} + 0.095t_{\text{ш.в.}} + 0.087W_{\text{ш.в.}} + 0.065m_{\text{т.з.}} + 0.038\eta_{\text{т}} \quad (9)$$

Стадія випікання хліба:

$$K_8 = 0.176P_x + 0.183K_x + 0.165\Phi_x + 0.142W_x + 0.211t_{\text{ц.м.}} + 0.036H_{\text{в.пр}} + 0.087\tau_{\text{вип.}} \quad (10)$$

де F_6 - сила борошна, од. приладу; K_6 - кислотність борошна, град; W_6 - вологість борошна, %; $ВПЗ_6$ - водопоглинаюча здатність борошна, $\text{см}^3/100\text{г}$; Γ_6 - газоутворююча здатність борошна, $\text{см}^3\text{CO}_2/100\text{г}$; G_6 - витрата борошна, кг; $K_{\text{оп}}$ - титрована кислотність опари, град; $\eta_{\text{оп}}$ - реологічні властивості опари; $\rho_{\text{др}}$ - густина соляного розчину, $\text{г}/\text{м}^3$; $H_{\text{стисн.}}^{\text{АП}}$ - якість клейковини, од. пенетрометра; $K_{\text{сир.кл.}}$ - кількість сирової клейковини, % до маси борошна; $\rho_{\text{др}}$ - густина рідких дріжджів, $\text{г}/\text{м}^3$; $W_{\text{оп}}$ - вологість опари, %; $\rho_{\text{оп}}$ - густина опари, $\text{г}/\text{м}^3$; $\tau_{\text{вист.}}$ - тривалість вистоювання тістових заготовок, хв.; $G_{\text{др.}}$ - кількість дріжджів, г; $ПС_{\text{др.}}$ - підйомна сила дріжджів, хв.; $W_{\text{т}}$ - вологість тіста, %; $t_{\text{т}}$ - температура тіста, $^{\circ}\text{C}$; $\eta_{\text{т}}$ - реологічні властивості тіста; $C_{\text{з.т.}}$ - спосіб замісу тіста; $\Pi_{\text{т.з.}}$ - пористість тістової заготовки, %; $A_{\text{п.т.}}$ - питома робота замісу тіста, кДж/кг; $I_{\text{з.т.}}$ - інтенсивність замісу тіста; $ПС_{\text{оп}}$ - підйомна сила опари, хв.; $\rho_{\text{Ноп}}$ - активна кислотність опари, од. рН; $ПС_{\text{т.з.}}$ - підйомна сила тістової заготовки, мм; $\Phi_{\text{т.з.}}$ - формоутримуюча здатність тістової заготовки (Н:D); $t_{\text{ш.в.}}$ - температура в шафі вистоювання, $^{\circ}\text{C}$; $W_{\text{ш.в.}}$ - вологість в шафі вистоювання, %; $m_{\text{т.з.}}$ - маса тістової

заготовки, гр.; K_x - кислотність хліба, град; Φ_x - формостійкість подового хліба (Н:D); P_x - пористість хліба, %; W_x - вологість хліба, %; $t_{ц.м.}$ - температура центра м'якиша, $^{\circ}C$; $\tau_{вип.}$ - тривалість випікання тістових заготовок, хв.; $N_{в.пр}$ - відносна пружність м'якиша, %.

Проведена лінгвістична апроксимація основних технологічних показників (загальна кількість 19) для формування сценаріїв керування та врахування невизначеностей в поведінці технологічних процесів виробництва хліба. Наведено приклад функції належності для лінгвістичної змінної «Інтенсивність бродіння опари» (рис.1), «Час бродіння опари» (рис.2), «Втрати сухих речовин при бродіння опари» (рис.3), а в табл.1-3 – характеристика термів для кожної змінної.

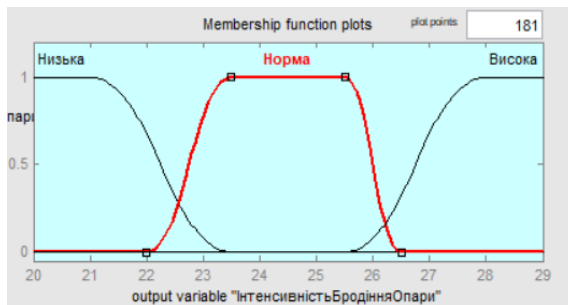


Рис.1 Функції належності лінгвістичної змінної «Інтенсивність бродіння опари».

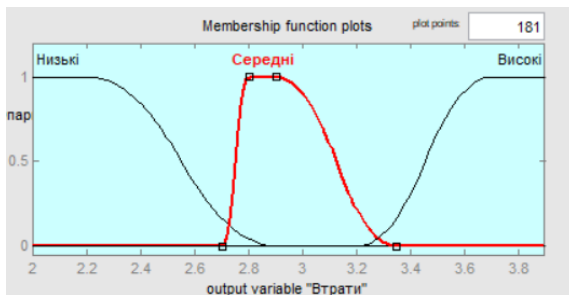


Рис.2 Функції належності лінгвістичної змінної «Час бродіння опари».

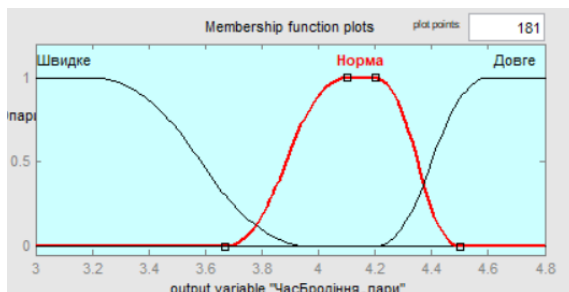


Рис. 3 Функції належності лінгвістичної змінної «Втрати».

Табл.1 Характеристика термів для лінгвістичної змінної «Інтенсивність бродіння опари».

Інтенсивність бродіння опари	Координати функції належності
Низька	[21 23.5]
Норма	[22 23.5 25.5 26.5]
Висока	[25.5 28]

Табл.2 Характеристика термів для лінгвістичної змінної «Час бродіння опари».

Час бродіння опари	Координати функції належності
Швидке	[3.2 3.97]
Норма	[3.67 4.1 4.2 4.5]
Довге	[4.2 4.6]

Табл.3 Характеристика термів для лінгвістичної змінної «Втрати».

Втрати	Координати функції належності
Низькі	[2.2 2.9]
Середні	[2.7 2.8 2.9 3.35]
Високі	[3.205 3.705]

Враховуючи багатofакторність об'єкта та невизначеність його поведінки залежно від впливу факторів проведено когнітивне моделювання, що дозволило спрогнозувати наслідки впливу тих чи інших факторів, здійснити

вибір необхідних заходів щодо підвищення ефективності технологічних процесів та уникнення конфліктних ситуацій.

Для побудови когнітивних моделей ситуацій, які виникають під час процесу приготування хліба, на основі категорійно-функторного аналізу були визначені основні напрямки ситуаційної поведінки об'єкта управління

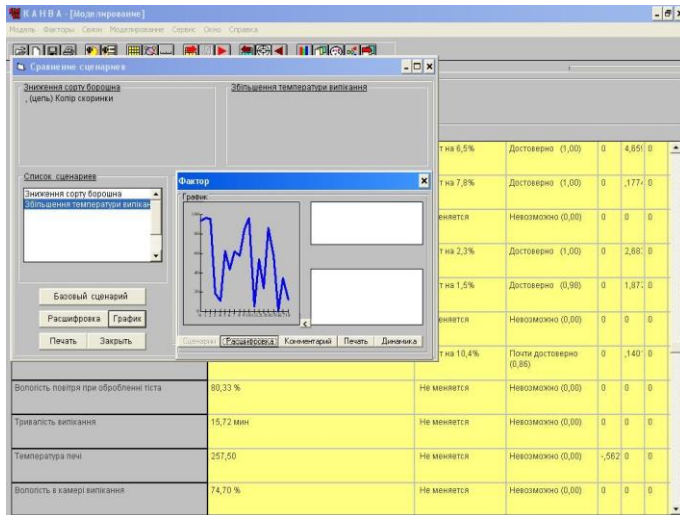


Рис.4. Таблиця моделювання.

від обраного сценарію (рис.4), здійснено порівняння сценаріїв за прогнозованістю та ефективністю (рис.5).



Рис.5. Результати прогнозування.

В третьому розділі створені сценарії управління, здійснена ідентифікація математичних моделей в ситуаційно - значущих зонах, проведена багатокритеріальна оптимізація технологічних процесів виробництва хліба в умовах невизначеності та ситуаційної зміни пріоритетності критеріїв при нечітких обмеженнях.

Розроблена онтологія хлібопекарського виробництва, що дає необхідні можливості практичного застосування результатів для розробки ефективних ресурсощадних стратегій управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва.

Розроблені А- та С-сценарії хлібопекарського виробництва, в яких окреслюються стратегії керування в кожній ситуаційно-значущій зоні об'єкта керування, яка класифікується за комбінацією нечітких значень режимних

хлібопекарського виробництва в залежності від ряду технологічних факторів, такі як якісні показники сировини, напівфабрикатів, готової продукції та режимні параметри для кожної стадії виробництва. Використовуючи пакет когнітивного моделювання «КАНВА» було здійснене комп'ютерне моделювання виробничих ситуацій.

Були побудовані орієнтовно зважені графи ситуацій, визначені числові результати та побудовані графіки змін факторів в залежності

параметрів на кожній стадії виробництва хлібобулочних виробів. Проведений факторно-цільовий стадій дозволив провести квантифікацію цілей та оцінити впливові фактори. .

Сценарій врахує цілі, а також фактори впливу, формуючи операції та міжопераційні зв'язки. Створення сценаріїв управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва здійснювалась поетапно: розробка абстрактного (А) сценарію (рис. 6, табл. 4), в якому неврахована внутрішня структура об'єктів та подальше розкриття операцій та міжопераційних зв'язків у структурному (С) сценарії (рис. 7, табл.5) на основі опису наборів властивостей-атрибутів.

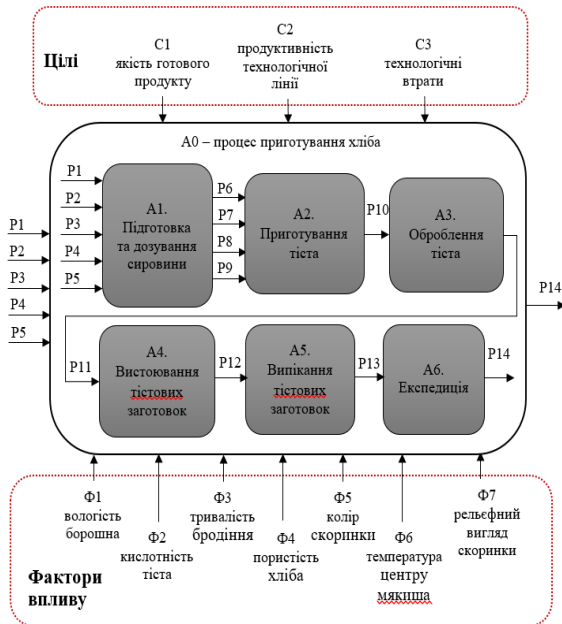


Рис. 6. А - сценарій управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва

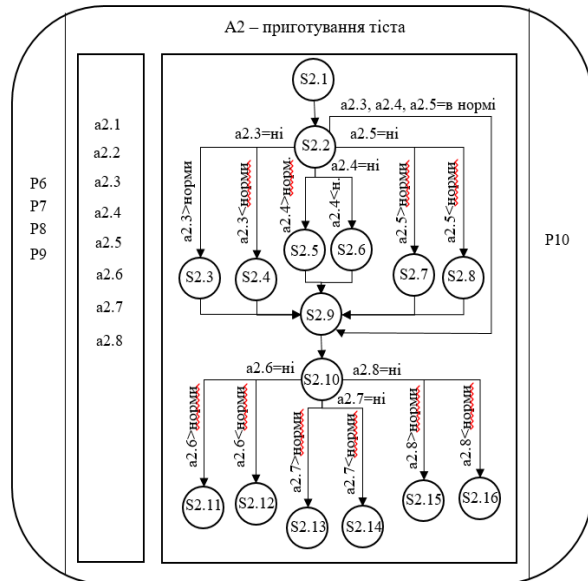


Рис. 7. Фрагмент С- сценарію, клас А2

Таблиця 4. Основні об'єктні потоки

Позначення	Зміст
P1	Подача води
P2	Подача борошна
P3	Подача дріжджового розчину
P4	Подача солі
P5	Подача допоміжної сировини (відповідно до рецептури)
P6	Подача води
P7	Подача підготовленого борошна
P8	Подача підготовленої опари
P9	Подача допоміжної сировини (відповідно до рецептури)
P10	Подача тіста
P11	Подача тістових заготовок
P12	Подача тістових заготовок після вистоювання
P13	Вихід готової продукції
P14	Вихід готової продукції до торгової мережі

Табл. 5. Життєвий стан та атрибути об'єктів С-сценарію

Клас	Позначення та зміст стану	Позначення та зміст атрибуту
A2	S2.1 Змішування опари S2.2 Бродіння опари S2.3 Зменшення вологості S2.4 Збільшення вологості S2.5 Збільшення температури S2.6 Зменшення температури S2.7 Коли тісто перезріле S2.8 Збільшення часу витримки S2.9 Заміс тіста S2.10 Дозрівання тіста S2.11 Зменшення тривалості дозрівання S2.12 Збільшення тривалості дозрівання S2.13 Зменшення вологості тіста S2.14 Збільшення вологості тіста S2.15 Зменшення температури тіста S2.16 Збільшення температури тіста	a2.1 Вологість борошна a2.2 Кислотність борошна a2.3 Вологість опари a2.4 Температура опари a2.5 Час дозрівання a2.6 Дозрілість тіста a2.7 Вологість тіста a2.8 Температура тіста

На основі А-сценарію управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва і С-сценарію класу А2 побудовано мережа Петрі (рис. 8). В кожній ситуаційно-значущій зоні визначається подія та кількість подій.

В середовищі Matlab реалізована ідентифікація математичних моделей методом найменших квадратів при їх конкурентному відборі за критеріями Акаїке, детермінації, Хокінга та Фішера, що характеризували точність та

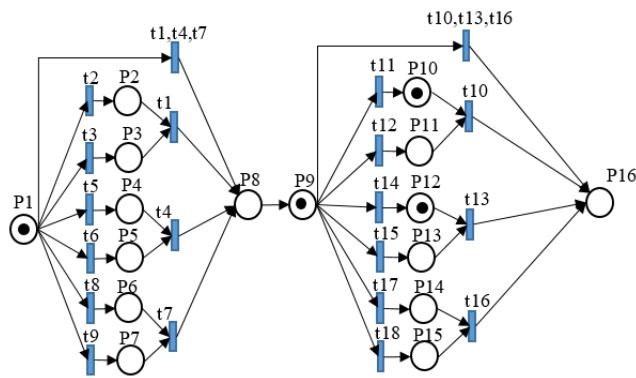


Рис. 8. Мережа Петрі з кольоровими фішками.

складність моделей. Такий підхід забезпечив вибір оптимальних структур моделей в кожній ситуаційно-значущій зоні хлібопекарського виробництва для задач оптимального керування. Моделі описували залежності вихідних змінних процесу, якими були основні якісні показники напівфабрикатів та готової продукції, продуктивність, питомі втрати ресурсів на кожній стадії хлібопекарського виробництва від режимних параметрів та якісних

показників вхідної продукції. Моделі визначались при нечітких значеннях вхідних змінних (рис.9-11). Наприклад, для процесу приготування опари було розроблено такі моделі:

$$I_{\text{оп.он}}(t_{\text{он}}; W_{\text{он}}) = 1.1749 t_{\text{он}}^2 + 0.0244 W_{\text{он}}^2 - 0.4306 t_{\text{он}} W_{\text{он}} - 37.7031 t_{\text{он}} + 9.1866 W_{\text{он}} + 241.7074 \quad (11)$$

$$\tau_{\text{оп}}(t_{\text{он}}; W_{\text{он}}) = -0.0121 t_{\text{он}}^2 + 0.0352 W_{\text{он}}^2 - 0.2845 t_{\text{он}} W_{\text{он}} + 20.7471 t_{\text{он}} + 3.3791 W_{\text{он}} - 419.3326 \quad (12)$$

$$BTP_{\text{оп.он}}(t_{\text{он}}; W_{\text{он}}) = -0.44744 t_{\text{он}}^2 - 1.8553 W_{\text{он}}^2 + 4.1749 t_{\text{он}} W_{\text{он}} - 259.21 t_{\text{он}} + 120.12 W_{\text{он}} + 83.755 \quad (13)$$

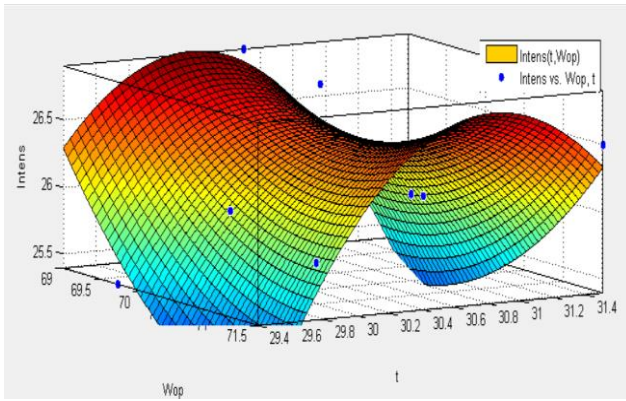


Рис. 9. Поверхня відгуку моделі зміни $I_{br.on}$ (t_{on} ; W_{on}).

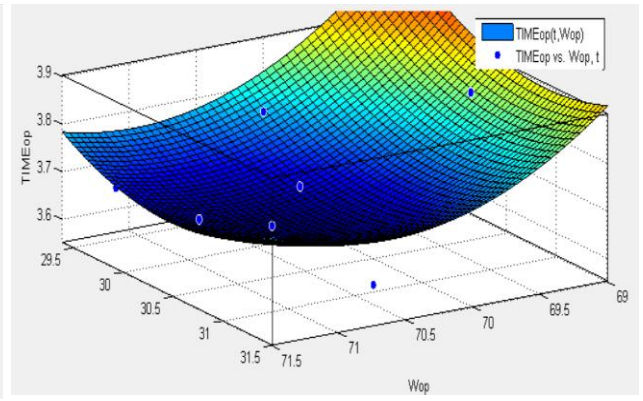


Рис. 10. Поверхня відгуку моделі зміни τ_{br} (t_{on} ; W_{on}).

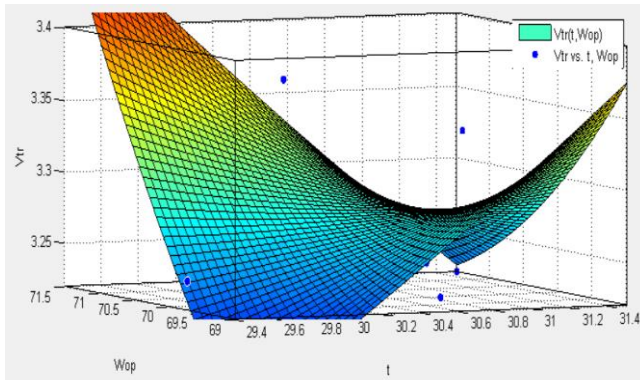


Рис. 11. Поверхня відгуку моделі зміни V_{tr} (t_{on} ; W_{on}).

де $I_{br.on}$ – інтенсивність бродіння опари, t_{on} – температура опари, W_{on} – вологість опари, τ_{br} – тривалість бродіння опари, $VTP_{br.on}$ – втрати сухих речовин при бродіння опари.

При розв'язанні задач оптимального керування технологічними процесами хлібопекарського виробництва були виділені такі множини критеріїв: K_i^S – якість, P_i^S – продуктивність; W_i^S – втрати, ситуаційна згортка яких за

схемою компромісу Парето при врахуванні умови ситуаційного змінювання пріоритетності критеріїв:

$$F = \prod_i \lambda_i^j (\prod_{j=1}^k A_i^j) \{Q_i^j(A_i^j)\}, \quad (14)$$

де i – номер ситуаційно-значущої зони, $i=1, \dots, n$; j – номер критерію, $j=1, \dots, m$; k – кількість критеріїв керування; Q_i^j – j -ий критерій керування для ситуаційно-значущої зони i ; A_i^j – набір параметрів для критерію Q_i^j ; λ_i^j – пріоритет критерію керування для i -ї ситуаційно-значущої зони.

Обмеження A_i^j є нечіткими і характеризуються відповідною ситуаційно-значущою зоною.

Багатокритеріальна оптимізація технологічних процесів хлібопекарського виробництва у ситуаційно-значущих зонах проводилась з використанням методу досяжних цілей, згідно з яким знаходиться мінімальне значення коефіцієнта γ , із системи нерівностей:

$$\begin{cases} E(x_1, x_2, x_3) - K_p \gamma \leq P_0 \\ I(x_1, x_2, x_3, x_4) - K_k \gamma \leq K_0 \\ B(x_1, x_2) - K_w \gamma \geq W_0 \end{cases} \quad (15)$$

При нечітких обмеженнях: "нижче_норми" $< x_i <$ "вище_норми", де E_0, I_0, B_0 – сподівання при пошуку оптимального значення. Фактично, дані значення визначають точку в просторі критеріїв, до якої повинно прямувати оптимальне рішення; K_p, K_k, K_w – відповідні вагові коефіцієнти, які визначають, наскільки близько повинно бути рішення до оптимального результату. Чим ближче значення вагового коефіцієнта до нуля, тим більш важливим є критерій для пошуку оптимального рішення.

Розроблений алгоритм сценарно-синергетичного керування технологічним комплексом хлібокомбінату, який передбачає наступні етапи: технологічний моніторинг; ситуаційна класифікація і віднесення поточної ситуації у відповідну ситуаційно-значущу зону; визначення оптимальних значень режимних параметрів технологічних процесів у відповідній ситуаційно-значущій зоні; передача результатів рішень оптимізації для змінювання параметрів синергетичних регуляторів виробничих установок хлібокомбінату.

У четвертому розділі розроблено автоматизовану систему управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва на основі методів кваліметрії (рис.12).

Здійснений синтез системи взаємозв'язаного керування технологічним комплексом хлібокомбінату методом аналітичного конструювання агрегованих регуляторів (метод АКАР). У рамках методології АКАР розроблені нелінійні математичні моделі динаміки приготування опари, приготування тіста, вистоювання, випікання.

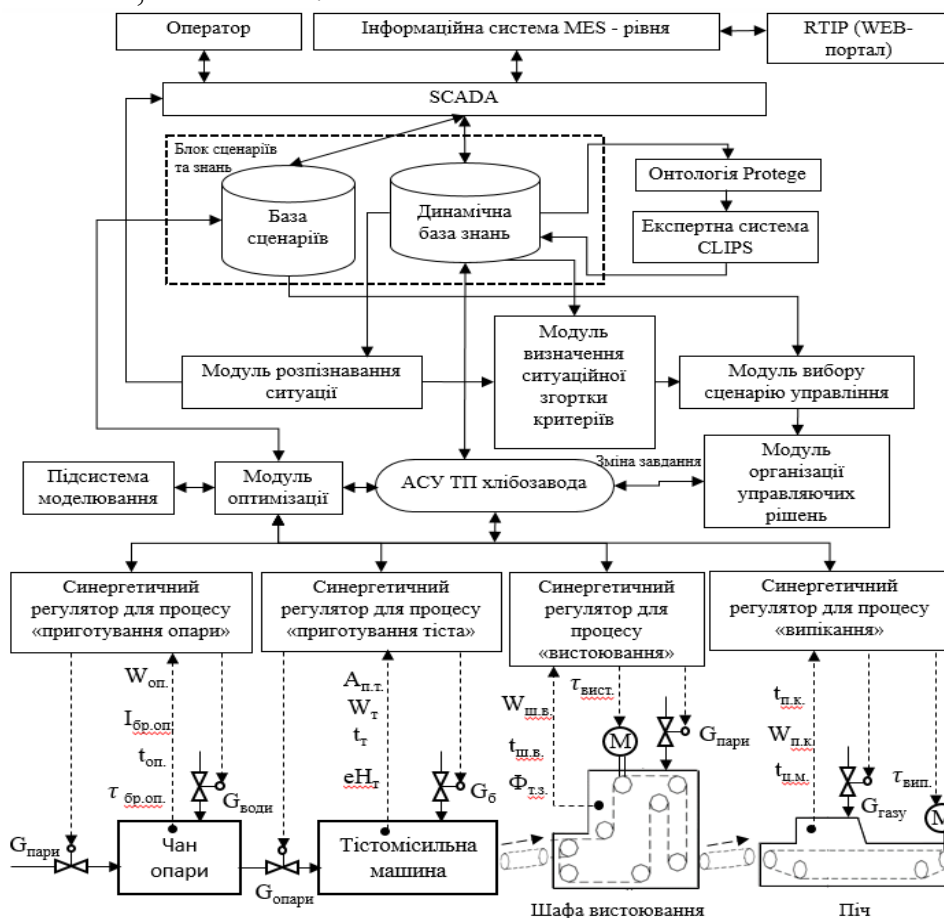


Рис. 12. Структура системи управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва на основі методів кваліметрії.

Як приклад, розглянемо синтез системи керування відділенням приготування опари. Розроблена математична модель процесу приготування опари має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dF_6}{d\tau} &= a_1 * F_6 + a_2 * F_{on} * R + a_3 * \frac{F_{on}^2 * W_{on}}{Втр_{бр.оп.} * t_{on}} + a_4 * \frac{Втр_{бр.оп.} * W_{on}}{t_{on}} + a_5 * t_{on} \\ \frac{dF_{on}}{d\tau} &= -a_6 * \frac{F_{on}}{t_{on}} - a_7 * F_6 * R - a_8 * \frac{F_{on} * F_6 * W_{on}}{Втр_{бр.оп.} * t_{on}} - a_9 * Втр_{бр.оп.} * W_{on} * R + a_{10} * t_{on} \\ \frac{dВтр_{бр.оп.}}{d\tau} &= a_{11} * \frac{F_6 * W_{on}}{t_{on}} - a_{12} * \frac{Втр_{бр.оп.}}{t_{on}} \\ \frac{dR}{d\tau} &= a_{13} * \frac{F_6 * Втр_{бр.оп.} * W_{on}}{t_{on}} - a_{14} \end{aligned} \quad (16)$$

де F_6 – витрата борошна; F_{on} – витрата опари; $Втр_{бр.оп.}$ – витрата сухих речовин борошна при бродінні опари; t_{on} – температура опари; R – інтенсивність бродіння; W_{on} – вологість опари; $a_1 - a_{14}$ – параметри моделі визначаються шляхом ідентифікації багатомірних часових рядів за допомогою програмного середовища Vector ODE.

Згідно з методом аналітичного конструювання агрегованих регуляторів синтезували керувальні дії відділенням приготування опари $u_1(R, W_{on}, t_{on})$ – витрата борошна, $u_2(R, Втр_{бр.оп.}, t_{on})$ – витрата опари, які забезпечують перехід системи з довільної точки в околицю атракторів-багатообразів $\Psi_1(R, W_{on}, t_{on})=0$ і $\Psi_2(R, Втр_{бр.оп.}, t_{on})=0$.

Параметрами настроювання законів керування, які впливають на якість динаміки процесів і ефективно викликають самоорганізацію системи, є часові параметри – постійні часу T_1, T_2 . Проведені дослідження синтезованої системи синергетичного керування дозволили визначити оптимальні значення параметрів T_1 і T_2 за критеріями тривалості і ресурсозатрат (рис. 13).

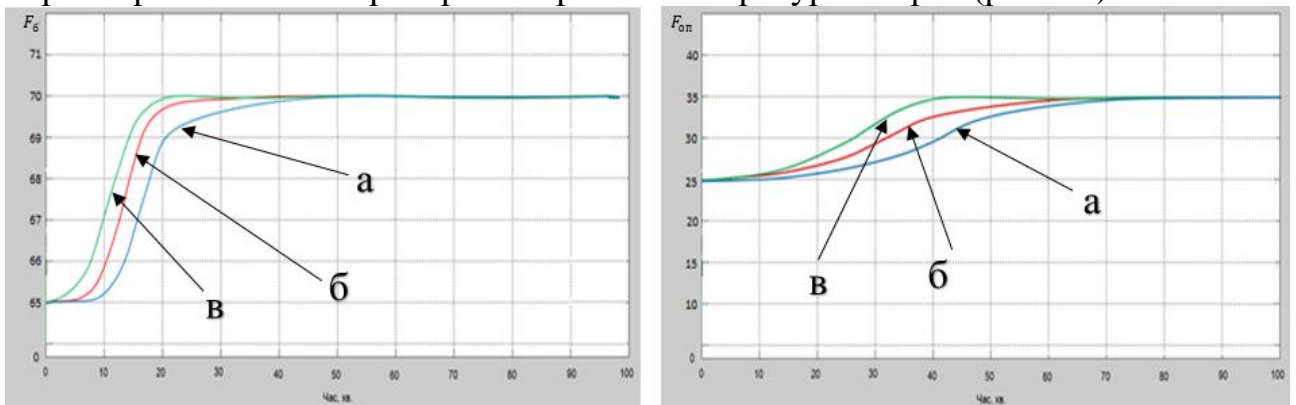


Рис. 13. Перехідний процес регулювання витрати борошна і витрати опари: а) при $T_1=160$ с; $T_2=180$ с; б) при $T_1=80$ с; $T_2=100$ с; в) при $T_1=10$ с; $T_2=20$ с.

Для дослідження ефективності розробленої системи сценарно-синергетичного керування технологічним комплексом хлібопекарського виробництва було проведено імітаційне моделювання шляхом порівняння функціонування розробленої системи із існуючими системами. Формування входних дій здійснювалось з використанням робастних планів експерименту Тагучі. Результати імітаційного моделювання при різних значеннях сигнал-шум наведені в табл.6.

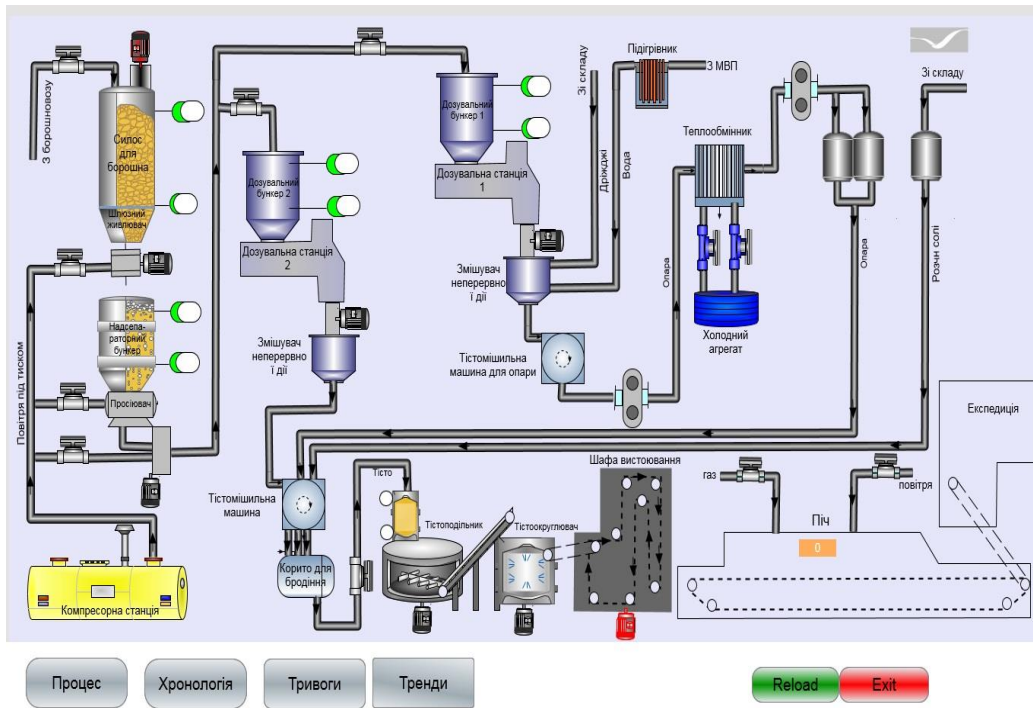


Рис. 14. Інтерфейс інтелектуальної системи керування.

Система керування технологічним комплексом хлібопекарського виробництва на основі методів кваліметрії (рис. 14) інтегрована в інформаційну вертикаль технологічного комплексу хлібокомбінату.

Проведені виробничі випробовування запропонованих технічних рішень на ПАТ «Київхліб» показали покращення якості продукції, збільшення продуктивності виробництва на 3,1 %, зменшення витрат енергоресурсів на 9 %.

Табл. 6. Результати імітаційного моделювання

Відношення сигнал-шум, ($Eta_{less-good}$) і ($Eta_{more-good}$)	Моделі існуючих системи керування			Імітаційні моделі керування		
	Доброякісність	Втра-ти, %	Продуктивність, м ³ /ГОД	Доброякісність	Втра-ти, %	Продуктивність, м ³ /ГОД
$Eta_{less-good} = -10 * \log_{10} \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n y_i^2$	-	-4,6	-	-	-4,1	-
$Eta_{more-good} = -10 * \log_{10} (\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2})$	82,6	-	421	85,7	-	430

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній роботі розв'язана науково-технічна задача підвищення ефективності хлібопекарського виробництва шляхом розробки автоматизованої системи управління технологічними процесами приготування хлібобулочних виробів на основі методів кваліметрії.

1. Проведений аналіз технологічних процесів приготування хліба з позицій кваліметрії та обробка результатів експериментальних досліджень показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції та розробити

моделі якості хлібопекарської продукції в залежності від показників борошна, напівфабрикатів та режимних параметрів хлібопекарського виробництва, які дали можливість оперативно проводити моніторинг якості при оптимізації технологічних процесів;

2. Набули подальшого розвитку математичні моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції на всіх стадіях виробництва хліба, які дозволили проводити оперативну комплексну оцінку якості при оптимізації технологічних процесів;

3. Проведений системний аналіз, експертне опитування та когнітивне моделювання дозволили виявити пріоритетні технологічні чинники забезпечення покращення якості продукції, підвищення продуктивності обладнання та зниження питомих витрат матеріальних ресурсів при виготовленні хлібопекарської продукції;

4. Вперше розроблена динамічна база знань хлібопекарського виробництва на основі онтології, яка реалізована в експертній системі оцінки якості продукції.

5. Удосконалені нелінійні моделі процесів приготування хліба, що дозволяють в реальному часі змінювати режими та тривалість стадій приготування хліба;

6. Набули подальшого розвитку алгоритми управління хлібопекарськими процесами, які дозволяють організувати багатокритеріальне оптимальне керування технологічними процесами хлібопекарського виробництва;

7. Вперше для технологічних об'єктів хлібопекарського виробництва здійснений синтез синергетичних агрегованих систем керування для організації малопотужних ресурсощадних керувальних дій резонансного стимулюючого характеру, що забезпечує досягнення визначених в залежності від виробничої ситуації цілей – атракторів як відображення бажаного у відповідності з фізико-хімічною природою об'єкта його цільового стану;

8. Удосконалена структура інтелектуальної автоматизованої системи синергетичного керування процесами хлібопекарського виробництва на основі динамічних баз знань та нелінійних моделей;

9. Проведене імітаційне моделювання та виробничі випробовування запропонованих технічних рішень підтвердило покращення якості продукції, збільшення продуктивності виробництва, зменшення витрат борошна;

10. Результати роботи використовуються в навчальному процесі кафедри автоматизації та інтелектуальних систем керування Національного університету харчових технологій та передані для впровадження на ДП «ІндаСофт-Україна», що підтверджено відповідними довідками.

Список опублікованих праць за темою дисертації

1. Kyshenko V. Categorical-functorial analysis of bakery production / V. D. Kyshenko, D. V. Pankov //Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. – B&M Publishing San Francisco, California, USA, 2016. – P. 220-224.

2. Pankov D. Features introduction of automated quality control system bakery products / D. Pankov, V. Kyshenko // Slovak international scientific journal, Bratislava, Slovakia, 2017. – №6. – P. 83-86.

3. Паньков Д. В. Створення онтології хлібопекарського виробництва в програмі PROTÉGÉ / Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько, А. П. Ладанюк // Харчова промисловість: науковий журнал. – 2017. – № 22. – С. 141-148.

4. Паньков Д. В. Автоматизоване управління якістю продукції хлібопекарського виробництва на основі принципів кваліметрії / Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько, С. С. Шаруда // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. 2018. – Том 29 (68), № 1, Ч.2. – С. 9-14.

5. Pankov D. Informational support of the automated control system for baking production / D. Pankov, V. Kyshenko // International science project, Turku, Finland, 2018. – № 12. – P. 37-41.

6. Патент на корисну модель 103533 UA, МПК А21В 1/00 (2015.01), А21D 8/06 (2006.01) Спосіб інтелектуального керування процесом випічки подового хліба на основі кваліметричних моделей / В. Д. Кишенько, Д. В. Паньков; заявник Національний університет харчових технологій – № u 2015 04955 ; заявл. 21.05.2015 ; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24, 2015 р.

7. Паньков Д. В. Управління якістю хлібопекарської продукції на основі онтологій / Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько // III Міжнародна науково-практична конференція “Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) ” , 12-15 травня 2015 р. – Черкаси: ComInt , 2015 р. – Секція 3 (Прикладні застосування інтелектуальних обчислень). – С. 245.

8. Паньков Д. В. Комп'ютерна кваліметрія при управлінні технологічним комплексом хлібопекарського виробництва / Д. В. Паньков, // 22 міжнародна конференція з автоматичного управління “Автоматика 2015”, 10-11 вересня 2015 р. – Одеса: ТЕС, 2015 р. – Секція 5 (Обробка інформації інтелектуальне управління). – С. 188-189.

9. Паньков Д. В. Динамічна кваліметрія в хлібопекарському виробництві / Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько // 81 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті”, 23-24 квітня 2015 р. – К.: НУХТ, 2015 р. – Ч.2. Секція 18 (18.2. Підсекція автоматизоване управління технологічними процесами). – С. 316.

10. Паньков Д. В. Формування знань експертів при інтелектуальному керуванні якістю хлібопекарської продукції / Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами», 25 листопада 2015 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2015 р. – С. 68. — Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>.

11. Паньков Д. В. Побудова бази знань експертної системи якості хлібопекарського виробництва: онтологічний підхід / Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько / 82 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства

у XXI столітті”, 13-14 квітня 2016 р. – К.: НУХТ, 2016 р. – Ч.2. Секція 18 (18.2. Підсекція автоматизоване управління технологічними процесами). – С. 301.

12. Pankov D. The information-analytical system of the quality control in the bakery industry / D. Pankov // 8 th Central European Congress on Food 2016 — Food Science for Well-being (CEFood 2016): Book of Abstracts. — 23-26 May 2016. — К.: NUFT, 2016. — P. 200.

13. Паньков Д. В. Факторно-цільовий аналіз хлібопекарського виробництва для задач автоматизованого керування якістю продукції / Д. В. Паньков // 23 міжнародна конференція з автоматичного управління “Автоматика 2016”, 22-23 вересня 2016 р. – Суми: 2016 р. – Секція 5 (Інтелектуальні системи управління та аналізу даних). – С. 214.

14. Паньков Д. В. Формування динамічних баз знань на основі адаптивної резонансної теорії при керуванні якістю хлібопекарської продукції / Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько // Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК: IV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, 21-22 листопада 2016 р., Київ. – К. : НУБіП України, 2016. – С.121-123.

15. Pankov D. Dynamic peer evaluation system of quality bakery products / D. V. Pankov, V. D. Kyshenko // International scientific - practical conference of young scientists «BUILD-MASTER-CLASS-2016». Kiev 16-18 of November 2016. – P. 157.

16. Паньков Д. В. Підтримка прийняття рішень при керуванні складним технологічним комплексом хлібопекарського виробництва на основі онтологічної бази знань / Д. В. Паньков // III МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА INTERNET-КОНФЕРЕНЦІЯ НУХТ”, 23 листопада 2016 р. – Київ: 2016 р. – Секція 1 (Автоматизація процесів управління технологічними процесами та комплексами). – С. 68-69.

17. Pankov D. Cognitive computer modeling for bakery production's technological processes mode of behavior/ D. Pankov, V. Kyshenko // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Scientific and Practical Results in 2016. Prospects for Their Development" - December 27-28, 2016, Abu-Dhabi, UAE. – P. 24-27.

18. Pankov D. Intelligent quality control of bakery products / D. Pankov, V. Kyshenko // Youth scientific achievements to the 21st century nutrition problem solution: 83 International scientific conference of young scientist and students, April 5-6, 2017. – К.: NUFT, 2017. – Part 2. – P. 255.

19. Pankov D. Multicriteria optimization of technological processes for dough preparation in bread production / D. Pankov, V. Kyshenko // Proceedings of the International Scientific Conference "Topical problems of modern science", Warsaw, Poland, 2017. – №4. – P. 3-7.

20. Паньков Д. В. Концептуальна математична модель для аналізу якості хлібопекарської продукції/ Д. В. Паньков, В. Д. Кишенько // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем (КМОСС-2017): матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції (м. Дніпро, 1-3 листопада 2017 року) / Міністерство освіти і науки України, Державний вищий

навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет». – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2017. – С. 91-93.

21. Pankov D. Intelligent system of control of technological complex of baking production in conditions of conflict / D. Pankov // IV Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2017 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2017 р. – С.176. — Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>.

АНОТАЦІЯ

Паньков Д. В. Автоматизоване управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва на основі методів кваліметрії.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2018.

Дисертація присвячена розробці нового підходу до управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва. Основними критеріями при управлінні хлібопекарським підприємством є якість продукції, продуктивність та технологічні втрати. З метою уточнення показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції проведено експертне опитування. Проведена лінгвістична апроксимація основних технологічних показників для формування сценаріїв керування та врахування невизначеностей в поведінці технологічних процесів виробництва хліба. Розроблена онтологія хлібопекарського виробництва, що дає необхідні можливості практичного застосування результатів для розробки ефективних ресурсощадних стратегій управління технологічним комплексом хлібопекарського виробництва. Проведено факторно-цільовий аналіз, що дозволило встановити і відкоригувати цілі управління та фактори впливу на них. Створено структуру та розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення автоматизованої системи сценарно-синергетичного керування хлібопекарським виробництвом з використанням сучасних інформаційних технологій.

Ключові слова: хлібопекарське виробництво, синергетичний регулятор, математична модель, якість продукції, кваліметрія, факторно-цільовий аналіз.

АННОТАЦИЯ

Паньков Д. В. Автоматизированное управление технологическим комплексом хлебопекарного производства на основе методов квалиметрии.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2018.

Диссертация посвящена разработке нового подхода к управлению технологическими процессами хлебопекарного производства. Основными критериями при управлении хлебопекарным предприятием является качество

продукции, производительность и технологические потери. С целью уточнения показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции проведено экспертный опрос. Проведена лингвистическая аппроксимация основных технологических показателей для формирования сценариев управления и учета неопределенностей в поведении технологических процессов производства хлеба. Разработана онтология хлебопекарного производства, дает необходимые возможности практического применения результатов для разработки эффективных ресурсосберегающих стратегий управления технологическим комплексом хлебопекарного производства. Проведен факторно-целевой анализ, что позволило установить и откорректировать цели управления и факторы влияния на них. Создана структура и разработано алгоритмическое и программное обеспечение автоматизированной системы сценарно-синергетического управления хлебопекарным производством с использованием современных информационных технологий.

Ключевые слова: хлебопекарное производство, синергетический регулятор, математическая модель, качество продукции, квалиметрия, факторно-целевой анализ,

SUMMARY

Pankov D.V. Automated control of the technologic complex of the hlibopekarsky vibrobirna on the basis of the method kvalimetriya.

Dissertation for Ph. D. (candidate of technical sciences) degree in specialty 05.13.07 – automation of control processes. – National University of Food Technologies, Kyiv, 2018.

The dissertation is devoted to the development of a new approach to the management of technological processes of baking production. The main criteria for managing a bakery business are product quality, productivity and technological losses. Taking into account the importance of assessing the quality of raw materials, semi-finished products and finished products, a significant number of indicators and the complexity of assessing their interactions, an analysis of the baking production management object from the category-functor approach was carried out, which allowed using verbally algorithmic procedures to reduce the share subjective evaluation of quality parameters. The information aspects of management of the process of improving the quality of the bakery products and the efficiency of the bread making process are considered. In order to clarify the quality indices of raw materials, semi-finished products and finished products, an expert survey was conducted. Models of quality of raw materials, semi-finished products and finished products have been developed. The linguistic approximation of the main technological indicators for the formation of management scenarios and taking into account the uncertainties in the behavior of technological processes of bread production are carried out. To support decision-making management, cognitive modeling was performed, which allowed to trace the causal relationships between the parameters of the technological processes and develop management scenarios. The ontology of baking production is developed, which provides the necessary

opportunities for the practical application of results for the development of effective resource-saving strategies for managing the technological complex of baking production. Factor-target analysis of the control object was carried out, which made it possible to establish and correct the objectives of management and factors of influence on them. A passive experiment was carried out on the results of which the identification of mathematical models describing the dependencies of output process variables that can be measured operatively by objective methods and characterize the quality of semi-finished products and finished products, productivity, specific losses of resources at each stage of the baking production, from the regime parameters and qualitative indicators of incoming products. The synthesis of the system of interconnected control of the technological complex of the bakery is carried out by the method of analytical construction of the aggregate regulators (AKAR method). In the framework of the AKAR methodology, nonlinear mathematical models of cooking dynamics, preparation of dough, stand, baking were developed. The structure and algorithmic software and software of the automated system of scenario-synergistic management of baking production using modern information technologies are developed. To study the effectiveness of the developed system of scenario-synergistic management of the technological complex of baking production, simulation modeling was conducted by comparing the functioning of the developed system with existing systems. The formation of incoming actions was carried out using robust plans of the Taguchi experiment. The conducted production tests of the proposed technical solutions showed improvement of product quality, increase in productivity of production, reduce the cost of resources. The system of management of the technological complex of baking production based on the methods of qualimetry is integrated into the information vertical of the technological complex of the bakery.

Keywords: baking production, synergetic regulator, mathematical model, product quality, qualimetry, quotient-target analysis.