

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ШАРУДА СВІТЛАНА СЕРГІЇВНА

УДК 681.514:664.6

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА БАГАТОЦІЛЬОВОГО УПРАВЛІННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ХЛІБОПЕКАРСЬКОГО
ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ**

05.13.07 - Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ-2009

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Кишенько Василь Дмитрович,
Національний університет харчових технологій,
м. Київ,
доцент кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Богущевський Володимир Святославович,
Національний технічний університет України «КПІ»
Міністерства освіти і науки України, професор
кафедри фізико-хімічних основ технології металів

кандидат технічних наук, доцент
Боровська Таїса Миколаївна,
Вінницький національний технічний університет,
доцент кафедри комп'ютерних систем управління

Захист відбудеться "09" грудня 2009 року о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м.Київ-33, вул. Володимирська, 68, ауд. A-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м.Київ-33, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий "06" листопада 2009 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

В.М.Філоненко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Хлібопекарська промисловість, як одна із провідних галузей харчових виробництв, пов'язана із задоволенням попиту населення на хлібобулочні вироби, вирішує комплекс задач у застосуванні передових технологій та сучасного обладнання. Основна увага приділяється поліпшенню якості продукції, раціональному використанню ресурсів і сировини, підвищенню продуктивності технологічних ліній. Розв'язання таких задач неможливе без автоматизації виробництва на основі сучасних інформаційних технологій, передових досягнень в теорії та практиці автоматизованого управління.

Технологічні процеси хлібопекарського виробництва є складним технологічним комплексом, характерними особливостями якого є високий ступінь невизначеності, велика розмірність, латентність показників якості сировини та напівфабрикатів, багатоцільова поведінка, коли пріоритетність цілей залежить від ситуації, яка виникає в залежності від обстановки на об'єкті управління.

Існуючі системи автоматизації технологічних процесів хлібопекарського виробництва не забезпечують оперативного комплексного реагування на швидкоплинні зміни ситуаційної поведінки об'єктів управління, яка залежить від багатьох чинників технологічного та організаційного характеру. Поліпшити ситуацію можливо за рахунок використання сценаріїв управління хлібопекарським виробництвом на основі когнітивно - сценарних моделей технологічних процесів, а також алгоритмів управління із застосуванням інтелектуальних механізмів. Тому розробка систем багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва на основі сценарного підходу та інтелектуальних технологій, що сприятиме підвищенню продуктивності, зменшенню питомих втрат і витрат ресурсів та сировини, поліпшенню якості продукції є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках фундаментальних досліджень Міністерства освіти і науки України за тематикою проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій «Створити наукові основи управління біотехнологічними процесами харчових виробництв на основі принципів самоорганізації та адаптації» (№ державної реєстрації 0104U000849), «Розробити основи ресурсоощадного інтелектуального керування біотехнологічними процесами з використанням багатоагентних сценарно-когнітивних моделей» (№ державної реєстрації 0107U000223).

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення техніко-економічних показників хлібопекарського виробництва шляхом створення автоматизованої системи багатоцільового управління з використанням сценарного підходу та інтелектуальних механізмів.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі задачі:

- враховуючи різноманітність технологічних параметрів на різних стадіях виробництва хліба та необхідність оперативного комплексного

аналізу стану об'єкта управління, провести з позицій кваліметрії оцінювання інформативності показників та розробити моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції;

- для організації ефективного телеомного управління виділити ситуаційно-значущі зони по всій технологічній лінії виробництва хліба та виконати в цих зонах ідентифікацію математичних моделей;
- провести комп'ютерне моделювання перебігу технологічних процесів виробництва хліба за допомогою сценарно-когнітивних моделей для дослідження причинно-наслідкових зв'язків між параметрами та виявлення тенденцій розвитку ситуацій в об'єкті управління;
- здійснити постановку та розв'язати задачу багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва хліба в умовах невизначеності та конфліктності, ситуаційного змінювання пріоритетності критеріїв;
- розробити сценарії управління технологічним комплексом хлібозаводу, які забезпечують організацію ефективних стратегій управління на основі інтелектуального аналізу ситуацій, розв'язання критеріальних та ресурсних конфліктів;
- побудувати функціональну структуру системи багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва на основі сценарного підходу з використанням інтелектуальних механізмів.

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. Методи, що використовуються для розв'язку поставлених задач, базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного управління, методах системного аналізу, категорійно-функторного аналізу, кваліметрії, ідентифікації об'єктів управління, базових принципах сценарного підходу, багатокритеріальної оптимізації, теорії конфлікту, інженерії знань, імітаційного моделювання. Вірогідність основних теоретичних положень і результатів досліджень підтверджувалась шляхом використання математичного моделювання та експериментальних даних.

Наукова новизна. При вирішенні поставлених задач одержані нові наукові результати:

- запропоновані математичні моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції на всіх стадіях виробництва хліба, які дозволили проводити оперативну комплексну оцінку якості при оптимальному управлінні технологічними процесами;
- проведена ідентифікація математичних моделей технологічних процесів хлібопекарського виробництва, що відображають можливі варіанти стану об'єкта управління як модулів-фрагментів сценаріїв управління;

- вперше на основі факторно-цільового, категорійно-функторного та ситуаційного аналізу, розроблені сценарії управління хлібопекарськими процесами, які дозволяють організувати у виділених ситуаційно-значущих зонах оптимальне управління технологічним комплексом хлібозаводу;
- вперше поставлена і розв'язана задача багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів хлібопекарського виробництва в умовах невизначеності та конфлікту, з урахуванням ситуаційної зміни критеріїв та нечітких обмежень;
- розроблена структура системи та алгоритми управління технологічними процесами виробництва хліба з використанням баз знань та сценарних моделей.

Практичне значення та реалізація одержаних результатів. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено систему багатоцільового сценарного управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення мікропроцесорної автоматизованої системи управління хлібопекарським виробництвом з інтелектуальною підсистемою підтримки прийняття рішень передано для впровадження до СТ «Яготинський хліб».

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету харчових технологій на кафедрі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Особистий внесок у розробку наукових результатів. Дисертація є самостійною роботою автора. Автором проаналізовано наукову літературу з даної проблеми, зроблено висновки, сформульовано задачі досліджень.

Запропоновано принципово новий підхід до автоматизованого управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва з використанням інтелектуальної системи сценарного багатоцільового управління. Автором розроблені за результатами експертного опитування на основі принципів кваліметрії моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції хлібопекарського виробництва та проведена їх оцінка методами багатомірного шкалування і інтелектуального аналізу даних [1, 8, 10]. Автором проведені експериментальні дослідження технологічних процесів приготування хліба та ідентифікація математичних моделей в ситуаційно-значущих зонах [1, 6, 7, 12, 15]; здійснена лінгвістична апроксимація основних змінних технологічних процесів виробництва хліба [2, 13]. Автором запропоновано методику формування сценаріїв управління технологічним комплексом хлібозаводу [4, 7, 11, 14, 15]. Автором розроблено програмне забезпечення і інтерфейс інтелектуальної системи багатоцільового управління технологічним комплексом хлібозаводу, для використання її в складі автоматизованого робочого місця оператора-технолога [3, 5, 9, 14].

Планування основних напрямків роботи, обговорення результатів та підготовка публікацій проходили за участю наукового керівника В.Д.Кишенька.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на наукових конференціях

Національного університету харчових технологій у 2003-2008 рр.; Міжнародних конференціях з автоматичного управління: "Автоматика-2007" (Севастополь, 2007) та "Автоматика-2008" (Одеса, 2008); Міжнародних конференціях "Штучний інтелект. Інтелектуальні системи – 2008" (Донецьк, 2008) та "Контроль і управління в складних системах (КУСС- 2008)" (Вінниця, 2008).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 15 друкованих праць, в яких викладено основний зміст виконаних досліджень, з них 5 статей у фахових виданнях, а також тези доповідей на наукових конференціях.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, списку використаних джерел зі 127 найменувань і додатків. Повний обсяг дисертації становить 216 стор., з яких основний зміст викладено на 172 стор. друкованого тексту, містить 67 рисунків, 12 таблиць та 7 додатків.

Основні положення, що виносяться на захист: результати досліджень технологічних процесів хлібопекарського виробництва як складного об'єкта управління в умовах невизначеності та конфлікту; 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 сценарного багатоцільового управління хлібопекарським виробництвом.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Показана актуальність роботи з точки зору важливості використання сценарних алгоритмів управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва з урахуванням розвитку інформаційних технологій та переходу на мікропроцесорну техніку. Сформульована мета та задачі дослідження. Визначені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ присвячений аналізу особливостей технологічних процесів хлібопекарського виробництва як складного об'єкта управління, аналізу існуючих систем автоматизації хлібозаводів, визначено перспективні шляхи вдосконалення систем управління технологічним комплексом хлібозаводу на основі сучасних досягнень науки і практики управління та нових інформаційних технологій. Проведений системний аналіз технологічних підсистем хлібозаводу (підготовка сировини до виробництва, заміс та бродіння опари, заміс та бродіння тіста, вистоювання тістових заготовок, випікання хліба) дозволив виділити такі їх особливості як складного об'єкта управління та шляхи їх дослідження: багатofакторність (виникає проблема ранжування факторів, оцінки комплексних показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції); невизначеність (здійснити лінгвістичну апроксимацію основних змінних об'єкта і визначити системні тенденції розвитку об'єкта); багатокритеріальність (встановити систему критеріїв для оцінки

функціонування об'єкта управління та провести оцінку ситуаційного змінювання їх пріоритетності, здійснити оцінку критеріальних конфліктів та визначити шляхи їх розв'язання).

Визначено, що технологічні процеси виробництва хліба складаються з таких основних стадій: підготовка сировини до виробництва, дозування сировини, заміс опари, бродіння опари, заміс тіста, бродіння тіста, вистоювання тістових заготовок, випікання хліба. Були виділені задачі та проблеми для кожної з виділених стадій.

Аналіз робіт по технології та автоматизації хлібопекарського виробництва показав, що проблемами технологічного забезпечення та розробки систем автоматизації займалась значна кількість вчених: В.В. Щербатенко (регулювання технологічних процесів приготування хліба та підвищення його якості); Л.А.Злобін, М.М. Благовещенська (оптимізація технологічних процесів хлібопекарського виробництва); В.Г. Юрчак, Ю.В. Устинов (розробка моделей оцінки якості тіста); Є.Н. Півень (розробка інформаційно-вимірювальної системи оцінки якості хліба); Г.Ф. Каленіченко (розробка технічних засобів вимірювання відносної вологості в хлібопекарських печах); О.М. Баришніков (оптимізація процесів випікання хліба); В.Я. Черних (автоматизація процесів вистоювання тістових заготовок); В.Д. Кишенько (оптимальне управління процесами приготування тіста), але в даних роботах відсутній комплексний підхід до проблем управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва в цілому. На основі аналізу принципів управління складними технологічними комплексами визначені перспективні напрямки розвитку систем автоматизованого управління хлібозаводом: сценарний підхід та використання інженерії знань. Сформульовані задачі досліджень.

У другому розділі розглянуто інформаційні аспекти управління процесами підвищення якості продукції та ефективності хлібопекарського виробництва; розроблені моделі якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції; проведена лінгвістична апроксимація основних змінних; проведене когнітивне моделювання перебігу технологічних процесів та здійснена ідентифікація статичних моделей в характерних ситуаціях поведінки об'єкта.

Проведений аналіз об'єкта управління з позиції категорійно-функторного підходу дозволив виділити категорії якості, продуктивності та втрат, що характеризуються об'єктами та операціями. Встановлення зв'язку між різними категоріями здійснюється завдяки функторам, які дозволяють, наприклад, для категорії якості - виявити властивості різних показників якості завдяки функторним перетворенням шляхом визначення структури та параметрів функторів (взаємозв'язків між окремими показниками якості).

Як приклад, наведено процес перетворення функторів для стадії підготовки сировини (рис.1), де Кат F_6 – категорія «сила борошна»; Кат $H_{стисн.}^{АП}$ - категорія «якість клейковини»; Кат K_6 - категорія «кислотність борошна»; S , F - функтори, що відповідають об'єктам A і $\dot{A}$ та морфізму f категорії F_6 та співставляють елементи даної категорії з елементами категорії $H_{стисн.}^{АП}$ та Кат

K_6 відповідно. $S(A)$, $S(\hat{A})$, $S(f)$ – образи: об'єкти та морфізми категорії $H_{стисн.}^{АП}$; $F(A)$, $F(\hat{A})$, $F(f)$ – образи: об'єкти та морфізми категорії K_6 ; $h, \hat{h}$ – морфізми, що зв'язують об'єкти $S(A)$, $S(\hat{A})$ з $F(A)$, $F(\hat{A})$ відповідно. Умова морфізму функторів для $h, \hat{h}$ буде виконуватись при $\hat{h} \oplus S(f) = F(f) \oplus h$.

З метою уточнення показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції і встановлення їх рангів було проведене експертне опитування. Використано метод анкетування експертів різних груп: науковці, працівники лабораторії, технологи. Отримані результати оброблені за допомогою пакету Statistica.

Встановлено, що якість характеризується багатьма показниками, які мають різні вимірювальні шкали і для зведення їх до однієї шкали та визначення латентних (прихованих) зв'язків було проведено багатомірне шкалування, за допомогою якого визначена схожість між оцінками експертів окремих показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції, заданих певним простором шкал ознак (рис.2,3).

Рис. 2. Групові відмінності у виборі вагомості показників якості (1-науковці, 2-працівники лабораторії, 3- технологи).
Рис.3. Дисперсія результатів експертного опитування відносно рангу показників.

Якість оцінювалась за допомогою інтегральної залежності показників (рис.4): $K = f(K_1, K_2, \dots, K_n)$ (1)
де $K_1, K_2, \dots, K_n$ – окремі показники якості.

В загальному вигляді комплексний показник якості описується виразом: $K = f(K_i, M_i)$, де M_i – коефіцієнт важливості i -го відносного показника якості K_i – відносний i -й показник якості ($0 \leq K_i \leq 1$).

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

Стадія підготовки сировини:

$$K_1 = 0.263F_6 + 0.109ВПЗ_6 + 0.245H_{стисн.}^{АП} + 0.185K_{сир.кл.} + 0.078Г_6 + 0.12K_6 \quad (2)$$

Стадія дозування сировини:

$$K_2 = 0.446c_{др.} + 0.387c_{с.р.} + 0.167W_6 \quad (3)$$

Рис.4. Графік залежності інтенсивності бродіння опари від характеристик борошна.

Стадія замісу опари:

$$K_3 = 0.098W_{оп.} + 0.113c_{оп.} + 0.145з_{оп.} + 0.276F_6 + 0.110c_{др.} + 0.080c_{с.р.} + 0.178W_6 \quad (4)$$

Стадія бродіння опари:

$$K_4 = 0.098W_{оп.} + 0.113c_{оп.} + 0.110G_{др.} + 0.086з_{оп.} + 0.133F_6 + 0.102c_{др.} + 0.080c_{с.р.} + 0.096W_6 + 0.086ПC_{др.} + 0.063Г_6 + 0.033K_6 \quad (5)$$

Стадія замісу тіста:

$$K_5 = 0.098W_T + 0.348I_{з.т.} + 0.145З_т + 0.163C_{з.т} + 0.110ВПЗ_б + 0.136W_б \quad (6)$$

Стадія бродіння тіста:

$$K_6 = 0.098A_{п.т.} + 0.158I_{з.т.} + 0.086G_б + 0.096F_б + 0.102t_T + \\ + 0.079PC_{оп.} + 0.017pH_{оп} + 0.107K_{оп} + 0.096W_T + 0.161Г_б \quad (7)$$

Стадія вистоювання тістових заготовок:

$$K_7 = 0.201PC_{т.з.} + 0.213\Phi_{т.з.} + 0.158\phi_{вист.} + 0.143П_{т.з.} + 0.095t_{ш.в.} + \\ + 0.087W_{ш.в.} + 0.065m_{т.з.} + 0.038З_т \quad (8)$$

Стадія випікання хліба:

$$K_8 = 0.176П_х + 0.183K_х + 0.165\Phi_х + 0.142W_х + 0.211t_{ц.м.} + 0.036H_{в.пр} + \\ + 0.087\phi_{вип.} \quad (9)$$

де $F_б$ - сила борошна, од.приладу; $ВПЗ_б$ - водопоглинаюча здатність борошна, $см^3/100г$; $H_{стисн.}^{АП}$ - якість клейковини, од.пенетрометра; $K_{сир.кл.}$ - кількість сирої клейковини, % до маси борошна; $Г_б$ - газоутворююча здатність борошна, $см^3CO_2/100г$; $K_б$ - кислотність борошна,град; $C_{др.}$ - густина рідких дріжджів, $г/м^3$; $C_{с.р.}$ - густина соляного розчину, $г/м^3$; $W_б$ - вологість борошна, %; $W_{оп.}$ - вологість опари, %; $C_{оп.}$ - густина опари, $г/м^3$; $З_{оп.}$ - реологічні властивості опари; $G_{др.}$ - кількість дріжджів,г; $PC_{др.}$ - підйомна сила дріжджів, хв.; W_T - вологість тіста, %; $I_{з.т.}$ - інтенсивність замісу тіста, $З_т$ - реологічні властивості тіста; $C_{з.т.}$ - спосіб замісу тіста; $A_{п.т.}$ - питома робота замісу тіста, кДж/кг; $G_б$ - витрата борошна,кг; t_T - температура тіста, $^{\circ}C$; $PC_{оп.}$ - підйомна сила опари, хв.; $pH_{оп.}$ - активна кислотність опари, од.рН; $K_{оп}$ - титрована кислотність, град; $PC_{т.з.}$ – підйомна сила тістової заготовки, мм; $\Phi_{т.з.}$ - формоутримуюча здатність тістової заготовки (Н:Д); $\phi_{вист.}$ - тривалість вистоювання тістових заготовок, хв.; $П_{т.з.}$ - пористість тістової заготовки, %; $t_{ш.в.}$ - температура в шафі вистоювання, $^{\circ}C$; $W_{ш.в.}$ - вологість в шафі вистоювання, %; $m_{т.з.}$ - маса тістової заготовки, гр.; $П_х$ - пористість хліба, %; $K_х$ - кислотність хліба, град; $\Phi_х$ - формостійкість подового хліба (Н:Д); $W_х$ - вологість хліба, %; $t_{ц.м.}$ - температура центра м'якиша, $^{\circ}C$; $H_{в.пр}$ - відносна пружність м'якиша, %; $\phi_{вип.}$ - тривалість випікання тістових заготовок, хв.

Оцінка якості методами багатомірного шкалування дозволила проаналізувати експертні дані довільного типу та отримати кінцеві моделі з мінімальним значенням стресу, що підтверджує можливість їх застосування для прийняття рішень по управлінню.

Враховуючи суттєву невизначеність поведінки технологічних процесів виробництва хліба проведена лінгвістична апроксимація основних технологічних показників (загальна кількість 19). На рис.5 наведено приклад функції належності для лінгвістичної змінної «Сила борошна», а в табл.1 – характеристика термів даної змінної .

Рис.5. Функції належності лінгвістичної змінної “Сила борошна”.

Складність аналізу процесів та прийняття управляючих дій в хлібопекарській промисловості зумовлена такими особливостями: багато показників визначаються органолептичними методами; об’єктивні методи контролю мають низьку точність визначення характеристик; цілі, що відображають ефективність технологічних процесів, є змінними і залежними від ситуації, яка складається в поточний момент.

Таблиця 1. Характеристика термів змінної “Сила борошна”

Позначення факторів	Групи якості борошна, K_{60} , од.пенетрометра	Координати функції належності
F1	Дуже сильне (100 і менше)	[52.6 84.3 100.4 117]
F2	Сильне (101-105)	[94.6 107.9 144 156]
F3	Середнє за силою (151-200)	[131 154 194.9 218]
F4	Слабке (201-250)	[175 205 250 258.7]
F5	Дуже слабке (250 і більше)	[220 256 270 297]

В свою чергу, кожна ситуація характеризується набором факторів, що пов’язані між собою причинно-наслідковим зв’язком. Використовуючи методику когнітивного моделювання можна спрогнозувати, до яких наслідків призведе та чи інша управляюча дія, які заходи будуть ефективними для досягнення поставленої мети, які конфліктні ситуації можуть при цьому виникнути.

Для побудови когнітивних моделей ситуацій, що виникають при виробництві хліба, на основі категорійно-функторного аналізу були визначені основні напрямки ситуаційної поведінки об’єкта управління в залежності від ряду технологічних факторів (якісні показники сировини та напівфабрикатів, режимні параметри на всіх стадіях виробництва). Комп’ютерне моделювання виробничих ситуацій здійснювалось з використанням пакету когнітивного моделювання «КАНВА» та програмного засобу WizWhy. Були побудовані орієнтовно зважені графи ситуацій, визначені числові результати та побудовані графіки змін факторів в залежності від обраного сценарію (рис.6), здійснено порівняння сценаріїв за реалістичністю та ефективністю (рис.7).

У виробничих умовах Броварського та Яготинського хлібозаводів був проведений пасивний експеримент, під час якого здійснювалась з інтервалом, що забезпечує статистичну незалежність вимірів, фіксація контрольованих змінних, характеризуючих технологічні процеси (загальна кількість змінних 23).

Обробка експериментальних даних здійснювалась методом найменших квадратів в середовищі Matlab, де оцінювались моделі-конкуренти певних структур і параметри цих моделей на основі критеріїв: детермінації, статистики Мелууса, інформаційного критерію Акаїке, статистик Хокінга та Фішера.

Моделі описували залежності вихідних змінних процесу, якими були основні якісні показники, що можуть оперативно вимірюватись об’єктивними методами та визначально характеризувати якість напівфабрикатів та готової

продукції (інтенсивність бродіння опари , окисно-відновний потенціал

тіста , формоутримуюча здатність тістових заготовок , температура

центра м'якиша хліба), продуктивність обладнання, питомі втрати сировинних ресурсів (борошна) на кожній стадії виробництва хліба від

Рис.6. Вибір сценарію управління. Рис.7. Порівняння сценаріїв управління.

режимних параметрів та якісних показників вхідної продукції. Моделі визначались при нечітких значеннях вхідних змінних (рис.8,9).

Рис.8. Поверхня відгуку моделі зміни лінгвістичної змінної «Втрати» при нечітких значеннях вхідних факторів «Питома робота на заміс» та «Температура тіста» .

Рис.9. Поверхня відгуку моделі зміни змінної «Окисно- відновний потенціал тіста» при нечітких значеннях вхідних факторів «Питома робота на заміс» та «Температура тіста» .

Наприклад, для процесу приготування тіста було отримано такі моделі:

$$\Phi_{бр.т}(t_T, A_{п.т.}) = -0.041898t_T^2 + 0.23382A_{п.т.}^2 + 0.17205t_T A_{п.т.} + 0.5145t_T - 10.693A_{п.т.} + 55.877 \quad (10)$$

$$Eh_T(t_T, A_{п.т.}) = 2.0798t_T^2 + 0.60907A_{п.т.}^2 - 2.0617t_T A_{п.т.} - 110.22t_T + 48.198A_{п.т.} + 1443.7 \quad (11)$$

$$Втр_{бр.т.}(t_T, A_{п.т.}) = 0.018459t_T^2 - 0.020784A_{п.т.}^2 - 0.0012831t_T A_{п.т.} - 1.0614t_T + 0.5875A_{п.т.} + 12.128 \quad (12)$$

де $\Phi_{бр.т}$ – тривалість бродіння тіста, хв.; t_T - температура тіста, $^{\circ}\text{C}$; $A_{п.т.}$ - питома робота замісу тіста, кДж/кг; Eh_T - окисно-відновний потенціал тіста, мВ; $Втр_{бр.т.}$ - втрати сухих речовин борошна при бродінні тіста, %

Відносна приведена похибка прогнозу за розробленими моделями не перевищувала 6%.

У третьому розділі представлена методика побудови сценаріїв управління та вирішується задача багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва хліба в умовах невизначеності та ситуаційної зміни пріоритетності критеріїв.

Реалізацію сценарію управління технологічними процесами хлібопекарського підприємства доцільно здійснювати на основі нечіткої моделі представлення знань, такий спосіб є достатньо гнучким та зручним для представлення логічних відношень між елементами сценаріїв.

Ситуація була визначена як :

$$S(t) = \{J^{(i)}(\mathbf{x}^{(i)}(t_i), \mathbf{y}^{(i)}(t_i), t_i) | 0 \leq t_i \leq t, i = 0, 1, \dots, s; t_0 = 0\} \quad (13)$$

де $J = (\mathbf{x}(t), \mathbf{y}(t), t)$ – очікувана подія, i - кількість подій, що характеризують дану ситуацію, t - момент часу, в який визначається ситуація у відповідності з

продукційними правилами вибору $\tilde{A}^{(t)}$, $\mathbf{x}(t)$, $\mathbf{y}(t)$ - реалізація нечітких значень відповідно вхідних та вихідних змінних, отриманих в момент часу t .

Обстановка $I(t)$ в момент часу t є набором ситуацій в поточний момент часу $S(t)$ та квазіінформаційних гіпотез (КІГ) особи, що приймає рішення $\mathbf{I}(t)$, для якої сценарій визначаємо як послідовність ситуаційно-значущих зон та КІГ: $\mathfrak{R} = \mathfrak{R}\{(I(t_i), t_i)\} i = 0, 1, \dots, N$; (14)

N – глибина сценарію, $T = t_N$ - горизонт сценарію, $\Phi_i = t_{i+1} - t_i$ – часовий крок сценарію.

Концептуальна схема реалізації сценаріїв управління для досягнення заданої якості наведена на рис.10.

Для експерта, що займається постановкою та вирішенням проблем призначена детальна технологія отримання послідовностей у вигляді набору стратегій та правил вибору $J_{ev}^{(\delta_{i+1})}(t_{i+1}) = J_{ev}^{(\delta_i)}(t_i), M^{(KIG)}(t_i, \check{C}(t_i))$, (15)

де δ – нечіткі фактори, M - метанабір системи :

$$M = (M_o(Y; U; P); M_E(X); M_D(Q) M_{ME}; \tilde{A})$$

$M_o(Y; U; P)$ – ідентифікована модель системи; $y \in Y$ – номенклатура вихідних змінних об'єкта; $u \in U$ - номенклатура управляючих дій; $p \in P$ - номенклатура використаних ресурсів (сировини, напівфабрикатів, енергії) $M_E(X)$ - модель оточуючого середовища (параметри сировини, напівфабрикатів); $x \in X$ - номенклатура зовнішніх впливів (змінювання якісних показників сировини) $M_D(Q)$ – модель поведінки системи; Q - умови функціонування системи; M_{Mo} - модель визначення стану системи; M_{ME} - модель визначення зовнішніх збурень (що визначаються як функтори переходів з однієї категорії якості сировини в іншу категорію); $\tilde{A}$ - продукційні правила вибору; $\check{C}(t_i)$ – стратегія управління.

Рис.10. Взаємозв'язок між категоріями якості опари та тіста.

В основі експертного опису лежить поняття експертно-значущої розбивки O (ЕЗР) фазового простору $Z = X \times Y$ та ситуаційно-значущої зони $J_{ev}^{(\delta)}(t)$, які відбуваються в послідовності, вказаній в системі надання переваг $\mathfrak{R}(O)$, що визначається об'єктивними законами. Модель поведінки об'єкта, для якої визначені ЕЗР $O = \{Z^{(\delta)}, A^{(e)}\}$ та слідування ЕЗП $\mathfrak{R}(O)$ будемо називати ЕЗР- моделлю $M(O, \mathfrak{R}(O)) = \{O, \mathfrak{R}(O)\}$.

Проведення факторно-цільового аналізу дозволило встановити і відкоригувати цілі управління та фактори впливу на них, так, на ділянці приготування опари: на якість опари найбільше впливає такий фактор як інтенсивність бродіння опари, продуктивність процесу приготування опари найбільше залежить від тривалості бродіння, втрати визначаються у відсотках і залежать від кількості сухих речовин, що витрачаються на бродіння опари. Далі формується графічне представлення A - сценарію системи.

Сценарій - спосіб досягнення поставлених цілей з врахуванням факторів впливу середовища, в якому знаходиться система, що характеризується цілями, факторами впливу, операціями, міжопераційними зв'язками, які були визначені раніше. Операція як крок сценарію по різному визначається в абстрактному(А) та структурному(С) сценаріях.

В першому випадку операція працює з неструктурованими об'єктами (не враховується внутрішня структура об'єкта), перетворює вхідні об'єкти у вихідні(спосіб внутрішнього перетворення не розкривається). С-сценарій виходить з того, що визначена внутрішня структура об'єктів, які описані наборами властивостей-атрибутів, що приймають значення з деякої області та змінюються внаслідок застосування визначених правил (рис.11, табл.2). На рис.11 зображені ресурсні потоки: Р7- подача підготовленого борошна, Р8-подача води, Р9-подача опари, Р10-подача допоміжної сировини(решта за рецептурою), Р11-подача тіста

Рис.11. Фрагмент С- сценарію , клас А3.

Таблиця 2. Життєвий цикл та атрибути об'єктів С-сценарію.

Клас	Позначення стану	Зміст стану	Позначення та зміст атрибуту
1	2	3	4
А3	S2.1	Змішування опари	a2.1
	S2.2	Бродіння опари	Вологість борошна
	S2.3	Зменшення вологості	a2.2
	S2.4	Збільшення вологості	Кислотність борошна
	S2.5	Збільшення температури	a2.3
	S2.6	Зменшення температури	Вологість опари
	S2.7	Коли тісто перезріле	a2.4
	S2.8	Збільшення часу витримки	Температура опари
	S2.9	Заміс тіста	a2.5
	S2.10	Дозрівання тіста	Час дозрівання
	S2.11	Зменшення тривалості дозрівання	a2.6
	S2.12	Збільшення тривалості дозрівання	Дозрілість тіста
	S2.13	Зменшення вологості тіста	a2.7
	S2.14	Збільшення вологості тіста	Вологість тіста
	S2.15	Зменшення температури тіста	a2.8
	S2.16	Збільшення температури тіста	Температура тіста

Для формалізації С-сценаріїв використовувався математичний апарат мереж Петрі.

Постановка задачі оптимального управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва в загальному вигляді:

$$F = \max_{Q_i^j \in R^n} F, \quad A_{i(min)}^j \leq A_i^j \leq A_{i(max)}^j \quad (16)$$

де R^n - простір параметрів стану; $A_{i(min)}^j \leq A_i^j \leq A_{i(max)}^j$ – область допустимої

зміни параметрів, причому $A_{i(min)}^j = \text{"нижче норми"}$,
 $A_{i(max)}^j = \text{"вище норми"}$,

При вирішенні задач оптимального управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва були виділені такі множини критеріїв: K_i^s – якість, P_i^s – продуктивність; W_i^s – втрати, а ситуаційна згортка при врахуванні ситуаційної пріоритетності критеріїв матиме вигляд:

$$F = \bigcup_i \lambda_i^j \left(\bigcup_{j=1}^k A_i^j \right) \{ Q_i^j(A_i^j) \} \quad (17)$$

де i – номер ситуаційно-значущої зони, $i=1, \dots, n$;

j – номер критерію, $j=1, \dots, m$;

k – кількість критеріїв управління;

Q_i^j – j -ий критерій управління для ситуаційно-значущої зони i ;

A_i^j – набір параметрів для критерію Q_i^j ;

λ_i^j – пріоритет критерію управління для i -ї ситуаційно-значущої зони (експертно-визначені оптимальні (ідеальні) значення j -го критерію).

Задачу багатокритеріальної оптимізації розглянемо на прикладі оптимізації відділення приготування опари, для якого використані такі моделі:

$$\Phi_{бр.оп.}(t_{оп}, W_{оп}) = 0.10328 t_{оп}^2 + 0.052237 W_{оп}^2 - 0.070034 t_{оп} W_{оп} - 1.2532 t_{оп} - 5.0528 W_{оп} + 193.21 \quad (18)$$

$$I_{бр.оп.}(t_{оп}, W_{оп}) = -0.089916 t_{оп}^2 - 0.28438 W_{оп}^2 + 0.80972 t_{оп} W_{оп} - 49.826 t_{оп} + 12.543 W_{оп} - 416.91 \quad (19)$$

$$В_{тр.бр.оп.}(t_{оп}, W_{оп}) = -0.44744 t_{оп}^2 - 1.8553 W_{оп}^2 + 4.1749 t_{оп} W_{оп} - 259.21 t_{оп} + 120.12 W_{оп} + 83.755 \quad (20)$$

де $\Phi_{бр.оп.}$ – тривалість бродіння опари, год; $t_{оп}$ – температура опари, °C; $W_{оп}$ –

вологість опари, %; $I_{бр.оп.}$ – інтенсивність бродіння опари, $\frac{\text{мл CO}_2}{\text{кг-хв}}$; $В_{тр.бр.оп.}$ – втрати сухих речовин борошна при бродінні опари, %.

Позначимо $\Phi_{бр.оп.}(t_{оп}, W_{оп}) = P(x_1, x_2)$, $I_{бр.оп.}(t_{оп}, W_{оп}) = K(x_1, x_2)$,

$В_{тр.бр.оп.}(t_{оп}, W_{оп}) = W(x_1, x_2)$, а x_1, x_2 – відповідно температура та вологість опари.

Згідно з методом досяжних цілей оптимального результату можна досягти при умові знаходження мінімального значення Γ , для якого вірна наступна система нерівностей:

$$\begin{cases} P(x_1, x_2) - K_p \gamma \leq P_0 \\ K(x_1, x_2) - K_k \gamma \leq K_0 \\ W(x_1, x_2) - K_w \gamma \leq W_0, \end{cases} \quad (21)$$

"менше норми" < x_1 < "вище норми"

"менше норми" < x_2 < "вище норми"

де P_0, K_0, W_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 – 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.

Перетворили нерівність 21 до вигляду :

$$\begin{cases} (P(x_1, x_2) - P_0)/K_p \leq \gamma \\ (K(x_1, x_2) - K_0)/K_k \leq \gamma \\ (W(x_1, x_2) - W_0)/K_w \leq \gamma \end{cases} \quad (22)$$

Отже, дана задача була вирішена методом minmax:

оптимальні значення x_1 та x_2 знайдені при

$$\gamma = \min \max_{K_i} \frac{F_i(x_1, x_2) - F_{i0}}{K_i} \quad (23)$$

де $F_i(x_1, x_2)$ - значення цільової функції в поточний момент часу; F_{i0} – очікуване значення цільової функції; K_i - ваговий коефіцієнт.

Вирішення даної задачі здійснювалось за допомогою програми, створеною мовою C++ (рис.12).

В результаті реалізації методу досяжних цілей отримали оптимальні значення режимних параметрів при яких буде здійснюватись багатоцільове

управління: $\gamma = 29.37$, $\gamma = 69.18$ % та такі значення цільових функцій:

Рис.12. Реалізація алгоритму досяжних цілей та виведення результатів.

$$(\gamma) = \gamma, \quad \gamma = \gamma,$$

$$(\gamma) = 3.32\% \text{ та } \text{Gamma}(\gamma) = 0.39$$

З рис.12 видно, що при різних критеріях управління оптимальні значення режимних параметрів будуть змінюватись. Аналогічно проведена оптимізація і для інших ділянок технологічного процесу хлібопекарського виробництва. Пошук оптимальних значень здійснюється в області Парето (області компромісу).

При реалізації багатоцільового управління виникають ситуації, коли покращення за одним з критеріїв призводить до негативної зміни іншого критерію управління: виникає критеріальний та ресурсний конфлікти. Розв'язувалась проблема визначення типу конфлікту та його розв'язання, це дозволило шляхом змінювання режимних параметрів в ситуаційно-значущій

зоні переводити конфлікт із антагоністичного в неантагоністичний, тобто в область компромісів.

Цільові функції системи Z_r задаються на деякому інтервалі часу T_z :

$$Z_r = Z_r(x(t), T_{zr}), r = \overline{1, R} ; \quad (24)$$

Ефективність (у відповідності з прийнятим критерієм) обраховується на інтервалі T :

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}(\{Z_r\}, T_{zr}, T) \text{ або } \mathcal{E} = \mathcal{E}(Q, T), Q = \{Q_i\} \quad (25)$$

де Q - множина показників якості.

Було зроблено припущення, що наявна повна інформація про ситуацію та інтенсивність взаємодії між системами ${}_1\zeta$ для ${}_1S$ та ${}_2\zeta$ для ${}_2S$ визначається як функціональна (варіаційна) похідна:

$${}_1\zeta = \frac{\delta {}_1\mathcal{E} [{}_2\mathcal{E}]}{\delta {}_2\mathcal{E}}, \quad {}_2\zeta = \frac{\delta {}_2\mathcal{E} [{}_1\mathcal{E}]}{\delta {}_1\mathcal{E}} \quad (26)$$

Отже, для ${}_1\zeta$ ефективність ${}_1\mathcal{E}$ - це функціонал від функції ${}_2\mathcal{E}({}_2x)$, а для ${}_2\zeta$ ефективність ${}_2\mathcal{E}$ - це функціонал від функції ${}_1\mathcal{E}({}_1x)$, причому функціонали ${}_1\mathcal{E}({}_2\mathcal{E})$ і ${}_2\mathcal{E}({}_1\mathcal{E})$ взаємно не перетворюються. Під впливом взаємодії ефективність систем змінюється, що й служить основою для їх критеріальної класифікації. На рис.13 зображено багатокритеріальний простір (якість, продуктивність, втрати) для відділення приготування опари, на якому можна виділити зону компромісу, на відміну від рис.14 – де строго антагоністичний конфлікт.

Рис.13-14. Багатокритеріальний простір стадії приготування опари.

Четвертий розділ присвячений розробці структури та алгоритмів управління.

Був розроблений алгоритм багатоцільового управління хлібопекарським виробництвом з використанням методів оптимального управління, сценаріїв та бази знань. Цей алгоритм передбачає такі основні етапи: формування КІГ оператора-технолога; інтелектуальний динамічний аналіз обстановки на об'єкті управління та визначення ситуацій в ситуаційно-значущих зонах; визначення типу критеріального та ресурсного конфліктів і, якщо він є антагоністичним, то здійснюється змінювання завдання локальним регуляторам режимних параметрів для переведення об'єкта в ситуаційно-значущій зоні в область компромісу; проведення багатокритеріальної оптимізації в ситуаційно-значущій зоні; формування стратегії управління в кожній із ситуаційно-значущих зон і реалізація її шляхом супервізорного управління АСУТП хлібозаводу.

Одним з критеріїв ефективності роботи організаційної структури управління ТК хлібозаводу у випадках надзвичайних ситуацій є дієвість, гнучкість, та динамічність, тобто структура повинна забезпечувати мінімум часу відгуку на ситуацію будь-якої складності. Ці функції можна забезпечити, побудувавши систему управління на основі сценарного підходу, схема якої наведена на рис.15.

Рис.15. Функціональна структура системи управління.

Для дослідження ефективності роботи автоматизованої системи багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва нами в середовищі Matlab побудовано імітаційну модель, яка складалась з таких блоків: імітатор вхідних дій; модель мікропроцесорної системи локального регулювання окремих параметрів; експертна система сценарного управління; блок представлення та інтерпретації результатів моделювання. Формування вхідних дій здійснювалось за допомогою робастних планів експерименту Тагучі, які дозволяють зімітувати не тільки зміну основних параметрів, а й збурень (показники якості борошна, параметри навколишнього середовища та ін.) шляхом зміни відношень сигнал – шум як «менше-краще» ($less -$) і «більше-краще» ($more -$).

Результати імітаційного моделювання при різних значеннях сигнал-шум на ділянці приготування опари наведені в табл.3.

Таблиця 3. Результати імітаційного моделювання.

Відношення сигнал-шум, (Eta_{le}) і (Eta_{mo}) Середньоквадратичне відхилення,	Моделі традиційної системи управління			Моделі, побудовані з використанням сценаріїв		
	Якість, бали	Втрати, %	Продуктивність, кг/год	Якість, бали	Втрати, %	Продуктивність, кг/год
$Eta_{less-good} = -10 * \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$	-	-4,60	-	-	-4,26	-
$Eta_{more-good} = -10 * \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1/y_i^2 \right)$	82.6	-	421	89.5	-	462
$y = \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{(\bar{y} - y_i)^2}{n}}$	5.78	0,23	25.63	4.27	0,16	17.9

Збільшення відношення сигнал-шум вказує на підвищення стійкості системи до дії випадкових шумів, отже доцільно використовувати сценарний підхід при управлінні технологічним комплексом хлібозаводу.

Попередній аналіз, проведений з метою з'ясування можливості побудови інтелектуальної підсистеми управління ТП хлібозаводу, показує, що її доцільно використовувати, як при виникненні нештатних ситуацій, так і при нормальному режимі роботи технологічних ділянок.

При цьому інтелектуальна підсистема управління (рис.16) є системою управління верхнього рівня і використовується

Рис.16. Інтерфейс інтелектуальної системи управління.

як надбудова (підсистема) над мікропроцесорною автоматизованою системою управління ТП хлібопекарського виробництва.

Також ефективність роботи створеної системи оцінювалась за допомогою карт контролю якості Шухарта.

Проведені виробничі випробування запропонованих алгоритмів управління та обробка результатів їх застосування показали, якість готової

продукції підвищилась в середньому на 6% (в бальній оцінці), втрати сухих речовин борошна зменшились на 0,3%, продуктивність обладнання збільшилась на 5,8%.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній роботі розв'язана науково-технічна задача підвищення ефективності хлібопекарського виробництва шляхом розробки автоматизованої системи багатоцільового управління технологічними процесами приготування хлібобулочних виробів на основі сценарного підходу та інтелектуальних алгоритмів.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Проведений аналіз технологічних процесів приготування хліба з позицій кваліметрії і обробка результатів експертного опитування та експериментальних досліджень за допомогою методів багатомірного шкалювання дозволив встановити рангову оцінку показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції і розробити моделі якості хлібопекарської продукції в залежності від показників борошна, напівфабрикатів та режимних параметрів хлібопекарського виробництва, які дали можливість оперативно проводити моніторинг якості продукції при оптимізації технологічних процесів.
2. Здійснене комп'ютерне моделювання поведінки технологічних процесів виробництва хліба за допомогою сценарно-когнітивних моделей дозволило виявити характерні тенденції розвитку об'єкта управління та встановити ситуаційно-значущі зони на всіх стадіях виробництва, в яких створені необхідні передумови для реалізації ефективних ресурсощадних стратегій управління.
3. На основі експериментальних досліджень у виробничих умовах хлібозаводів проведена ідентифікація математичних моделей об'єкта управління, які відображують залежності визначальних в кожній технологічній підсистемі показників якості напівфабрикатів та готової продукції за досягненням ними екстремальних значень (інтенсивність бродіння опари, окисно-відновний потенціал тіста, формоутримуюча здатність тістових заготовок, температура центра м'якиша хліба), а також продуктивності обладнання і технологічних втрат борошна від режимних параметрів та показників якості вхідної продукції.
4. Проведено квантифікацію цілей та їх ранжування за допомогою факторно-цільового аналізу, що дозволило встановити умови ситуаційного змінювання пріоритетності цілей в ситуаційно-значущих зонах.
5. Здійснена постановка та розв'язана задача багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва хліба в умовах невизначеності, ситуаційного змінювання пріоритетності критеріїв та нечітких обмеженнях, яка забезпечує компромісне рішення досягнення найкращої для даних умов виробництва якості продукції, підвищення продуктивності обладнання та зменшення втрат сировинних ресурсів (борошна).
6. Розроблені сценарії та на їх основі алгоритми багатоцільового управління хлібопекарським виробництвом в залежності від технологічно-організаційних умов (якість сировини, планові завдання, змінювання режимів), які дозволяють шляхом розв'язання критеріальних і ресурсних конфліктів та

багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва хліба організувати та реалізувати ефективні управляючі дії.

7. Ефективність розроблених алгоритмів підтверджена імітаційним моделюванням та виробничими випробуваннями (якість готової продукції підвищилась в середньому на 6% (в бальній оцінці), втрати сухих речовин борошна зменшились на 0,3 %, продуктивність обладнання збільшилась на 5,8%).

8. Розроблена функціональна структура автоматизованої системи багатоцільового управління хлібопекарським виробництвом, що передбачає застосування бази знань та сценаріїв управління з використанням комп'ютерних технологій та мікропроцесорної техніки.

9. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення передано СТ «Яготинський хліб», що підтверджено відповідною довідкою, та використовується в навчальному процесі на кафедрі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету харчових технологій.

Список праць, опублікованих за темою дисертації

1. Шаруда С.С. Оцінка показників якості хлібопекарської продукції методами кваліметрії та багатомірного шкалування [Текст] / С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько // Харчова промисловість. –К.:НУХТ, 2008. - № 6. – С. 19-22.

2. Шаруда С.С. Лінгвістична апроксимація технологічних показників хлібопекарського виробництва [Текст] / С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько // Штучний інтелект.- Донецьк: ДонДІШІ,2008. - №4. – С. 188-192.

3. Шаруда С.С. Багатоцільове управління хлібопекарським виробництвом [Текст] / С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько // Харчова промисловість. –К.:НУХТ, 2008. - № 7. – С. 96-99.

4. Шаруда С.С. Сценарний підхід в управлінні хлібопекарським підприємством [Текст] / С.С. Шаруда, В.Д. Кишенько // Вісник Вінницького політехнічного інституту.-В.:ВНТУ, 2009.-№2 (83). - С. 13-16.

5. Шаруда С.С. Синтез автоматизованої системи багатоцільового управління хлібопекарським виробництвом [Текст] / С.С. Шаруда // Східно-Європейський журнал передових технологій- 2009.-№4/11(40).-С.35-38.

6. Лепіска С.С. Моделювання процесів бродіння / Лепіска С.С., Місюра М.Д., Бобрівник К.Є., Кишенько В.Д. // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 69-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів НУХТ, 22-23 квітня 2003 р.: тези доп. – Київ,2003 – С.127

7. Лепіска С.С. Формування структурного сценарію багатоцільового управління хлібопекарським виробництвом / Хіврич А.Б., Лепіска С.С., Кишенько В.Д. // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 70-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів НУХТ, 20-21 квітня 2004 р.: тези доп. – Київ, 2004 – С.115

8. Лепіска С.С. Динамічна кваліметрія процесів хлібопекарського виробництва / Лепіска С.С., Кишенько В.Д. // Наукові здобутки молоді –

вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 71-а наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів НУХТ, 18-19 квітня 2005 р.: тези доп. –Київ, 2005 – С.117

9. Лепіска С.С. Динамічний аналіз ситуацій в задачах технологічного моніторингу харчових виробництв/ Бобрівник А.В., Лепіска С.С., Кишенько В.Д. // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 73-я наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів НУХТ, 23-24 квітня 2007 р.: тези доп. –Київ, 2007 – С.133

10. Шаруда С.С. Використання експертного опитування для оцінки технологічних показників хлібопекарського виробництва/ Шаруда С.С., Кишенько В.Д. // XIV Міжнародна наукова конференція з автоматичного управління «Автоматика -2007», 10-14 вересня 2007 р.: тези доп. – Севастополь, 2007.– С.198-199

11. Шаруда С.С. Комп'ютерне моделювання поведінки технологічних процесів виробництва хліба/ Шаруда С.С., Кишенько В.Д. // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: 74-а наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів НУХТ, 21-22 квітня 2008 р.: тези доп. – Київ, 2008. – С.369

12. Шаруда С.С. Багатокритеріальна оптимізація технологічних процесів хлібопекарського виробництва/ Голінько О.А., Кишенько В.Д., Шаруда С.С. // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : 74-а наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів НУХТ, 21-22 квітня 2008 р.: тези доп. – Київ, 2008. – С.364-365

13. Шаруда С.С. Лінгвістична апроксимація технологічних показників хлібопекарського виробництва / Шаруда С.С., Кишенько В.Д., // IX Міжнародна науково-технічної конференція «Штучний інтелект – 2008», 22-27 вересня 2008 р.: тези доп. –Донецьк, 2008– С.167

14. Шаруда С.С. Використання когнітивних моделей для вирішення задач управління хлібопекарським виробництвом / Шаруда С.С., Кишенько В.Д. // XV Міжнародна наукова конференція з автоматичного управління «Автоматика -2008», 23-26 вересня 2008 р.: тези доп.– Одеса, 2008- С.38-39

15. Шаруда С.С. Сценарний підхід в управлінні хлібопекарським підприємством / Шаруда С.С., Кишенько В.Д. // IX Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах», 21-24 жовтня 2008 р.: тези доп. – Вінниця, 2008 - С.23

АНОТАЦІЯ

Шаруда С.С. Автоматизована система багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва на основі сценарного підходу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2009.

Дисертація присвячена розробці нового підходу до управління технологічними процесами (ТП) хлібопекарського виробництва. Основними критеріями при управлінні хлібопекарським підприємством є продуктивність,

технологічні втрати та якість продукції. Управління ТП буде неефективним, якщо проводити оптимізацію лише за одним критерієм, тому була поставлена та вирішена задача багатоцільового управління, яке вимагає відомостей про характеристики всього технологічного комплексу, тому досліджено якість сировини, продукції та напівфабрикатів з позицій категорійно-функторного аналізу та кваліметрії. З метою уточнення показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції проведено експертне опитування. Розроблені математичні моделі основних технологічних процесів на основі багатомірного шкалування. Для підтримки прийняття рішень по управлінню проведено когнітивне моделювання, яке дало змогу відслідкувати причинно-наслідкові зв'язки між параметрами ТП та розробити сценарії управління. Проаналізовано критеріальні та ресурсні конфлікти, які виникають при багатоцільовому управлінні хлібопекарським виробництвом. Розроблено функціональну та інформаційну систему багатоцільового управління технологічними процесами хлібопекарського виробництва.

Ключові слова: хлібопекарське виробництво, багатоцільове управління, категорійно-функторний аналіз, кваліметрія, експертне опитування, математична модель, сценарії управління, конфлікти, інформаційна система управління.

АННОТАЦИЯ

Шаруда С.С. Автоматизированная система многоцелевого управления технологическими процессами хлебопекарного производства на основе сценарного. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2009.

Диссертация посвящена разработке нового подхода к управлению технологическими процессами хлебопекарного производства. Основными критериями при управлении которым являются производительность, технологические потери и качество продукции. Проведенный системный анализ технологических подсистем хлебозавода (подготовка сырья к производству, замес и брожение опары, замес и брожение теста, расстойка тестовых заготовок, выпечки хлеба) позволил выделить такие их особенности как сложного объекта управления: многофакторность; неопределенность; многокритериальность.

Управление будет неэффективным, если проводить оптимизацию только по одному критерию, поэтому была поставлена и решенная задача многоцелевого управления, которое требует сведений о характеристиках всего технологического комплекса. Анализ объекта управления проведенный с позиции категорійно-функторного подхода позволил выделить категории качества, производительности и потерь, которые характеризуются объектами и операциями.

С целью уточнения показателей качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции проведен экспертный опрос. Установлено, что качество характеризуется многими показателями, которые имеют разные измерительные

шкалы, потому для приведения их к одной шкале и определения латентных (скрытых) связей было проведено многомерное шкалирование.

Сложность анализа процессов и принятия управляющих действий в хлебопекарной промышленности обусловлена такими особенностями: многие показатели определяются органолептическими методами; объективные методы контроля имеют низкую точность определения характеристик; цели, которые отображают эффективность технологических процессов, являются переменными и зависимыми от ситуации, которая складывается в текущий момент времени. Для поддержки принятия решений по управлению проведено когнитивное моделирование, что дало возможность отследить причинно-следственные связи между параметрами технологических процессов и разработать сценарии управления ими. Также была проведена проверка на реалистичность каждого сценария.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась методом наименьших квадратов в среде Matlab, где оценивались модели-конкуренты определенных структур и параметры этих моделей на основе критериев: детерминации, статистики Меллуса, информационного критерия Акаике, статистик Хокинга и Фишера. Модели описывали зависимости исходных переменных процесса: основные качественные показатели, что могут оперативно измеряться объективными методами и характеризовать качество полуфабрикатов и готовой продукции, производительность оборудования, удельные потери сырьевых ресурсов (муки) на каждой стадии производства хлеба от режимных параметров и качественных показателей входной продукции. Для реализации сценариев управления знания были представлены нечеткой моделью, для которой все переменные были формализованы. При проведении факторно-целевого анализа были скорректированы цели управления и факторы влияющие на них.

При многоцелевом управлении технологическими процессами возникают ситуации, когда улучшение по одному из критериев приводит к негативным изменениям второго: возникают критериальный и ресурсный конфликты. Была решена проблема определения типа конфликта и его решения, что позволило путем изменения режимных параметров в ситуативно-значимой зоне переводить конфликт из антагонистического в неантагонистический, то есть в область компромиссов.

Был разработан алгоритм многоцелевого управления хлебопекарным производством с использованием методов оптимального управления, сценариев и базы знаний. Этот алгоритм предусматривает такие основные этапы: формирование заданий оператора-технолога; интеллектуальный динамический анализ обстановки на объекте управления и определение ситуаций в ситуативно-значимых зонах; определение типа критериального и ресурсного конфликтов и если он является антагонистическим, то осуществляется изменение заданий локальным регуляторам режимных параметров для перевода объекта в ситуативно-значимой зоне в область компромисса; проведение многокритериальной оптимизации в ситуативно-значимой зоне;

формирование стратегии управления в каждой из ситуативно-значимых зон и ее реализация путем супервизорного управления АСУТП хлебозавода.

Разработана функциональная и информационная система многоцелевого управления технологическими процессами хлебопекарного производства.

Ключевые слова: хлебопекарное производство, многоцелевое управление, категорийно-функторный анализ, квалиметрия, экспертный опрос, математическая модель, сценарии управления, конфликты, информационная система управления.

SUMMARY

Sharuda S.S. Automated system for multipurpose control of bread making technological processes based on scenario approach. - the Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. on a trade 05.13.07 - automation of control processes. - National university of food technologies, Kiev, 2009.

Dissertation is devoted to the new method of technological processes management in bread making. The major criteria's for bread making are productivity, costs and quality of the final product. Technological processes management will be weak in the case of using single criteria optimization. Thus multipurpose management task was designed and resolved which requires knowledge about any involved technology. It was a reason for researching the quality of raw materials, product and semis from the point of view of category-functor analysis and quality. Expert survey was conducted in order to make results more accurate. Mathematical models for general technological processes were developed on the basis of multipurpose scaling. Cognitive modeling was used for management decision making purposes. This made possible to track casual relations between parameters of technological processes and develop management scenarios. Criteria conflicts that appear during multipurpose management were analyzed. Informational system for multipurpose management of technological processes in bread making was developed.

Key words: bread making, multipurpose management, category-functor analysis, quality metering, expert survey, mathematical model, management scenarios, conflicts, informational management system.