

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

На правах рукопису

РОМАНОВ МИКОЛА СЕРГІЙОВИЧ

УДК 681.518:663.4

**АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ
ПІВЗАВОДУ
З ВИКОРИСТАННЯМ МЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ**

Спеціальність 05.13.07 - Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2015

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
Осадчий Сергій Іванович,
Кіровоградський національний технічний університет,
м. Кіровоград,
завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів;

кандидат технічних наук, доцент
Савченко Тетяна Віталіївна,
Київський національний торговельно-економічний університет,
м. Київ,
доцент кафедри інженерно-технічних дисциплін.

Захист відбудеться « 16 » грудня 2015 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 « 12 » листопада 2015 року.

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



О. М. М'якшило

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Пивоварна промисловість є однією з провідних галузей харчової промисловості України. Основними напрямками підвищення ефективності пивоварного виробництва є: поліпшення якості продукції, підвищення продуктивності технологічного обладнання та раціональне використання енергетичних і матеріальних ресурсів. Пивоварному підприємству притаманні всі характерні ознаки складної організаційно - технічної системи. Ефективне керування даним об'єктом можливе за умови врахування всіх його особливостей: високий рівень невизначеності, яка проявляється в оцінці технологічних параметрів, особливо показників якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції; складність поведінки через явища переміжності, тобто в чергуванні детермінованих технологічних режимів із стохастичними та хаотичними; наявності багатьох цілей керування, які мають динамічну пріоритетність, що залежить від виробничих ситуацій, а оцінка певних факторів процесів пивоваріння здійснюється в якісній нечіткій формі; розвиток об'єкта є багатоваріантним в залежності від аспектів технологічного та техніко-економічного характеру.

Задачу керування таким об'єктом можна розв'язати на основі сценарного підходу, тобто розглядати об'єкт керування як складну динамічну систему, що функціонує в умовах ситуаційної невизначеності. В такій постановці необхідно провести комплекс наукових досліджень, які передбачають визначення властивостей та характеристик об'єкта керування на основі оцінки особливостей функціонування процесів пивоваріння шляхом системного та категорійно-функторного аналізу, експертного оцінювання, когнітивного моделювання, ідентифікації мережевих математичних моделей в ситуаційно-значущих зонах об'єкта, синтез алгоритмів сценарного багатоцільового керування процесом пивоваріння в умовах невизначеності. Тому розробка систем автоматизованого інтелектуального керування технологічним комплексом пивзаводу на основі мережевих моделей, що дозволить підвищити продуктивність, поліпшити якість продукції, знизити питомі енергетичні та ресурсні витрати, є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана згідно з планом науково-дослідних робіт кафедр автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації процесів управління Національного університету харчових технологій «Розроблення ефективних структур управління біотехнологічними комплексами в класі організаційно-технологічних систем» (номер державної реєстрації 0109U008311) та «Наукові основи створення автоматизованих систем управління для комп'ютерно-інтегрованих виробництв харчової промисловості» (номер державної реєстрації 0112U001496).

Метою роботи є підвищення техніко-економічних показників пивоварного виробництва шляхом створення автоматизованої системи багатоцільового управління з використанням сценарного підходу на основі мережевих моделей.

Задачі дослідження:

- здійснити системно-технічний аналіз технологічного комплексу пивзаводу та показників його функціонування для визначення основних чинників підвищення ефективності пивоварного виробництва;
- розробити моделі оцінки якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції на основі принципів та методів кваліметрії шляхом проведення експертного опитування;
- провести когнітивне моделювання перебігу технологічних процесів виробництва пива на основі сценарно-когнітивних моделей для виявлення зв'язків між технологічними параметрами та дослідження ситуаційної поведінки об'єкта;
- виявити ситуаційно-значущі зони в об'єкті керування та здійснити в цих зонах ідентифікацію мережевих моделей, що відтворюють залежності між критеріями керування (якість, продуктивність та технологічні втрати) із технологічними параметрами процесу в умовах невизначеності;
- здійснити постановку та розв'язати задачу багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва пива в умовах невизначеності та ситуаційного змінювання пріоритетності критеріїв;
- розробити сценарії та алгоритми багатоцільового керування технологічним комплексом пивоварного виробництва, що забезпечують організацію ефективних стратегій керування на основі мережевих моделей та інтелектуального аналізу виробничих ситуацій;
- побудувати функціональну структуру системи багатоцільового керування технологічними процесами виробництва пива на основі сценарного підходу та мережевих моделей.

Об'єктом дослідження є технологічний комплекс пивзаводу.

Предметом досліджень є автоматизовані системи керування технологічними процесами виробництва пива.

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

Наукова новизна

- набули подальшого розвитку методи отримання експертних знань та моделі оцінки якості сировини та продукції пивоварного виробництва для задач оптимального керування технологічними процесами;
- вперше отримані мережеві моделі технологічного комплексу виробництва пива, що відображають зв'язок між критеріями якості, продуктивності, технологічних втрат та режимними параметрами;
- вперше на основі факторно-цільового та ситуаційного аналізу розроблені сценарії керування процесами виробництва пива, які дозволяють реалізувати у виділених

ситуаційно-значущих зонах оптимальне керування технологічним комплексом пивзаводу;

- вперше поставлена і розв'язана задача багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва пива в умовах невизначеності, з урахуванням ситуаційної зміни критеріїв та нечітких обмежень;

- удосконалено структуру та алгоритми керування технологічними процесами виробництва пива з використанням мережевих моделей.

Практичне значення та реалізація одержаних результатів. Одержані результати можуть бути використані в процесі проектування, розробки та впровадження нових та модернізації існуючих систем автоматизації технологічних об'єктів в харчовій промисловості. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення мікропроцесорної автоматизованої системи управління процесом виробництва пива передано для впровадження до ПАТ «Оболонь». Результати роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету харчових технологій на кафедрі автоматизації та інтелектуальних систем керування.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на наукових конференціях Національного університету харчових технологій у 2008-2015 рр.; Міжнародних конференціях з автоматичного управління, зокрема "Автоматика-2013" (Миколаїв), "Автоматика-2014" (Київ); Міжнародних конференціях "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2014)" (Вінниця), 79-81 конференціях «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті» (Київ, 2013-2015) та ін.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 26 друкованих праць, в яких викладено основний зміст виконаних досліджень, з них одна стаття в міжнародному журналі, 11 статей в фахових виданнях, 14 тез доповідей на наукових конференціях.

Особистий внесок у розробку наукових результатів. У наведених публікаціях здобувачем виконано наступне: в [1] запропоновано новий підхід до управління складним технологічним комплексом, якому притаманна ситуаційна невизначеність, із застосуванням сценаріїв управління; в [2] розглянута можливість оптимізації якісних показників пива за рахунок вдосконалення технології приготування сусла; в [3] проведено факторно-цільовий аналіз системи багатоцільового управління ТК пивзаводу; в [4] наведено сценарії управління технологічними процесами виробництва пива; в [5] розглянуто проблему багатокритеріального керування процесами приготування пива, також розглянуті аспекти оптимізації та інтенсифікації процесів пивоваріння такими фізичними чинниками як вплив магнітного поля [6,8,10,11], електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону [26], ультрафіолетового випромінювання [18,24], лазерного опромінення [25], рентгенівського випромінювання [7,12], розглянуті перспективи використання рослинної сировини у пивоварінні [9].

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, списку літератури з 140 найменувань та додатків. Повний обсяг дисертації 210 стор., з яких зміст викладено на 165 стор. друкованого тексту, містить 65 рисунків, 15 таблиць та 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Показана актуальність роботи з точки зору важливості використання сценарних алгоритмів управління технологічними процесами виробництва пива з урахуванням розвитку інформаційних технологій в рамках мережноцентричного керування технологічним комплексом. Сформульована мета та задачі дослідження. Визначені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ присвячений аналізу особливостей технологічних процесів виробництва пива як складного об'єкта керування, аналізу існуючих систем автоматизації пивзаводів, визначено перспективні шляхи вдосконалення систем керування технологічним комплексом пивзаводу на основі сучасних досягнень науки і практики управління та нових інформаційних технологій, в тому числі багатоагентних технологій та мережноцентричного керування.

Встановлено, що сучасні технологічні комплекси пивзаводів мають всі характерні ознаки складних організаційно-технічних систем, серед яких можна виділити наявність складних технологічних процесів різної фізико-хімічної природи, високого рівня невизначеності, включаючи багатоцільову поведінку об'єкта, нелінійність, багатфакторність, нестаціонарність. Підвищення ефективності та якості технологічних процесів вимагає застосування сучасних методів і систем керування, принципово нових підходів до проектування таких систем на базі сучасних інформаційних технологій та концепції мережноцентричного підходу в автоматизації виробництва.

Визначено, що технологічні процеси виробництва пива складаються з таких основних стадій: отримання солоду із зерна та злаків, подрібнення солоду і несолодженого зерна, приготування затору, фільтрування затору, кип'ятіння сусла з хмелем, освітлення, охолодження, аерування сусла, зброджування пивного сусла, доброджування і дозрівання пива, фільтрування пива, розлив пива у пляшки та кеги.

Аналіз робіт з технології та автоматизації пивоварних виробництв показав, що створені необхідні технологічні умови для забезпечення ефективного автоматизованого керування виробничими процесами пивоваріння. Серед таких робіт можна виділити роботи вчених В. Кунце, Л. Нарциса, В.А. Домарецького. В області автоматизації виробничих процесів неоціненним вкладом є роботи науковців: П.І. Теліса, Л.Н. Третьяк, Є.В. Єгорова. Мережноцентричний підхід в області керування розвинутий в роботах С.А. Юдицького, Ю.С. Затуливітера, С.А. Куджа. Використання сценарного підходу при керуванні складними об'єктами обґрунтовано в роботах В.В. Кульби, С.А. Косяченка, Д.А. Кононова. Відомі роботи в області пивоварного виробництва з використанням сценарного підходу Місюри М.Д. Узагальнюючи, можна відмітити, що відсутній комплексний підхід до проблем автоматизованого управління технологічним комплексом пивзаводу в цілому. На основі аналізу принципів управління складними технологічними комплексами та досягнень сучасної теорії та практики автоматизованого керування визначені перспективні напрямки розвитку систем керування пивзаводом. Сформульовані задачі досліджень.

У другому розділі розглянуто інформаційні аспекти управління процесами підвищення якості продукції та ефективності процесу приготування пива;

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.

Проведений системний аналіз об'єкта керування дозволив виявити основні технологічні фактори та показники ефективності основних стадій виробництва пива. Враховуючи важливість оцінки якості сировини та продукції, значної кількості показників та складності оцінки їх взаємозв'язків, був проведений аналіз об'єкта керування (технологічний комплекс пивзаводу) з позицій категорійно-функторного підходу. Такий аналіз надав можливість виділити категорії якості, продуктивності та втрат. Категорійно-функторний підхід дозволив знизити частку суб'єктивної оцінки параметрів якості за рахунок використання алгоритмізованих процедур у вербальній формі. При використанні теорії категорій та функторів виникає можливість розрахунку кількісних характеристик станів системи (зокрема показників якості) і виявлення, за їхньої допомоги, оптимальних станів системи. При категорійно-функторному описі систем, акцент переноситься із «застиглих» станів об'єкта в різні форми їх поведінки та перетворення. Головною особливістю такого опису є те, що в категорію, поряд із структурованими об'єктами, обов'язково вносяться всі (допустимі їх структурою) способи змінювання об'єкта. Це дало можливість замінити теоретично-множинне представлення об'єкта як «застиглої» структури на реальне представлення його процесами. 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. Категорійно-функторний аналіз був проведений для таких категорій якості як: фізико-хімічні показники води, якісні показники свіжопророслого солоду, якісні показники товарного солоду, показники лабораторного сусла, якість хмелю, якість помелу зернопродуктів, ступінь подрібнення зернопродуктів, параметри затирання зернопродуктів, ступінь(якість) фільтрації сусла, ступінь освітлення сусла, прозорість сусла, якість пропагації дріжджів, ступінь зброджування, ступінь (якість) фільтрації пива.

Для оцінки якості сировини, напівфабрикатів та готової продукції і встановлення їх рангів було проведене експертне опитування. Для зменшення впливу спеціалізації експерта, було здійснено анкетування експертів різних груп: науковці, працівники лабораторії, технологи. Результати експертного опитування оброблені за допомогою пакету Statistica. Встановлено, що якість характеризується великою кількістю показників, які мають різні вимірювальні шкали і для зведення їх до однієї шкали та визначення 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.

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 і-го відносного показника якості продукції ($0 \leq M_i \leq 1$); K_i - відносний і-й показник якості продукції.

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

Стадія отримання свіжопророслого солоду:

$$K_1 = 0,271\Phi A + 0,162W_{\text{сол}} + 0,216M_{\text{озн}} + 0,243E_{\text{сол}} + 0,108B \quad (3)$$

Стадія приготування товарного солоду:

$$K_2 = 0,072Fr + 0,132W_{\text{сол}} + 0,17\Phi A + 0,118E_{\text{сол}} + \\ + 0,126\text{ЧК} + 0,176E_{\text{сол}} + 0,116N + 0,09\beta_{\text{зл}} \quad (4)$$

Стадія приготування затору:

$$K_3 = 0,043W_{\text{сол}} + 0,05W_{\text{зер}} + 0,117m_{\text{сол}} + 0,126m_{\text{зер}} + 0,132E_{\text{сол}} + 0,121E_{\text{зер}} + \\ + 0,069n_{\text{сол}} + 0,073n_{\text{зер}} + 0,133Br_{\text{сус}} + 0,039\eta_{\text{зат}} + 0,117\tau_{\text{оц}} \quad (5)$$

Стадія фільтрації (отримання сусла):

$$K_4 = 0,258\tau_{\text{фільт}} + 0,322Br_{\text{сус фільт}} + 0,194\eta_{\text{сус}} + 0,226A_{\text{скл}} \quad (6)$$

Стадія кип'ятіння сусла з хмелем:

$$K_5 = 0,22Br_{\text{охм сус}} + 0,144\eta_{\text{охм сус}} + 0,23Q_{\text{хм}} + 0,115K_{\text{охм сус}} + \\ + 0,129pH_{\text{охм сус}} + 0,162BDK \quad (7)$$

Стадія освітлення і охолодження охмеленого сусла:

$$K_6 = 0,206Br_{\text{осв сус}} + 0,154\eta_{\text{осв сус}} + 0,098\rho_{\text{осв сус}} + 0,085K_{\text{осв сус}} \\ + 0,101pH_{\text{осв сус}} + 0,193BDK + 0,163T_{\text{осв сус}} \quad (8)$$

Стадія ферментації (Головне бродіння і доброджування):

$$K_7 = 0,143C_{\text{поч сус}} + 0,098K_{\text{пива}} + 0,07pH_{\text{пива}} + 0,125C_{\text{CO}_2} + 0,131C_{\text{др}} + \\ + 0,135E_{\text{дійсн}} + 0,117C_{\text{алк}} + 0,062\rho_{\text{пива}} + 0,119C_{\text{діац}} \quad (9)$$

Стадія освітлення та охолодження пива:

$$K_8 = 0,167C_{\text{поч сус}} + 0,102K_{\text{пива}} + 0,119pH_{\text{пива}} + 0,153C_{\text{CO}_2} + \\ + 0,165E_{\text{дійсн}} + 0,051C_{\text{алк}} + 0,064\rho_{\text{пива}} + 0,179D_{\text{оц}} \quad (10)$$

де ΦA – ферментативна активність (зімазна активність), од. активності; $E_{\text{сол}}$ – екстрактивність солоду, %; $M_{\text{озн}}$ – морфологічні ознаки (величина пагінця, величина корінця), мм; B – масова частка білка, %; $K_{\text{зат}}$ – титрована кислотність (загальна), см³ розчину NaOH конц. 1 моль/дм³ в 100см³ сусла; ЧК – число Кольбаха, %; $\beta_{\text{зл}}$ –

β -глюкан, мг/100г.; N – концентрація вільного амінного азоту (FAN), %; Fr – покази фріабіліметра (борошністість та скловидність), %; $W_{\text{сол}}$ – вологість солоду, %; $W_{\text{зер}}$ – вологість зерна, %; $m_{\text{сол}}$ – маса солоду, кг; $m_{\text{зер}}$ – маса зерна, кг; $n_{\text{сол}}$ – склад фракції(помел) солоду, %; $n_{\text{зер}}$ – склад фракції зерна, %; $Br_{\text{сус}}$ – вміст екстракту, %; $\eta_{\text{зат}}$ – в'язкість затору, мПа*с; $\eta_{\text{сус}}$ – в'язкість суслу, мПа*с; $\tau_{\text{оц}}$ – час оцукрення, хв; $Br_{\text{сусфільт}}$ – концентрація фільтрованого суслу, % ; $A_{\text{скл}}$ – амінокислотний склад охмеленого суслу мг/дм³, %; $Br_{\text{охм сус}}$ – концентрація охмеленого суслу, %; $K_{\text{охм сус}}$ – кислотність охмеленого суслу, см³ розчину NaOH конц. 1 моль/дм³ в 100см³ суслу; BDK – білково-дубильні комплекси, %; $T_{\text{осв сус}}$ – каламутність освітленого суслу, од. ЕВС; $C_{\text{поч сус}}$ – масова частка сухих речовин в початковому суслі, %; C_{CO_2} – концентрація CO₂, %; $C_{\text{др}}$ – концентрація дріжджів, %; $E_{\text{дійсн}}$ – дійсний екстракт, %; $C_{\text{алк}}$ – концентрація алкоголю, % об.; $C_{\text{діац}}$ – вміст діацетилу, мг/100см³; $D_{\text{оц}}$ – дегустаційна оцінка, бали.

Якість створених моделей оцінювалась величиною стресу (*stress value*), що вимірюється за ступенем відтворення вихідної матриці подібностей та коефіцієнтом відчуження (*coefficient of alienation*). Величина стресу *Phi* та коефіцієнт відчуження *K* визначалась як:

$$Phi = \sum [d_{ij} - f(\delta_{ij})]^2 \cdot \quad (11)$$

де d_{ij} – відтворення відстані в просторі заданої розмірності, δ_{ij} – початкова відстань, $f(\delta_{ij})$ – функція, що вказує на неметричне монотонне перетворення вихідних даних (відстаней);

$$K = \left[\frac{1 - \{\sum d_{ij} \cdot \delta_{ij}\}^2}{\sum (\delta_{ij}^2)} \right]^S, \quad (12)$$

де S - нормоване значення стресу

$$S = \left[\frac{\sum (d_{ij} - \delta_{ij})^2}{\sum (d_{ij}^2)} \right]^S. \quad (13)$$

Чим менша величина стресу та коефіцієнта відчуження – тим краще матриця вихідних відстаней узгоджується з матрицею результуючих відстаней.

Діаграма розсіювання (діаграма Шепарда), на якій побудована залежність відтворених відстаней від вихідних відстаней зображена на рис.1.

Побудувавши діаграму кінцевої конфігурації (рис.2), отримано тривимірний графік, на якому показано як між собою співвідносяться показники технологічних процесів та нові шкали меншої розмірності.

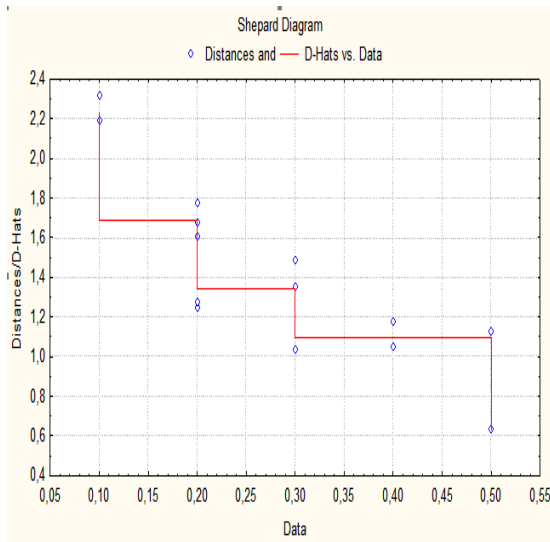


Рис.1. Діаграма Шепарда

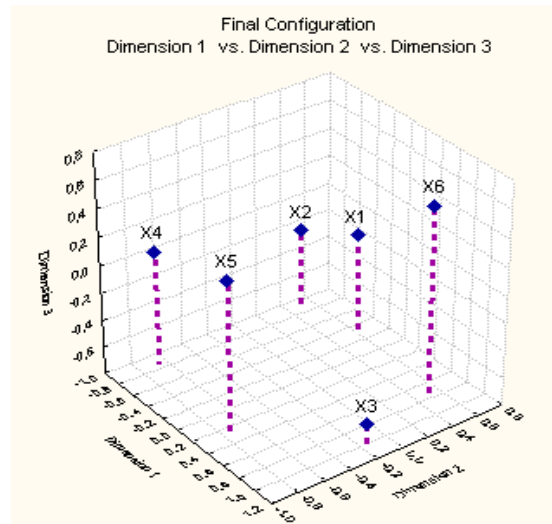
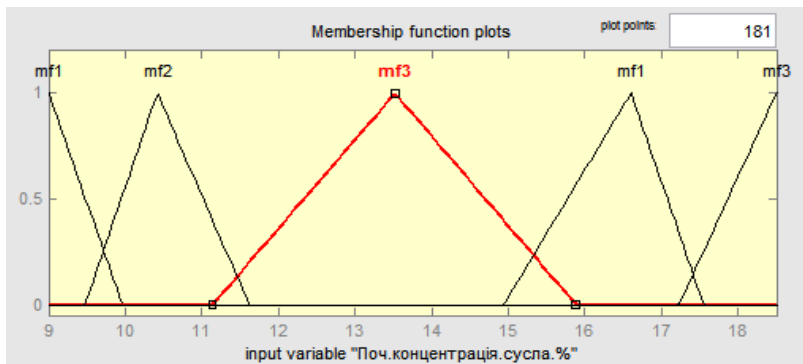


Рис.2. Діаграма розсіювання кінцевої конфігурації

Використання методів багатомірного шкалування дозволило здійснити оцінку експертних даних та отримати моделі якості з мінімальним значенням стресу.

Для формування сценаріїв керування та врахування невизначеностей в поведінці технологічних процесів виробництва пива, проведена лінгвістична апроксимація



основних технологічних показників (загальна кількість 31).

На рис.3 наведений приклад функції належності для лінгвістичної змінної «Початкова концентрація сусла», а в табл.1 – характеристика термів даної змінної.

Рис.3. Функції належності

лінгвістичної змінної «Початкова концентрація сусла»

Таблиця 1. Характеристика термів змінної «Початкова концентрація сусла»

Позначення факторів	Початкова концентрація сусла, %	Координати функції належності
F6	Дуже низька (менше 9)	[7.57 9 9.97]
F7	Низька (9 – 11,5)	[9.47 10.42 11.6]
F8	Нормальна (14,9-16,9)	[11.14 13.52 15.88]
F9	Висока (16,5-17,6)	[14.94 16.6 17.55]
F10	Дуже висока(більше 18,5)	[17.23 18.5 23.01]

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

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

Для побудови когнітивних моделей ситуацій, що виникають в процесі приготування пива, 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». Були побудовані орієнтовно зважені графи ситуацій, визначені числові результати та побудовані графіки змін факторів в залежності від обраного сценарію (рис.4), здійснено порівняння сценаріїв за прогнозованістю та ефективністю (рис.5).

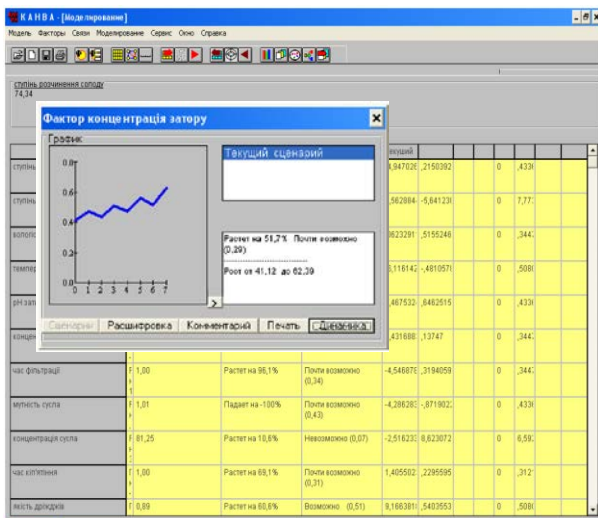


Рис.4. Таблиця моделювання.

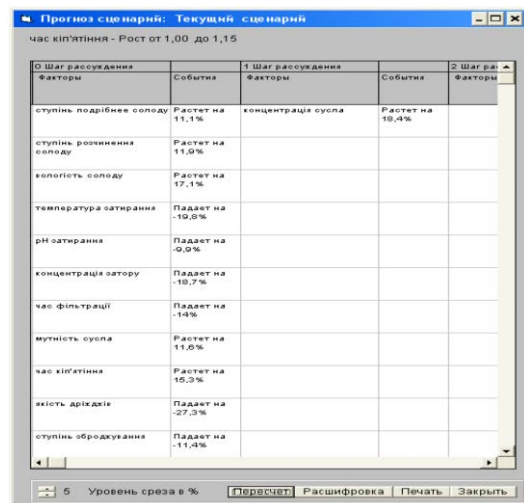


Рис.5. Результати прогнозування

У виробничих умовах ПАТ «Оболонь» був проведений пасивний експеримент за результатами якого (дані вимірювань технологічних параметрів та дані лабораторних аналізів) здійснювалась ідентифікація математичних моделей методом найменших квадратів в середовищі Matlab, де оцінювались моделі-конкуренти певних структур і параметри цих моделей на основі критеріїв: детермінації, статистики Мелоуса, інформаційного критерію Акаїке, статистик Хокінга та Фішера. Використання наведених критеріїв адекватності дозволило здійснити вибір оптимальних структур моделей для кожної ситуаційно-значущої зони з точки зору їх точності та складності.

Моделі описували залежності вихідних змінних процесу, якими були основні якісні показники, що можуть оперативнo вимірюватись об'єктивними методами та визначально характеризувати якість напівфабрикатів та готової продукції (екстрактивність солоду E , концентрація охмеленого суслу $C_{охм}$, ступінь зброджування $S_{збр}$), продуктивність обладнання, питомі втрати ресурсів на кожній стадії виробництва від режимних параметрів та якісних показників вхідної продукції. Моделі визначались при нечітких значеннях вхідних змінних (рис.6,7).

Наприклад, для процесу отримання товарного солоду було розроблено такі моделі:

$$\begin{aligned}
E(K, C_{ред}, \tau_{оц}, t_{суш}, W_{сол}) = & 0,629K + 0,040083C_{ред} + 0,2004417\tau_{оц} + 0,675639t_{суш} + \\
& + 0,040861W_{сол} - 0,01366K^2 - 0,00174KC_{ред} - 0,0087K\tau_{оц} - 0,00055C_{ред}\tau_{оц} - \\
& - 0,00138\tau_{оц}^2 - 0,0000556C_{ред}^2 + 0,4249Kt_{суш} + 0,0257KW_{сол} + 0,02708C_{ред}t_{суш} + \\
& + 0,00163C_{ред}W_{сол} + 0,1354t_{суш}W_{сол} + 0,00819\tau_{оц}W_{сол} - 0,00156t_{суш}^2 - 0,0000057W_{сол}^2 - \\
& - 0,00019t_{суш}W_{сол} - 5.383
\end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
Вих_{екстр}(Вм_{екстр}, t_{суш}, K_{заг}, C_{ред}) = & 0,355638Вм_{екстр} + 1,942362t_{суш} - 0,12312K_{заг} - \\
& - 4,75976C_{ред} - 0,01066Вм_{екстр}^2 - 0,05824t_{суш}^2 - 0,01803Вм_{екстр}t_{суш} + \\
& + 0,000508Вм_{екстр}K_{заг} + 0,019646Вм_{екстр}C_{ред} + 0,002776t_{суш}K_{заг} + 0,1073t_{суш}C_{ред} - \\
& - 0,00099K_{заг}^2 - 0,03825C_{ред}^2 - 0,00193K_{заг}C_{ред} + 63,24
\end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
Втр_{е.р.}(Втр_{ред}, t_{суш}, K) = & 4,304Втр_{ред} + 0,6902t_{суш} + 0,389K - 2,89Втр_{ред}^2 + \\
& + 0,127096Втр_{ред}t_{суш} + 0,0716Втр_{ред}K - 0,0175t_{суш} - 0,0098K - 0,0056t_{суш}^2 - \\
& - 0,0128K^2 - 21,33
\end{aligned} \quad (16)$$

де E - екстрактивність, %; K - число Кольбаха, %; $C_{ред}$ - вміст редуруючих цукрів, г/100г сухої речовини; $\tau_{оц}$ - час оцукрення, хв; $t_{суш}$ - температура сушіння, °С; $W_{сол}$ - вологовміст солоду, %; $Вих_{екстр}$ - вихід екстракту, %; $Вм_{екстр}$ - вміст екстракту, %; $K_{заг}$ - загальна кислотність, см³ розчину NaOH конц. 1 моль/дм³ в 100см³ сусла; $Втр_{е.р.}$ - втрати екстрактивних речовин під виробництва солоду, %; $Втр_{ред}$ - втрати редууючих цукрів, %.

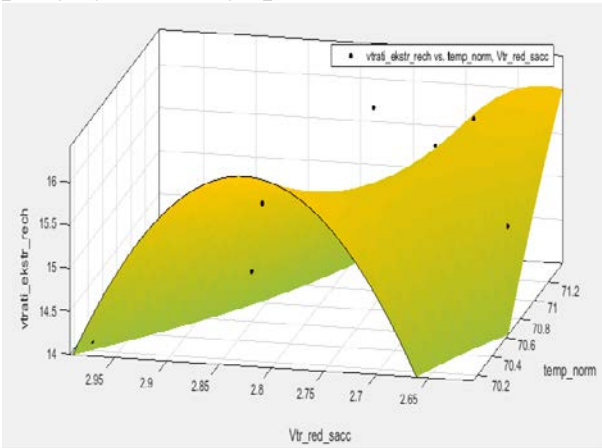


Рис.6. Поверхня відгуку моделі зміни $Втр_{е.р.}(Втр_{ред}, t_{суш}, K)$

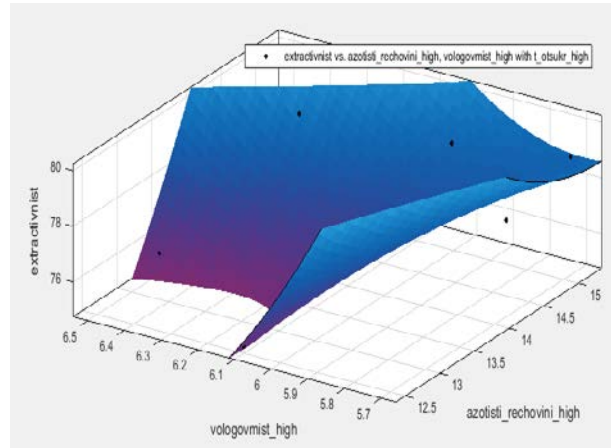


Рис.7. Поверхня відгуку моделі $E(K, C_{ред}, \tau_{оц}, t_{суш}, W_{сол})$

У третьому розділі представлена методика побудови сценаріїв керування, розроблені А- та С-сценарії, за якими визначаються стратегії керування по всіх стадіях приготування пива. Розв'язується задача багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва пива в умовах невизначеності та ситуаційної зміни пріоритетності критеріїв при нечітких обмеженнях.

В основі сценарного опису лежить поняття ситуаційно-значущої зони, яка визначається за нечіткими значеннями факторів, що характеризують певний технологічний процес.

Здійснений цільовий аналіз кожної стадії виробництва пива, зокрема, з використанням «семи інструментів якості» шляхом побудови діаграми Ісікави.

Проведення факторно-цільового аналізу дозволило встановити і відкоригувати цілі управління та фактори впливу на них. Так, на ділянці кип'ятіння сусла з хмелем: на якість початкового сусла найбільше впливає такий фактор як вміст екстракту, що залежить від інтенсивності випаровування, ступеню випаровування, концентрації охмеленого сусла, вміст диметилсульфіту; продуктивність процесу отримання сусла найбільше залежить від виходу екстракту, який в свою чергу залежить від вмісту коагулюючого білку, ступеню випаровування, тривалості ізомеризації, втрати екстракту визначаються у відсотках і залежать від втрати білкових речовин, що витрачаються на утворення білково-дубильних комплексів (флабофенів), втрати редуруючих цукрів на утворення меланоїдинів. Далі формується графічне представлення А - сценарію системи.

Сценарний підхід є достатньо поширеним методом аналізу, що дозволяє адекватно формулювати думки фахівців щодо прогнозування перебігу подій у складних системах шляхом проведення багатоваріантного ситуаційного аналізу поведінки об'єкта управління. Кожен сценарій зв'язує параметри об'єкта, із зміною зовнішніх умов.

Сценарій має такі характеристики як цілі, фактори впливу, операції, міжопераційні зв'язки. Операція як крок сценарію по-різному визначається в абстрактному (А) та структурному (С) сценаріях. В першому випадку операція має справу з неструктурованими об'єктами, тобто такими, в яких не врахована внутрішня структура, спосіб внутрішнього перетворення не розкривається, тобто операція трактується як „чорний ящик”. С-сценарій виходить з того, що внутрішня структура об'єктів є визначеною та описується наборами властивостей-атрибутів. Атрибути приймають значення з деякої області, і значення можуть змінюватись внаслідок застосування визначених правил (рис.8, табл.2). На рис.8 зображені ресурсні потоки Р4 - витрата інших несолоджених матеріалів (цукор, патока, ЯСЕ), Р6 - витрата сусла, Р12 - витрата хмелепродуктів.

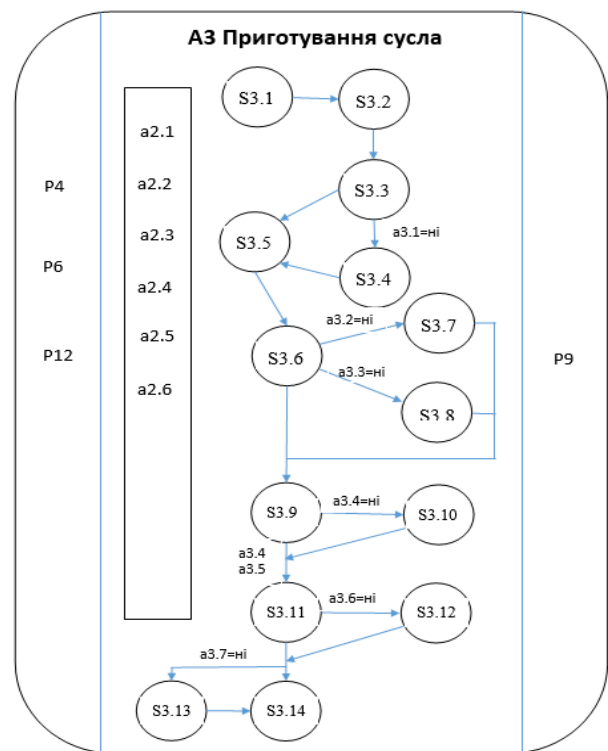


Рис.8. Фрагмент С-сценарію, клас А3

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

Клас	Позначення та зміст стану	Позначення та зміст атрибуту
A3	S3.1 подача підготовленої води S3.2 подача зернопродуктів S3.3 подача пари S3.4 збільшити подачу пари в заторному котлі S3.5 цитолітична пауза S3.6 білкова пауза S3.7 подача молочної кислоти або солі кальцію S3.8 збільшити подачу ферментних препаратів S3.9 мальтозна пауза S3.10 подача ферментних препаратів S3.11 оцукрення S3.12 збільшити подачу пари в суловарильний котел S3.13 збільшити час оцукрення S3.14 почати перекачку сула на фільтрування	a3.1 рН затору a3.2 Вміст амінного азоту a3.3 Концентрація затору a3.4 Контроль за йодним числом a3.5 Дійсний екстракт a3.6 Температура оцукрення a3.7 Йодна проба

Для формалізації С-сценаріїв використовувався математичний апарат мереж Петрі з кольоровими фішками.

При розв'язанні задач оптимального керування технологічними процесами виробництва пива були виділені такі множини критеріїв : K_i^S – якість, P_i^S – продуктивність; W_i^S – втрати, а ситуаційна згортка за компромісною схемою Парето 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 керування; 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.

Розв'язання задачі багатокритеріального керування технологічними процесами виробництва пива передбачає пошук оптимальних значень режимних параметрів із набору A_i^j , що забезпечують досягнення значень критеріїв за компромісною схемою Парето. Обмеження A_i^j є нечіткими і характеризуються відповідною ситуаційно-значущою зоною.

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

$$\begin{cases} E(x_1, x_2, x_3) - K_p \gamma \leq P_0 \\ I(x_1, x_2, x_3, x_4) - K_k \gamma \leq K_0 \\ B(x_1, x_2) - K_w \gamma \geq W_0 \end{cases} \quad (18)$$

При 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.

Розв'язання задачі багатокритеріального оптимального керування здійснювалось для всіх процесів приготування пива, наприклад для моделей (14), (15), (16) оптимальні результати були такими:

$$E(K, C_{ред}, \tau_{оц}, t_{суш}, W_{сол}) = 77,12\% \quad ; \quad V_{ух_{екстр}}(V_{м_{екстр}}, t_{суш}, K_{заг}, C_{ред}) = 71,3\% \quad ;$$

$V_{mp_{e.p.}}(V_{mp_{ред}}, t_{суш}, K) = 15,8\% \quad ; \quad \gamma = 0,32$, час оцукрення 14,3 хв., вологість солоду 4,38%, температура затирання 71,3 °С, загальна кислотність сусла 1,21, кількість редукуючих цукрів 53 г/дм³, втрати редукуючих цукрів 2,7%, число Кольбаха 40,8%, ; масова частка екстрактивних речовин 13,7%.

Четвертий розділ присвячений розробці структури та алгоритмів керування технологічним комплексом пивзаводу на основі мережеских моделей.

Був розроблений алгоритм багатокритеріального керування пивоварним виробництвом з використанням мережеских моделей, сценаріїв керування та баз знань.

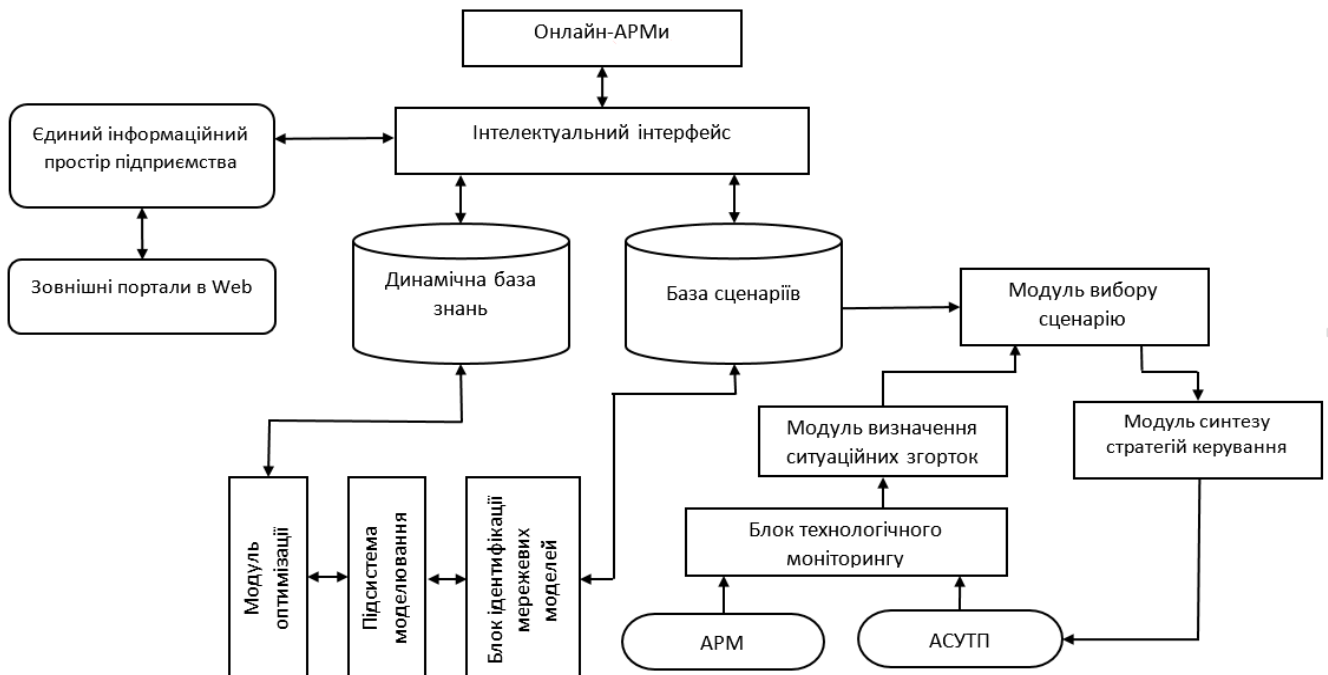


Рис.9. Функціональна структура системи управління

Цей алгоритм передбачає такі основні етапи: інтелектуальний моніторинг функціонування об'єкта, визначення ситуацій в ситуаційно-значущих зонах; формування ситуаційної згортки критеріїв керування; проведення багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів за Парето; формування стратегій керування в кожній із ситуаційно-значущих зон і реалізація її шляхом супервізорного керування в АСУТП пивзаводу. Реалізація алгоритму здійснюється в розробленій згідно із концепцією мережноцентричного керування системі

сценарного керування технологічними процесами приготування пива, функціональна структура якої наведена на рис. 9.

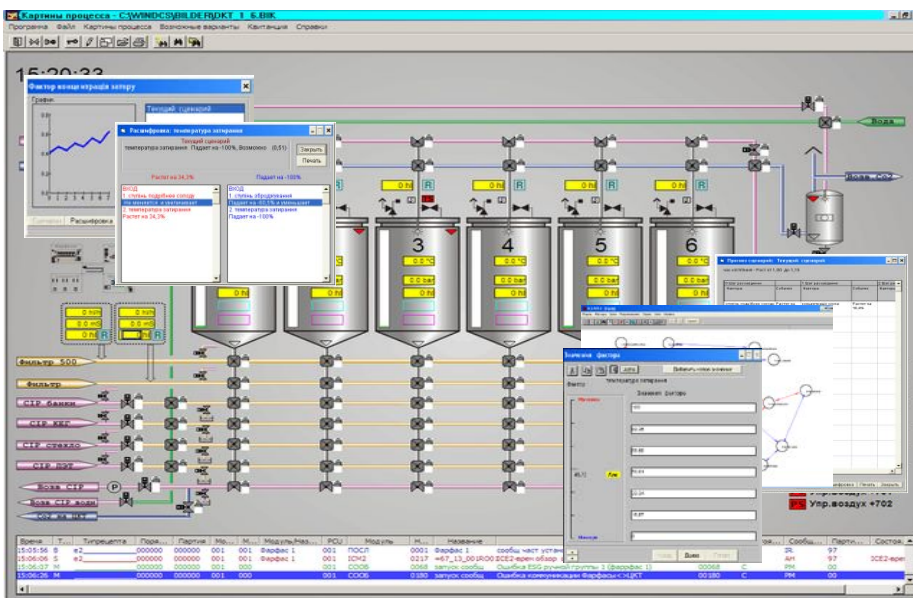
Для дослідження ефективності роботи автоматизованої системи багатокритеріального керування технологічними процесами виробництва пива, в середовищі Matlab побудовано імітаційну модель, яка складалась з таких блоків: імітатор вхідних дій; модель мікропроцесорної системи локального регулювання окремих параметрів; система сценарного керування; блок представлення та інтерпретації результатів

Формування вхідних дій здійснювалось за допомогою робастних планів експерименту Тагучі, які дозволяють зімітувати не тільки зміну основних параметрів, а й збурень (показники якості, параметри навколишнього середовища та ін.) шляхом зміни відношень сигнал–шум як «менше-краще»(less-good) і «більше-краще» (more-good).

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

Таблиця 3. Результати імітаційного моделювання

Відношення сигнал-шум, ($Eta_{less-good}$) і ($Eta_{more-good}$) Середньоквадратичне відхилення, σ	Моделі традиційної системи управління			Моделі, побудовані з використанням сценаріїв		
	Якість, бали	Втрати, %	Продуктивність, дал/доба	Якість, бали	Втрати, %	Продуктивність, дал/доба
$Eta_{less-good} = -10 * \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$	-	-3,85	-	-	-3,44	-
$Eta_{more-good} = -10 * \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)$	85.3	-	15063	91.7	-	15801
$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - y_i)^2}{n}}$	5.64	0,23	25.63	4.32	0,16	17.9



Розроблена інтелектуальна підсистема управління (рис.10), яка є системою управління верхнього рівня і використовується як надбудова над мікропроцесорною автоматизованою системою управління технологічними процесами виробництва пива.

Рис.10. Інтерфейс інтелектуальної системи керування

Проведені виробничі випробування запропонованих алгоритмів управління та обробка результатів їх застосування показали, якість готової продукції підвищилась в середньому на 5% (в бальній оцінці), втрати зменшились на 0,6%, продуктивність обладнання збільшилась на 4,9%.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

В дисертаційній роботі запропоновані нові розв'язки науково-технічної задачі підвищення ефективності функціонування технологічного комплексу пивзаводу шляхом розробки автоматизованої системи багатокритеріального керування технологічними процесами виробництва пива на основі сценарного підходу, мережевих моделей та інтелектуальних алгоритмів.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Проведений системно-технічний і категорійно-функторний аналіз технологічного комплексу пивзаводу та показників його функціонування дозволив виявити основні чинники підвищення ефективності пивоварного виробництва.

2. Отримані моделі якості продукції на кожній стадії пивоварного виробництва. Проведений аналіз технологічних процесів приготування пива з позицій кваліметрії та обробка результатів експертного опитування за допомогою методів багатомірного шкалування дозволив встановити рангову оцінку показників якості сировини, проміжних продуктів та готової продукції, що забезпечує об'єктивний оперативний моніторинг якості продукції на кожній стадії пивоваріння і дозволяє підвищити ефективність керування.

3. Здійснене когнітивне комп'ютерне моделювання поведінки технологічних процесів приготування пива дозволило виявити ситуаційно- значущі зони, в яких проявляються основні тенденції розвитку об'єкта в залежності від умов його функціонування.

4. Вперше отримані мережеві моделі технологічного комплексу виробництва пива, що відображають зв'язок між критеріями якості, продуктивності, технологічних втрат та режимними параметрами і забезпечують організацію ефективних стратегій керування в сучасних системах мережноцентричного керування.

5. Вперше на основі факторно-цільового та ситуаційного аналізу розроблені сценарії керування процесами виробництва пива, які дозволяють реалізувати у виділених ситуаційно-значущих зонах оптимальне керування технологічним комплексом пивзаводу в умовах невизначеності.

6. Вперше здійснена постановка та розв'язана задача багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва пива на основі компромісної згортки критеріїв за Парето в умовах невизначеності, ситуаційного змінювання пріоритетності критеріїв та при нечітких обмеженнях.

7. В рамках створених сценаріїв керування розроблені алгоритми багатоцільового керування пивзаводом, ефективність яких підтверджена імітаційним моделюванням та виробничими випробуваннями (якість готової

продукції підвищилась в середньому на 5% (в бальній оцінці), втрати зменшились на 0,6%, продуктивність обладнання збільшилась на 4,9%).

8. Розроблена структура автоматизованої системи багатоцільового керування пивзаводом, що передбачає застосування бази знань та сценаріїв керування з використанням комп'ютерних інтелектуальних технологій та мікропроцесорної техніки на основі концепції мережноцентричного керування.

9. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення передано для впровадження на ПАТ «Оболонь», що підтверджено відповідною довідкою та використовується в навчальному процесі на кафедрі автоматизації та інтелектуальних систем керування Національного університету харчових технологій.

Основний зміст дисертації викладено в опублікованих роботах:

1. Романов, М. С. Оптимізація процесу пивоваріння з використанням сценарного підходу в умовах ситуаційної невизначеності [Текст] / М. С. Романов, В. Д. Кишенько, А. П. Ладанюк // Харчова наука і технологія. – Одеса : ОНАХТ, 2014. – №3(28). – С. 21-29.

2. Романова, З. М. Оптимізація технології приготування пива шляхом вдосконалення процесу приготування пивного сусла [Текст] / З. М. Романова, В. С. Зубченко, М. С. Романов, О. А. Гушленко // Ukrainian Food Journal. Volume 2. Issue 1. – Київ : НУХТ, 2013. – Volume 2. Issue 1. – С. 7-13.

3. Романов, М. С. Факторно-цільовий аналіз функціонування системи багатоцільового управління технологічним комплексом пивзаводу [Текст] / М. С. Романов, В. Д. Кишенько, А. П. Ладанюк // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2(22). – С. 51–56.

4. Романов, М. С. Сценарне управління технологічними процесами приготування пива [Текст] / М. С. Романов, В. Д. Кишенько, А. П. Ладанюк // Східно-європейський університет передових технологій. – 2015. – № 2/3(74). – С. 74–81.

5. Романов, М. С. Многокритериальное управление процессами приготовления пива [Текст] / М. С. Романов, В. Д. Кишенько // Новый университет. – 2015. – № 3-4. – С. 34–39.

6. Романова, З. М. Вплив магнітного поля на приготування пивного сусла [Текст] / З. М. Романова, М. В. Карпутіна, В. С. Зубченко, М. С. Романов // Харчова і переробна промисловість. – 2008. – Листопад. – С. 21-22.

7. Романова, З. М. Фізичні аспекти оптимізації процесів пивоваріння рентгенівським опроміненням [Текст] / З. М. Романова, В. С. Зубченко, М. С. Романов, І. В. Мельник // Харчова наука і технологія. – 2010. – № 3 (12). – С. 86 – 89.

8. Зубченко, В. С. Перспективи впливу електромагнітного опромінювання на технологічні середовища [Текст] / В. С. Зубченко, М. В. Карпутіна, М. С. Романов, І. М. Мартинюк // Обладнання та технології харчових виробництв : темат. зб. наук. праць, Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського.– Дон. : ДНТУ, 2012. – Вип.28. – С. 38-42.

9. Романова, З. М. Перспективи використання рослинної сировини у пивоварінні : проблеми екологічної біотехнології [Електронний ресурс] / З. М. Романова, М. С. Романов // Національний авіаційний університет. – 2013. – №2. – С. 71-80.

Режим доступу: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/ekobiotech/article/view/3032/>

10. Романова, З. М. Дослідження впливу постійного магнітного поля на інтенсифікацію процесу приготування пивного сусла [Текст] / З. М. Романова, В. С. Зубченко, М. В. Карпутіна, М. С. Романов // Харчова і переробна промисловість. – 2005. – № 11. – С. 21-22.

11. Романова, З. М. Інтенсифікація процесу приготування пивного сусла електромагнітними полями і випромінюваннями [Текст] / З. М. Романова, В. С. Зубченко, Ю. В. Мельник, М. С. Романов // Харчова і переробна промисловість. – 2005. – № 5. – С. 22-25.

12. Романова, З. М. Оптимізація процесу зброджування пивного сусла рентгенівським опроміненням [Текст] / З. М. Романова, В. Л. Прибильський, М. В. Бондар, М. С. Романов // Харчова промисловість. – Київ : НУХТ, 2012. – № 13. – С. 94-99.

13. Романов, М. С. Мережноцентричне керування технологічним комплексом пивоварного виробництва [Текст] / М. С. Романов // Матеріали 79-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 15 - 16 квіт. 2013 р. – Київ : НУХТ, 2013. – Ч.2. Секція 17 (17.1. Підсекція сучасних методів автоматизації процесів управління). – С. 553 – 554.

14. Романов, М. С. Побудова моделі автоматичного керування технологічним комплексом пивзаводу із застосуванням графодинамічного підходу [Текст] / М. С. Романов // Матеріали XX міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика-2013», 25 - 27 вересня 2013 р. – Миколаїв : НУК, 2013. – Секція №3. Автоматичне управління в технічних системах. – С. 216 – 217.

15. Рахній, А. М. Оптимізація ферментативних процесів приготування квасу [Текст] / А. М. Рахній, М. С. Романов // Матеріали 79-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 15 - 16 квіт. 2013 р. – Київ : НУХТ, 2013. – Ч.4. Секція 26 (26.1. Підсекція фізики). – С. 246 – 248.

16. Романов, М. С. Графодинамічне моделювання технологічного комплексу пивзаводу [Текст] / М. С. Романов // Матеріали 80-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 10-11 квітня 2014 р. – Київ : НУХТ, 2014. – Ч.2. Секція 18 (18.1. Підсекція автоматизоване управління технологічними процесами). – С. 402 – 404.

17. Романов, М. С. ГЕРТ-мережевий аналіз процесу виробництва пива як об'єкта управління [Текст] / М. С. Романов // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 27 лист. 2014 р. – Київ : НУХТ, 2014. – С. 83.

18. Кравченко, Т. М. Використання фізичних чинників при приготуванні води для пива високої густини [Текст] / Т. М. Кравченко, М. С. Романов, В. С. Зубченко, З. М. Романова // Матеріали 80-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування

людства у XXI столітті», 10-11 квітня 2014 р. – Київ : НУХТ, 2014. – Ч.2. Секція 20 (20.1. Підсекція фізика). – С. 595 – 597.

19. Романов, М. С. Постановка задачі багатоцільового управління технологічним комплексом пивзавода при нечітких обмеженнях [Текст] / М. С. Романов // Матеріали 21-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління, м. Київ, 23-27 вересня 2014 р. – Київ : Вид-во НТУУ “КПІ” ВПІ ВПК “Політехніка”, 2014. Секція Автоматичне управління в технічних системах – С. 140 – 142.

20. Романов, М. С. Розробка алгоритмів інтелектуального управління ТК пивзаводу з використанням сценарно-когнітивних моделей мережного типу [Текст] / М. С. Романов // Матеріали міжнародної наукової конференції, присвяченої 130-річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти в харчовій промисловості», м. Київ, 13 -16 жовтня 2014 р. – Київ : НУХТ, 2014.- Секція 2 (2.4. Інтелектуальні системи управління технологічними процесами в харчовій промисловості). – С. 266.

21. Романов, М.С. Створення системи підтримки прийняття рішень для управління ТК пивзаводу з використанням мережноцентричного підходу [Текст] / М. С. Романов // матеріали XII Міжнарод. конф. «Контроль и управление в сложных системах – 2014)». – Вінниця : ВНТУ, 2014. – С. 186.

22. Романов, М. С. Когнітивне моделювання управління сушварильним відділенням пивзаводу [Текст] / М. С. Романов, В. Д. Кишенько // Матеріали 81-ї міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 23-24 квітня 2015 р. – Київ : НУХТ, 2015. – Ч.2. Секція 18 (Підсекція 18.2. Автоматизоване управління технологічними процесами). – С. 315.

23. Зубченко, В. С. Інтенсифікація екстрагування компонентів зернової сировини магнітними полями та випромінюваннями [Текст] / В. С. Зубченко, М. С. Романов, А. В. Самоловова // Матеріали 74-ї конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 21-22 квітня 2008 р. – Київ : НУХТ, 2008. – Ч.2. – С. 6.

24. Білякевич, О. М. Вплив електромагнітним опроміненням ультрафіолетового діапазону хвиль на динаміку [Текст] / О. М. Білякевич, М. С. Романов // Матеріали 75-ї конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 13-14 квітня 2009 р. – Київ : НУХТ, 2009. – Ч.2. – С. 37.

25. Зубченко, В. С. Вплив лазерного опромінення на активність ферментів солоду [Текст] / В. С. Зубченко, Р. К. Подаєв, М. С. Романов // Матеріали 76-ї конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 12-13 квітня 2010 р. – Київ : НУХТ, 2010. – Ч.2. – С.74.

26. Баранова, Г. К. Дослідження впливу електромагнітних опромінь радіочастотного діапазону хвиль на активність дріжджової культури [Текст] / Г. К. Баранова, М. С. Романов, М. В. Карпутіна, Л. О. Косоголова // Матеріали 76-ї конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 12-13 квітня 2010 р. – Київ : НУХТ, 2010. – Ч.2. – С.74.

АНОТАЦІЯ

Романов М.С. Автоматизоване керування технологічним комплексом пивзаводу з використанням мережевих моделей. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2015.

Дисертація присвячена розробці ефективних систем ресурсоощадного керування технологічними процесами приготування пива на основі сценаріїв керування та мережних моделей в рамках концепції мережноцентричного керування..

Основними критеріями при розв'язанні задачі керування процесом приготування пива є показники якості, ефективності використання матеріальних і енергетичних ресурсів та продуктивності виробництва. Розроблені математичні моделі якості основних технологічних процесів на основі методів кваліметрії і багатомірного шкалування з використанням експертної інформації. Проведено когнітивне моделювання поведінки технологічних процесів приготування пива, яке дало змогу відслідкувати причинно-наслідкові зв'язки між параметрами технологічного процесу та розробити сценарії керування технологічним комплексом пивзаводу, основу яких складають отримані мережеві математичні моделі, що зв'язують вибрані критерії керування з режимними параметрами пивоваріння і якісними показниками сировини та напівфабрикатів. Розроблено алгоритми багатокритеріального керування основними стадіями пивоварного виробництва з використанням згорток критеріїв за компромісною схемою Парето з урахуванням ситуаційної пріоритетності критеріїв. Запропоновано функціональну структуру системи багатоцільового управління технологічними процесами виробництва пива в рамках вимог мережноцентричного керування підприємством.

Ключові слова: виробництво пива, багатокритеріальна оптимізація, мережноцентричне керування, сценарії управління, кваліметрія, експертне опитування, математична модель, інформаційна система управління.

АННОТАЦИЯ

Романов Н.С. Автоматизированное управление технологическим комплексом пивзавода с использованием сетевых моделей. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - автоматизация процессов управления. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2015.

Диссертация посвящена разработке эффективных систем ресурсосберегающего управления технологическими процессами приготовления пива на основе сценариев управления и сетевых моделей в рамках концепции сетецентрического управления.

Установлено, что современные технологические комплексы пивоваренных заводов имеют все характерные признаки сложных организационно-технических систем, среди которых можно выделить наличие сложных технологических процессов различной физико-химической природы, высокого уровня

неопределенности, включая сложное поведение объекта в многоцелевом пространстве, нелинейность, многофакторность, нестационарность. Повышение эффективности и качества технологических процессов требует применения современных методов и систем управления, принципиально новых подходов к проектированию таких систем на базе современных информационных технологий и концепции сетецентрического подхода в автоматизации производства. Осуществлен системно-технический и категорийно-функторный анализ технологического комплекса пивоваренного завода, который включает стадии получения солода из зерна и зернопродуктов, измельчения солода и несоложенного зерна, приготовления затора, фильтрации затора, кипячение суслу с хмелем, отделение суслу от хмелевой дробины, осветления суслу, охлаждения суслу, аэрирования суслу, сбраживание пивного суслу, дображивания и созревания пива, фильтрации пива, розлив пива в бутылки и кеги, позволил выявить основные факторы повышения эффективности пивоваренного производства и установить основные связи между параметрами качества продукции в виде морфизмов, представленных в вербальной форме производственных правил. Основными критериями при решении задачи управления процессом приготовления пива являются показатели качества, эффективности использования материальных и энергетических ресурсов и производительности производства. Разработанные математические модели качества основных технологических процессов на основе методов квалиметрии и многомерного шкалирования с использованием экспертной информации. Осуществлена лингвистическая аппроксимация основных показателей пивоваренного производства, которая позволила выделить ситуационно-значимые зоны объектов управления с учетом нечетких значений из терм-множества лингвистических переменных режимных параметров процессов приготовления пива. Проведено когнитивное моделирование поведения технологических процессов приготовления пива, которое позволило отследить причинно-следственные связи между параметрами технологического процесса и разработать сценарии управления технологическим комплексом пивоваренного завода, основу которых составляют полученные сетевые математические модели, связывающие выбранные критерии управления с режимными параметрами пивоварения и качественными показателями сырья и полуфабрикатов. Разработанные на основе факторно-целевого и ситуационного анализа сценарии управления процессами производства пива позволяют реализовать в выделенных ситуационно-значимых зонах оптимальное управление технологическим комплексом пивоваренного завода в условиях неопределенности. Разработаны алгоритмы многокритериального управления основными стадиями пивоваренного производства с использованием сверток критериев по компромиссной схеме Парето с учетом ситуационной приоритетности критериев. Проведенные имитационное моделирование и производственные испытания подтвердили эффективность разработанных алгоритмов управления: качество готовой продукции повысилась в среднем на 5% (в балльной оценке), потери уменьшились на 0,6%, производительность оборудования увеличилась на 4,9%. Предложена функциональная структура системы многоцелевого управления технологическими процессами производства пива в рамках требований сетецентрического управления предприятием, предусматривающая применение

базы знаний и сценариев управления с использованием компьютерных интеллектуальных технологий и микропроцессорной техники.

Ключевые слова: производство пива, многокритериальная оптимизация, сетцентрическое управление, сценарии управления, квалиметрия, экспертный опрос, математическая модель, информационная система управления.

ANNOTATION

Romanov. MS Brewery technological complex control using network models. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.07 – Automation of control. National University of Food Technologies, Kyiv, 2015.

The thesis is devoted to development of resource-efficient control of brewing process based on scenario control and network models within the concept of network-centric control. The main criteria in solving the problem of brewing process control are quality, energy and material resources efficiency, productivity. Mathematical models of main technological processes are developed, based on qualimetry and multidimensional scaling using expert information. A cognitive modeling of brewing processes behavior was made, which make it possible to trace causal relationships between technological process parameters and develop control scenarios based on derived mathematical models which link selected control criteria with brewing operational parameters and quality indicators of raw materials and semi-finished products. Multicriteria control algorithms of the main stages of the brewing process using convolution of criteria for the compromise Pareto scheme considering criteria situational priority was made. A functional structure of the system of multipurpose control of brewing processes is proposed within the requirements of brewery network-centric control.

Keywords: brewing, multicriteria optimization, network-centric control, scenario control, qualimetry, expert survey, mathematical model, information control system.