

Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор¹

Коренець Ю. М., старший викладач¹

Копайгора О. К., асистент¹

Заїкіна Д. П., асистент¹

Кузьменко А. О., ЗВО ОС магістра¹

Невідін В. І., ЗВО ОС магістра¹

¹ Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ХАРЧОВИХ СМАРТ-ПРОДУКТІВ З ТЕХНОЛОГІЯМИ ЗАМОРОЖУВАННЯ

UDC 004.032.26.664.6

*Khorolskiy V. P., Grand PhD of Engineering Science,
Professor¹*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer¹

Kopayhora O. K., Assistant Professor¹

Zaikina D. P., Assistant Professor¹

Kuzmenko A. O., a graduate of a master's degree¹

Nevidin V. I., a graduate of a master's degree¹

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: horolskiy@donnuet.edu.ua

PRODUCTION MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM OF FOOD SMART PRODUCTS WITH FREEZING TECHNOLOGIES

Мета. Метою статті є розробка інформаційної системи забезпечення процесів проектування й виробництва харчових смарт-продуктів з роботизованим керуванням технологічними операціями.

Методи. При проведенні дослідження використано методи теорії інформаційних систем забезпечення складних технологічних процесів виробництва смарт-продуктів харчування із вбудованою цифровою платформою та промисловим Інтернетом речей (Internet of Things — IoT), програмне забезпечення якого, бази даних, бази прецедентів та бази знань правил дозволяють проектувати компонентний та нутрієнтний склад харчових продуктів за нормами фізіологічних потреб споживачів, моделювати смарт-продукти, видавати через інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень операційному персоналу й виробничим засобам алгоритми реалізації інтерфейсу на команди щодо вибору режимів роботи робототехнологічного обладнання та ультразвукових кавітаційних робототехнологічних інтенсифікаторів. При проведенні комплексної оцінки якості сировини і готової продукції використано загальновідомі стандарти і спеціальні методи досліджень органолептичних і функціонально-технологічних властивостей, показників харчової цінності й безпечності продукції. З використанням теорії автоматичного керування з метою синтезу систем динамічної ідентифікації нелінійних нестационарних об'єктів керування і синтезу адаптивних регуляторів у складі АСКТЛ з виробництва смарт-продуктів харчування, визначено фрейм системи, яка оцінює число компонентів харчового продукту, його вихідних показників, технології виробництва, автоматизоване адаптивне керування технологічними операціями з технологічними інтенсифікаторами.

Результати. Обґрунтовано принципи побудови інформаційної системи керування з вбудованою цифровою платформою «Іжа», призначеною для комп'ютерного моделювання смарт-продуктів харчування, збалансованих за нутрієнтним складом, які можна рекомендувати для

Надійшла до редакції 04.11.2020 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,
О. К. Копайгора, Д. П. Заїкіна,
А. О. Кузьменко, В. І. Невідін, 2020

харчування певних категорій людей: з важкими умовами праці (служби) та таких, що мешкають на територіях із техногенним забрудненням.

Розроблено автоматизовану систему керування технологічними лініями виробництва смарт-продуктів харчування, яка відрізняється від існуючих вбудованою цифровою платформою і робототехнологічними інтенсифікаторами продуктів збагачення тіста функціональними інгредієнтами, системами автоматичного охолодження і заморожування готової продукції та напівфабрикатів, виконаними на базі SCADA-систем і MES-систем диспетчерського керування, пов'язаних з ІСКВП та зі споживачами продукції і постачальниками сировини; система дозволяє в реальному масштабі часу виконувати оцінку технологічного процесу щодо параметрів сировини (екологічність, безпечність, функціонально-технологічні властивості, хімічний склад, харчова та енергетична цінність) та смарт-продукту харчування.

Ключові слова: смарт-продукт харчування, інформаційна система, Інтернет речей (IoT), автоматизована система керування, робототехнологічне обладнання.

Постановка проблеми. У процесі забезпечення населення територій з техногенним тиском смарт-продуктами харчування головну роль відіграє індустрія харчових продуктів високої якості. У їх числі м'ясні та рибні продукти різного асортименту, спеціальні хлібо-булочні та макаронні вироби, збагачені функціональними доданками. За рахунок своїх властивостей вони здатні покращити якість харчування певних категорій населення: робітників з важкими умовами праці (гірників, металургів, збагачувальників), воїнів ЗСУ тощо, населення територій з техногенним тиском [1].

Демографічні та соціально-економічні тенденції регіонів України з техногенними територіями, несприятливі екологічні ситуації останніх років значно погіршують здоров'я людей, що мешкають і працюють на цих територіях.

Негативна динаміка стану здоров'я людей на територіях із техногенним тиском вимагає від науковців не лише розробки стратегій профілактики й оздоровлення, а, головне, розробки системи регіонального харчування та реалізації інноваційних технологічних і проектних рішень в процесі виробництва полікомпонентних харчових смарт-продуктів. Тому розробка і виробництво продуктів харчування для регіонів із техногенними територіями, збалансованих за нутрієнтним складом, на базі безлюдних технологій є сьогодні актуальною проблемою.

Цю проблему потрібно вирішувати за рахунок впровадження високих технологій (high technology) з використанням новітніх робототехнологічних комплексів, біотехнологій (Biotech), нанотехнологій (Nanotech) та інформаційно-комунікаційних технологій (Intech) [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній практиці автоматизованого виробництва високоякісної продукції харчування для регіонів з високим рівнем забруднення є три основні тенденції:

1) збільшення обсягів виробництва продуктів для здорового харчування у вигляді охолоджених і заморожуваних напівфабрикатів та готових продуктів [3];

2) широке використання білкових інгредієнтів рослинного та тваринного походження, а також додаткових джерел есенціальних нутрієнтів;

3) впровадження безлюдних робототехнологічних комплексів [4].

При цьому тенденція створення інноваційних та технологій ресурсозбереження з метою покращення структури харчування населення, що мешкає на забруднених територіях, тісно пов'язана з проблемою забезпечення екологічно чистою вітчизняною сировиною, пошуком ефективних способів її переробки з впровадженням робототехнологічних комплексів.

Підвищення безпеки та користі харчування має бути виконано за рахунок зменшення штучних харчових доданків та збільшення масової частки джерел фізіологічно цінних та/або біологічно активних компонентів їжі [5].

Таким чином, сучасній тенденції створення смарт-харчування, що відповідатиме оптимальному задоволенню потреб організму людини за фізіологічними нормами спо-

живання, повинні відповідати проектні рішення щодо розробки цифрової платформи «Їжа» з інформаційними системами автоматизованого керування технологічними процесами виробництва полікомпонентних харчових продуктів.

Разом з тим в умовах коронавірусної пандемії основана маса населення, що мешкає і працює на забруднених територіях, має бути забезпечена смарт-продуктами харчування з додатковими харчовими і біологічно активними речовинами. У зв'язку з цим розробка цифрової платформи «Їжа» з інформаційними автоматизованими процесами виробництва харчових продуктів високої якості є актуальним стратегічним напрямком в рішенні поставлених завдань.

Значний вклад у рішення проблеми інформаційного забезпечення автоматизованого керування процесами виробництва харчових продуктів внесли дослідження таких відомих вчених, як Б. М. Гончарук, А. П. Ладанюк, В. Г. Трегуб, І. В. Ельперін, Л. Н. Плужніков та багато інших спеціалістів харчової промисловості [6].

Метою статті є розробка інформаційної системи забезпечення процесів проектування й виробництва смарт-продуктів харчування з роботизованим керуванням технологічними операціями.

Означена мета конкретизується у таких завданнях:

— обґрунтування принципів побудови інформаційних систем проектування й виробництва смарт-продуктів харчування з цифровою платформою «Їжа»;

— розроблення автоматизованої системи керування технологічною лінією виробництва продуктів харчування з робототехнологічними інтенсифікаторами процесів збагачення продуктів природними біо-корегуючими інгредієнтами із технологіями заморожування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Припустимо, що виробнича програма публічного акціонерного товариства (ПАТ) з виробництва смарт-продуктів харчування характеризується такими чинниками: асортиментом A , технологією T , виробничою програмою P . Цю систему і зміни її входів $x(t_n)$ опишемо (з певним припущенням) родинною матрицею $\{x_n\}=\{x(c)\}$:

$$x(t_n) = \begin{vmatrix} x_{11}(t_n) & x_{12}(t_n) & x_{13}(t_n) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{i1}(t_n) & x_{i2}(t_n) & x_{i3}(t_n) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{k1}(t_n) & x_{k2}(t_n) & x_{k3}(t_n) \end{vmatrix} \quad (1)$$

$A \qquad \qquad P \qquad \qquad T$

Матриця $X(t_n)$ є функцією від часу t_n , що змінюється від 1 до N (N — кількість видів продуктів харчування). Для будь-якого P розмірність матриці $X(t_n)$ дорівнює $d_n \times 3$. Іншими словами, кількість рядків цієї матриці залежить від моменту часу t_n , тобто від її номера в послідовності. Стовбцями матриці $X(t_n)$ є входи A , P , T . Виходами виробничої системи $\{\bar{Y}_B\}$ є продуктивність за кожним із N видів продуктів харчування, якість продукції, чистий потік грошей тощо.

Сучасні системи керування корпоративними підприємствами побудовані з використанням інтелектуальних інформаційних систем керування (ІСК). На рис. 1 наведено блок-схему інформаційної системи керування з виробництвом смарт-продуктів харчування (ІСКВРП), в яку вбудовано цифрову платформу «Їжа».

Верхній рівень траєкторного керування виробництвом продуктів харчування інформаційної системи та її цифрової платформи «Їжа» не лише виконує стратегічне планування, вона також оперативно планує зовнішні споживчі характеристики продукту харчування для техногенних територій (форма, маса, об'єм, дизайн продукту, його пакування), надає споживачу інформацію щодо продукту, створюючи базу даних, базу прецедентів щодо норм фізіологічних потреб певних категорій споживачів (населення, гірників, металургів, війнів ЗСУ тощо). Цей рівень також визначає асортимент (A) та рецептуру харчових

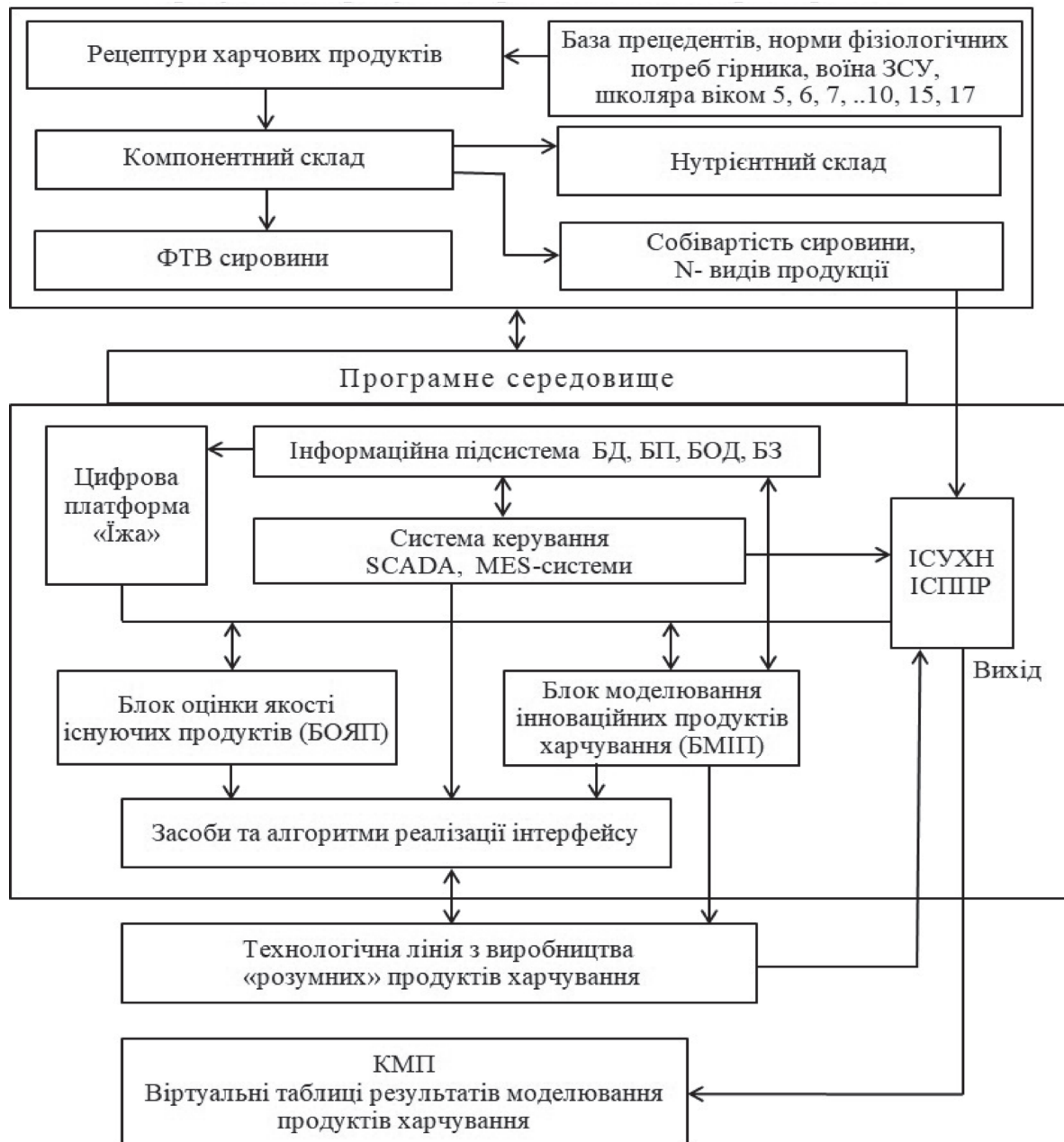


Рисунок 1 — Інформаційна система керування виробництвом смарт-продуктів, промислових Інтернет речей

продуктів, компонентний та нутрієнтний склади продукції, функціонально-технологічні властивості (ФТВ) сировини, її собівартість, асортимент N видів продукції та її конкурентоспроможність. Крім цього, верхній рівень інформаційної системи з цифровою платформою “Їжа” підприємства визначає послідовність підготовки технологічних операцій, параметри обладнання, рівень програмного забезпечення (ПЗ), а також включає інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень (ІСППР) топ-менеджерами підприємства.

У процесі створення програмного середовища для оцінки чинників A , Π , T формується база даних (БД), база прецедентів (БП), база оперативних даних (БОД), база знань (БЗ) і виконується оцінка якості існуючих продуктів та моделювання смарт-продуктів харчування.

Наприклад, ІСППР для оцінки нутрієнтної адекватності продукту харчування щодо вмісту ліпідів використовується показник, який віддзеркалює ступінь відповідності жирнокислотного складу нормам фізіологічної потреби організму людини, яка мешкає на забрудненій території. Цей показник будемо визначати за формулами [7]:

$$R_G = \left(\prod_{i=1}^m [(d_{Gi})]^{\frac{1}{m}} \right) \dots, \quad (2)$$

$$d_{Gi} = \begin{cases} \frac{G_i}{G_{Ei}}, & G_i \leq G_{Ei} \\ \left(\frac{G_i}{G_{Ei}} \right)^{-1} & G_i > G_{Ei} \end{cases} \dots, \quad (3)$$

де R_G — показник раціональності жирнокислотного складу продукту харчування, частка одиниць; m — кількість жирних кислот, за якими проводиться аналіз; G_i — масова частка i -ї жирної кислоти в сировині, г/100г ліпідів, G_{Ei} — масова частка i -ї жирної кислоти в еталоні, г/100 г ліпідів; $i = 1$ — відповідає сумі насичених жирних кислот, $i = 2$ — сумі мононенасичених жирних кислот, $i = 3$ — сумі поліненасичених жирних кислот, $i = 4$ — лінолівої, $i = 5$ — ліноленової, $i = 6$ — арахідонової.

Ці моделі важливі під час проектування оптимального харчування робітника з важкими умовами праці, наприклад, гірника (Еталон), що працює на глибинах більше 1300 м в умовах високої вологості забою та інших специфічних параметрах навколишнього середовища.

Додатковими індикаторами відповідності жирнокислотного складу продуктів їх профілактичній та функціональній спрямованості можуть виступати індекси атерогенності (ІА) та зміцнення здоров'я (НРІ) робітників або воїнів ЗСУ [7; 9].

У розробленій інформаційній системі з цифровою платформою «Іжа» важливими моделями також можуть бути показники ступеня збалансованості макро-, мікроелементного та вітамінного складу полікомпонентних продуктів харчування для контингентів, що досліджуються.

З урахуванням показників нормованої відповідності R_M та R_V [7; 9] запишемо моделі у вигляді рівнянь виду:

$$R_M = \left(\prod_{i=1}^m d_{Mi} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (4)$$

$$d_{Mi} = \begin{cases} \frac{M_i}{M_{Ei}}, & M_i \leq M_{Ei} \\ \left(\frac{M_i}{M_{Ei}} \right)^{-1} & M_i > M_{Ei} \end{cases} \dots, \quad (5)$$

де R_M — показник нормованої мікро- та макроелементарної відповідності (раціональності мікро-, макроелементного складу), частка одиниць; M_i — масова частка i -го мікро- та макроелементу в продукті, г/100г продукту; M_{Ei} — масова частка мікро- та макроелементу, що відповідає нормі фізіологічної потреби організму людини (Еталон), г/100г продукту; m — кількість мікро- та макроелементів, за якими виконується імітаційне моделювання.

За подібною методикою можна виконати моделювання оптимального значення вітамінної відповідності R_V (частк. од.) При цьому будуть застосовані такі показники: V_i — масові частки i -х вітамінів у рецептурній суміші, г/100 г продукту; V_{Ei} — масова частка вітамінів, що відповідають нормі фізіологічної потреби організму людини (Еталон), г/100 г продукту.

Ці знання про еталонний продукт харчування певних контингентів формуються в базах прецедентів і базі знань у виді фреймів. Фрейм — це структура даних, призначених для надання певної ситуації та алгоритмів подальших дій [10].

Серед фреймів виокремимо найважливіші:

— алгоритми контролю параметрів формування складу сировини;

- алгоритми вибору еталону продукту харчування певної категорії людей;
- алгоритм формування меж масових часток інгредієнтів;
- алгоритми оцінки нутрієнтної збалансованості рецептур продуктів харчування.

Фрейми й алгоритми занесені в програмне середовище цифрової платформи «Їжа» і через засоби реалізації інтерфейсу та ІСППР управляють технологічними дільницями технологічної лінії з виробництва смарт-продуктів харчування.

Виходом інтелектуальної системи керування харчуванням населення (ІСКХН) є фрейм виду:

$$F_i = \langle \vec{P}_i; \Phi(F_j) \rangle; \quad i, j = 1, n, \quad (6)$$

де n — кількість компонентів, що приймають участь у рецептурі харчового продукту; $\vec{P}_i$ — вектор властивостей об'єкту досліджень (екзогенних (вхідна база даних), ендегенних (розрахункових) вихідних показників безпечного продукту; база знань і прецедентів, база оперативних даних (БОД)); $\Phi(F_j)$ — вектор морфізм (математичні моделі, технології виробництва, робототехнологічні комплекси), автоматизовані системи керування технологічними лініями (АСКТЛ).

Нижнім рівнем керування процесом виробництва смарт-продуктів є автоматизовані системи керування. Наведемо два проекти побудови таких систем.

Перший проект — автоматизоване виробництво хлібобулочних виробів з борошна прозерів пшениці (джерело вітамінів і мінералів, стимулятор процесів нормалізації роботи серцево-судинної системи) з додатками лляного насіння (джерело поліненасичених жирних кислот і ліпотропиків, антиоксидантів, вітамінів та мікроелементів).

Другий проект — автоматизоване виробництво макаронних виробів з додаванням м'ясопродуктів та субпродуктів (м'ясо птиці, печінка) і калорійністю до 5000 ккал на кожні 200 г продукту, призначених для смарт-харчування гірників, металургів, воїнів ЗСУ.

Загальним атрибутом цих проектів є використання цифрової платформи «Їжа», промислового IoT, SCADA- і MES-систем та інтелектуальних датчиків рН-параметрів, запаху, температурних режимів роботи технологічних апаратів та робототехнічних інтенсифікаторів гетерогенного середовища [11].

На рис. 2 наведено автоматизовану систему керування (АСКТА) виробництвом смарт-продуктів харчування — хлібобулочних виробів [11].

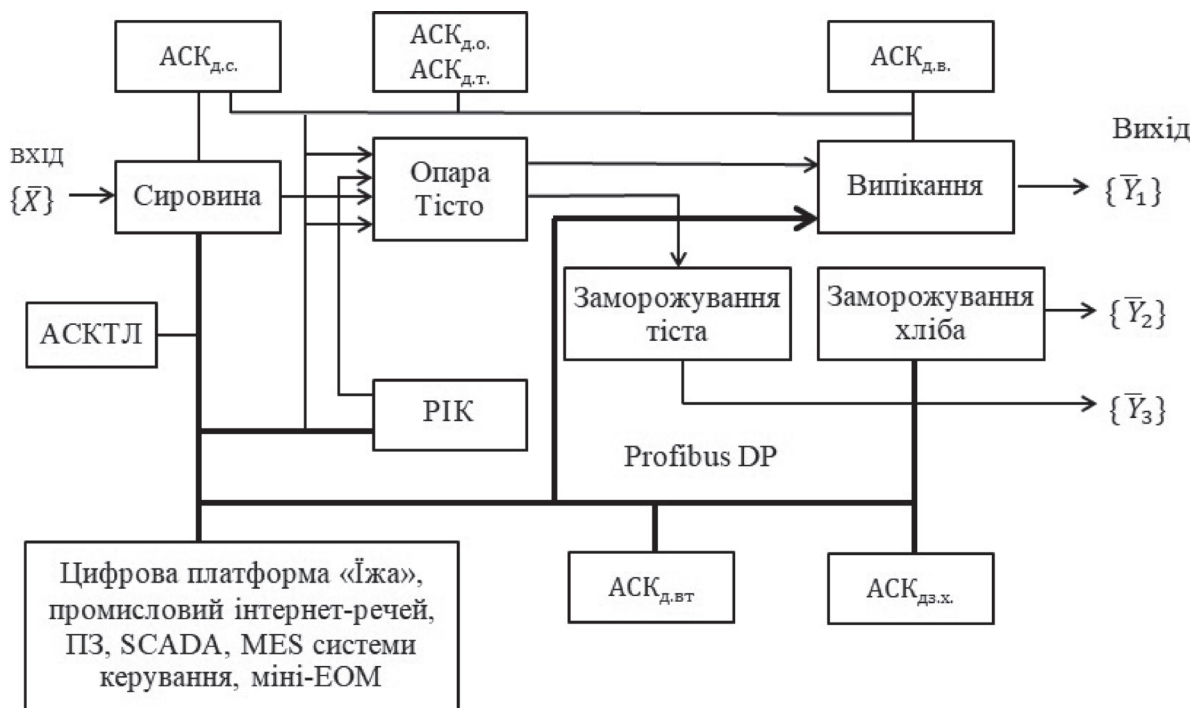


Рисунок 2 — Автоматизована система керування (АСУТА) виробництвом смарт-продуктів харчування — хлібобулочних виробів

Технологічна лінія включає дільниці приготування сировини, опари, тіста; заморожування тіста; стадії випікання і виробництва готової продукції $\{Y_1\}$, замороженої готової продукції; заморожуваного напівфабрикату (НФ) $\{Y_3\}$.

Система представлена адаптивними системами керування, а саме:

- АСКД.с — дільниці «сировина»;
- АСКД.о — дільниці «опара»;
- АСКД.т — дільниці «тісто»;
- АСКД.в — дільниці «випікання»;
- АСКД.з.т — дільниці «заморожування тіста»;
- АСКД.з.х — дільниці «заморожування хліба».

АСКТЛ через інформаційну шину Profibus DP зв'язана з цифровою платформою «Іжа» промислового IoT, SCADA-системами та міні-EOM з програмним забезпеченням (ПЗ). Робототехнічні інтенсифікатори (РІК) у системі приготування опари та тіста ультразвуковими випромінювачами (робоча частота 22 КГц, 30 КГц, 40 КГц) не лише прискорюють процес приготування опари за рахунок керованої кавітації, але й відіграють важливу роль в процесі збагачення тіста природними біокоригувальними інгредієнтами [11].

Контроль якості хлібобулочного продукту виконує БОЯП, а блок моделювання смарт-продукту харчування БМІП та ІСППР дають ОПР рекомендації щодо продуктивності (виробнича програма П), кількісних параметрів заморожуваних продуктів $\{\bar{Y}_2\}$ та продукту $\{\bar{Y}_1\}$. Ці значення програми П висвічуються на корпоративному моніторі підприємства (КМП) у вигляді технологічної карти і завдань локальним адаптивним системам АСКД.с, АСКД.о, АСКД.т, АСКД.в, АСКД.з. т, АСКД.з.х.

На рис. 3 наведено автоматизовану систему керування технологічним процесом виробництва макаронних виробів. У цій системі важливу роль відіграють адаптивні системи керування підготовкою сировини, замісу тіста з оптимізацією вихідних показників $\{\bar{Y}_1\}$, $\{\bar{Y}_2\}$ щодо параметрів рН; оптимізації якості м'ясних продуктів (яловичої печінки або м'яса птиці) параметри $\{\bar{Y}_3\}$, яку виконує адаптивна система керування (АСК 1) з вектором керованих впливів $\{\bar{u}_1\}$; стабілізацію вихідних показників $\{\bar{Y}_4\}$ макаронних виробів виконує система АСК 2.

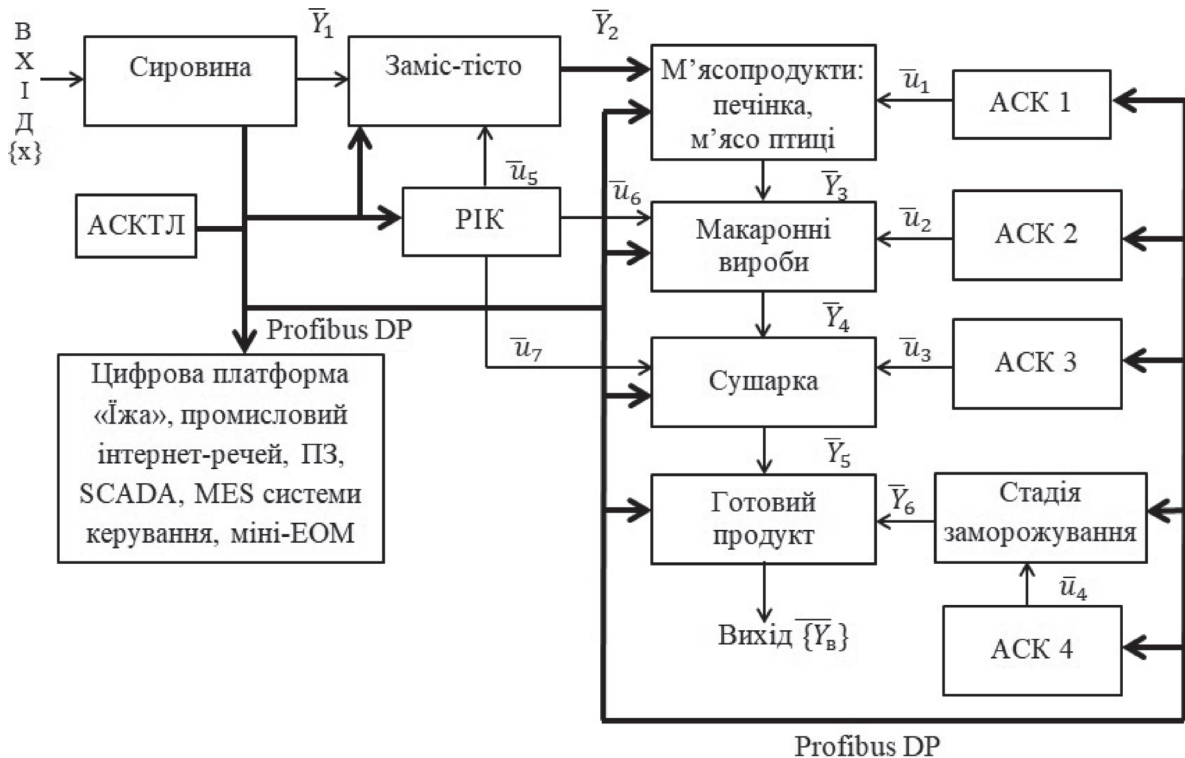


Рисунок 3 — Автоматизована система керування технологічним процесом виробництва макаронних виробів

Система АСКЗ виконує оптимізацію активності сушарки за допомогою вектору керованих впливів $\{\bar{u}_2\}$ та $\{\bar{u}_7\}$. Вона ж стабілізує вихідні дані параметри $\{\bar{Y}_5\}$ міцності макаронних виробів. Важливим параметром контролю на цій технологічній дільниці є:

— час початку сушіння макаронних виробів з м'ясними добавками (t_1), а також тривалість процесу сушки;

— параметри потужності ультразвуку РІК (керовані впливи $\{\bar{u}_5\}$, $\{\bar{u}_6\}$), яку випромінює робототехнічний інтенсифікатор в гетерогенне середовище опара-тісто;

— параметри керованого впливу $\{\bar{u}_7\}$.

Останні корегуються ІСППР цифрової платформи «Іжа», БМІП та MES-системами, залежно від параметрів виробничої програми П та кількісних параметрів $\{\bar{Y}_6\}$ заморожуваних макаронних виробів і готового продукту $\{\bar{Y}_B\}$.

Технологічний процес заморожування макаронних виробів $\{\bar{Y}_6\}$ протікає за температури $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (початковий етап) й $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (заклучний етап), а виробництво готової продукції $\{\bar{Y}_B\}$ виконано за допомогою адаптивної системи керування АСКА (вектор управлінських впливів $\{\bar{u}_4\}$).

Таким чином, на прикладі двох проектів автоматизованого виробництва смарт-продуктів харчування з цифровою платформою «Іжа», яку вбудовано в інформаційну систему її виробництва, запропоновано технологічні рішення щодо виробництва смарт-продуктів харчування для населення територій із техногенним тиском, робітників з важкими умовами праці (гірників, металургів), воїнів ЗСУ, збалансованих за нутрієнтним складом і збагачених комплексом мікро-, макроелементів та вітамінів.

Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень в комплексі з автоматизованою системою керування технологічною лінією виробництва смарт-продуктів і програмним забезпеченням цифрової платформи «Іжа» оптимізує режими роботи технологічних дільниць (операцій) та робототехнологічних інтенсифікаторів і за допомогою адаптивних систем керування, детально розглянутих в [12], своєчасно виконує задані показники виробничої програми публічного акціонерного товариства, задовольняючи потреби споживачів в умовах динамічних змін зовнішнього та внутрішнього середовищ.

Висновки. Обґрунтовано принципи побудови інформаційної системи керування із вбудованою цифровою платформою «Іжа», призначеною для проектування, комп'ютерного моделювання смарт-продуктів харчування для певних категорій населення (населення територій з техногенним тиском, робітників з важкими умовами праці (гірників, металургів), воїнів ЗСУ). До таких продуктів сформовані вимоги щодо збалансованості за нутрієнтним складом, оцінки їх якості та відповідності фізіологічним потребам людини, яка працює та/або проживає на території із техногенним забрудненням.

Розроблено автоматизовану систему керування технологічними лініями виробництва смарт-продуктів харчування, яка відрізняється від існуючих вбудованою цифровою платформою і робототехнологічними інтенсифікаторами продуктів збагачення тіста функціональними інгредієнтами тваринного походження, системами автоматичного охолодження і заморожування готової продукції та напівфабрикатів, виконаними на базі SCADA-систем і MES-систем диспетчерського керування, пов'язаних з ІСКВП та IoT зі споживачами продукції та постачальниками сировини. Побудована система дозволяє в реальному масштабі часу виконувати оцінку технологічного процесу щодо параметрів сировини (екологічність, безпечність, функціонально-технологічні властивості, хімічний склад, харчова та енергетична цінність) та смарт-продукту харчування (збалансованість, харчова та енергетична цінність, органолептичні властивості, зовнішні споживчі характеристики).

Список літератури

1. Khorolskyi V., Bavyko A., Yermak S., Riabykina K., Khorolskyi K. Innovative functional food products for the mining industry. Journal of Hygienic Engineering and Design. 2018. Vol. 24. P. 55–62.

2. Кизим М. О., Матюшенко І. Ю. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економіках країн світу та України : монографія. Харків : Інжек, 2011. 392 с.
3. Хорольський В. П., Коренець Ю. М. Проектування робототехнологічного комплексу з виробництва хліба для територій з техногенним тиском. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 1 (257). С. 256–263.
4. Хорольський В. П., Гайдай Д. Д., Хорольський К. Д. Інноваційно-інвестиційна стратегія розвитку підприємств харчової промисловості регіону з техногенно забрудненими територіями. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2018. № 5 (Том 1). С. 194–200.
5. Arihara K. Strategies for designing novel functional meat products. *Science*. 2006. Vol. 74. No. 1. P. 219–229. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.04.028.
6. Гончаренко Б. М., Ладанюк А. П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : підручник. Київ : НУХТ, 2014. 530 с.
7. Липатов Н. Н., Баширов О. И., Нескоромная Л. В. Информационно-алгоритмические и терминологические аспекты совершенствования качества многокомпонентных продуктов питания социального назначения. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. № 9. С. 25–28.
8. Толкунова Н. Н. Математическое моделирование рецептуры сосисок. *Мясная индустрия*. 2004. № 10. С. 48–50.
9. Пупкова К. А., Егупова Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления : учебник в 5 т. М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. Т. 5 : Методы современной теории автоматического управления. 784 с.
10. Хорольський В. П. та ін. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія. Кривий Ріг, 2020. 561 с.
11. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К. Методи ідентифікації та алгоритми адаптивних систем прямого цифрового керування виробництвом продуктів харчування. *Обладнання та технології харчових виробництв*. 2020. № 1 (40). С. 32–45.

References

1. Khorolskyi, V., Bavyko, A., Yermak, S., Riabykina, K., Khorolskyi, K. (2018). Innovative functional food products for the mining industry. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, vol. 24, pp. 55–62.
2. Kizim, M. O., Matyushenko, I. Yu. (2011). *Perspektyvy rozvytku i komertsializatsiyi nanotekhnologiy v ekonomikah krayin svitu ta Ukrayiny* [Prospects for the development and commercialization of nanotechnology in the economies of the world and Ukraine]. Kharkiv, Inzhrek Publ., 392 p.
3. Khorolskyi, V. P., Korenets, Yu. M. (2018). *Proektuvannia robototekhnologichnoho kompleksu z vyrobnytstva khliba dlia terytorii z tekhnohennym tyskom* [Designing of a robotic technological complex for bread production for territories with technogenic pressure]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauki* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Engineering sciences], no. 1 (257), pp. 256–263.
4. Khorolskyi, V. P., Haidai, D. D., Khorolskyi, K. D. (2018). *Innovatsiyno-investitsiyna strategiia rozvytku pidpriemstv kharchovoyi promyslovosti regionu z tekhnogenno zabrudnenymy terytoriyamy* [Innovation and investment strategy for the development of food industry enterprises in the region with man-made contaminated areas], *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauki* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Economic sciences], no. 5, vol. 1, pp. 194–200.
5. Arihara, K. Strategies for designing novel functional meat products. *Meat Science*, 2006, vol. 74, no.1, pp. 219–229. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.04.028.
6. Goncharenko, B. M., Ladanyuk, A. P. (2014). *Avtomatizatsiya virobnychih protsesiv harchovih tehnologiy* [Automation of food production processes]. Kyiv, NUFT Publ., 530 p.
7. Lipatov, N. N., Bashyrov, O. I., Neskoromnaya, L. V. (2018). *Informatsionno-algoritmicheskie i terminologicheskie aspekty sovershenstvovaniya kachestva mnogokomponentnykh*

produktov pitaniya sotsialnogo naznacheniya [Informational-algorithmic and terminological aspects of improving the quality of multi-component food products for social purposes]. *Khranenie i pererabotka selkhozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], no. 9, pp. 25–28.

8. Tolkunova, N. N. (2004). *Matematicheskoe modelirovanie retseptury sosisk* [Mathematical modeling of the recipe for sausages]. *Myasnaya industriya* [Meat industry], no. 10, pp. 48–50.

9. Pupkova, K. A., Egupova, N. D. (2004). *Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya. Kn. 5: Metody sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of classical and modern theory of automatic control, vol. 5: Methods of modern theory of automatic control], Moscow, Bauman MSTU Publishing house.

10. Horolskiy, V. P. et al. (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpriemstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region], Kryvyi Rih, Chernyavskiy Publ., 561 p.

11. Horolskiy, V. P., Korenets, Yu. M., Kopaygora, O. K. (2020). *Metody identyfikatsiyi ta algorytmy adaptivnykh system pryamogo tsyvrovogo keruvannya vyrobnytstvom produktiv kharchuvannya* [Methods of identification and algorithms of adaptive systems of direct digital control of food production]. *Obladnannya ta tehnologiyi kharchovih vyrobnytstv* [Food production equipment and technologies], no. 1 (40), pp. 32–45.

Objective. The purpose of the article is to develop an information system to ensure the design and production of smart food products with robotic control of technological operations.

Methods. The study used methods of information systems theory of complex technological processes of smart food production with built-in digital platform and the industrial Internet of Things (the Internet of Things — IoT). The IoT software, databases, precedent databases and knowledge base rules allow us to design component and nutrient composition of food products according to the physiological needs of consumers, model smart products, issue through the intelligent decision support system to operating personnel and production facilities algorithms for implementing the interface to teams to select modes of operation of robotic equipment and ultrasonic cavitation robotic intensifiers. Standards and special research methods of organoleptic and functional-technological properties, indicators of nutritional value and product safety were used in conducting a comprehensive assessment of the quality of raw materials and finished products. Using the theory of automatic control to synthesize systems for dynamic identification of non-linear non-stationary control objects and the synthesis of adaptive controllers in ASCTL for smart food production, the frame of the system was determined. The system estimates the number of food components, its output, production technology, automated adaptive control with technological operations with technological intensifiers.

Results. The authors lay a foundation for the principles of building a management information system with a built-in digital platform “Food”. The platform was designed for computer simulation of smart foods, balanced in nutritional composition, which can be recommended for certain categories: people by working conditions (difficult conditions/services) and by place of living (those who live in man-made pollution areas).

An automated control system for technological lines for the production of smart food products has been developed. It differs from the existing ones by a built-in digital platform and robotic intensifiers for dough enrichment products with functional ingredients; systems of automatic cooling and freezing of finished products and semi-finished products, made on the basis of SCADA-systems and MES-dispatch control systems related to CIS and with consumers of products and suppliers of raw materials; The system allows real-time assessment of the technological process in relation to the parameters of raw materials (environmental friendliness, safety, functional and technological properties, chemical composition, nutritional and energy value) and smart food.

Keywords: smart food, information system, Internet of Things (IoT), automated control system, robotic equipment.