

The hardware support of technologies with an estimation of prospects of their expanded use where reception of grape must on the basis of TRZT is reached by double potential of power influence, at the expense of the raised pressures and at the expense of vacuuming is offered.

Information on the solubility of CO₂ in different media is given.

Key words: wine material, intensification, wort yield, unbalanced thermodynamic state, solubility, carbon dioxide, oxygen.

DOI : 10.33274/2079-4827-2021-43-2-110-121

УДК 64.951.3:(681.5:664.8.039.4)(045)

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

Никифоров Р. П., канд. техн. наук, доцент

Коренець Ю. М., старший викладач

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

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОГО КОПЧЕННЯ РИБНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РОБОТОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ

UDC 664.951.3:(681.5:664.8.039.4)(045)

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

*Nykyforov R. P., PhD in Engineering sciences,
Associate Professor*

Korenets Yu. M., Senior Lecturer

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

IMPROVEMENT OF THE HOT SMOKING OF FISH PRODUCTS USING THE INTELLIGENT WORKING AND TECHNOLOGICAL COMPLEX

Мета. Метою статті є підвищення якості готової продукції шляхом використання інтелектуальних технологій прогнозування оперативному персоналу робочих параметрів гарячого копчення рибної продукції в темні з процесом та розробка інтелектуального робототехнологічного комплексу з імпульсними ультразвуковими інтенсифікаторами процесу дифузії компонентів коптільного диму.

Методи. У статті використані експертні методи досліджень, методи імітаційного моделювання і експериментальних досліджень, які виконані на натурних об'єктах у виробничих умовах. З метою побудови бази знань і бази даних використано методологію системного підходу. Дослідження робочих характеристик копчення рибних продуктів з метою їх прогнозування оператору за допомогою штучних інтелектуальних мереж проводили на експериментальній установці, яка включає: коптільну камеру з генератором диму і системою контролю параметрів CO₂ диму, контур рециркуляції, вентилятор, автоматизовані системи регулювання температури, вологості та швидкості коптільного диму, засоби вимірювання і регулювання технологічних параметрів. З метою контролю та інтелектуального керування інтенсифікацією гарячого копчення в умовах впливу імпульсних ультразвукових коливань на продукт контролювали і вивчали дифузійні явища; дослідили раціональну довжину ультразвукової хвилі та час гарячого копчення; оцінювали параметри CO₂ коптільного диму та органолептичні показники готового продукту.

Надійшла до редакції 08.11.2021 р.

© В. П. Хорольський, Р. П. Никифоров,
Ю. М. Коренець, 2021

Результати. Експертні дослідження бази знань дозволили встановити наступне: імпульсне ультразвукове оброблення рибних продуктів інтенсифікує процес гарячого копчення та прискорює дифузійні явища як у шкірі, так і у внутрішній тканині риби. Найбільш раціональна довжина ультразвукової хвилі є 300 нм. У цій виробничій ситуації забезпечується: мінімальність тривалість процесу гарячого копчення, яка складає 40...45 хв. Важливим параметром, який характеризує кулінарну готовність, є температура в центрі риби, яка повинна бути в межах 68...72°C. Доведено, що рибна продукція, одержана з використанням імпульсного ультразвукового оброблення, має кращі органолептичні показники: час до досягнення кулінарної готовності скорочується на 20 %, продукція характеризується високою харчовою цінністю, добрими споживчими властивостями, високим вмістом білків, жиру та мінеральних речовин. Розроблено інтелектуальний робототехнологічний комплекс виробництва рибопродуктів з нейромережесим прогностором температури коптільного диму, швидкості коптільного диму, параметрів CO_2 , продуктивності технологічної лінії копчення. Результати лабораторних досліджень показали, що інтелектуальний робототехнологічний комплекс з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесу дифузії забезпечує АРМ оператора за допомогою нейромережесим регулятора і прогностора робочих характеристик обладнання технологічної лінії копчення рибопродуктів оптимальними параметрами регулювання параметрів установки, підвищує її якість керування і є адаптивним по відношенню до умов виконання технологічного процесу копчення різновидів рибних продуктів за рахунок модуля формування оперативних рішень, інтелектуальної системи підтримки прийняття оперативних рішень, цифрової платформи «Іжа», промислового Інтернету-речей, MES, ERP, SCADA систем.

Ключові слова: технологія копчення, інтелектуальні технології, комплекс робототехніки, імпульсний ультразвуковий інтенсифікатор, дифузія, якість продукції.

Постановка проблеми. Постачання населення регіонів з техногенними територіями рибопродуктами високої якості і за доступними цінами залишається головним стратегічним напрямком розвитку рибопереробної промисловості України до 2030 року.

Успішне впровадження сучасних цифрових методів виробництва продукції з застосуванням робототехнологічних комплексів особливо ефективно при виробництві широкого асортименту рибних продуктів.

Саме рибні продукти дуже корисні для смарт-харчування гірників, дітей та воїнів ЗСУ за рахунок вітаміну D (міститься у риб'ячому жирі, печінці тріски, жирних сортах риби) та профілактики серцево-судинних захворювань у населення регіонів з техногенним тиском. Експерти з питань харчування рекомендують вживати вітамін D кожного дня працівникам гірничо-металургійного комплексу в дозах від 42 до 100 нмоль/л [1].

Експертні дослідження бази знань з джерел [3–8] довели, що виробництво рибних продуктів у полі імпульсних ультразвукових коливань із застосуванням робототехнологічних комплексів дозволяє значно підвищити нутрієнтну адекватність та якість продукції.

У зв'язку з розвитком робототехніки із інтелектуальним рівнем взаємодії виконавчих механізмів з гетерогенним середовищем і автоматизації технології копчення риби з'явилася можливість використовувати морські рибні продукти, коригуючи якість таких виробів за допомогою технологій копчення в полі імпульсних ультразвукових коливань [7].

Таким чином, дослідження і впровадження технологічного обладнання для виробництва рибних продуктів із збагачувальними добавками з застосуванням робототехнологічних інтенсифікаторів є актуальним і практично значущим завданням для науковців харчової галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розробки технологій виробництва здорового харчування з риби та вивчення впливу ультразвукових коливань та технологічне середовище продуктів харчування присвятили праці вітчизняні та закордонні вчені Г. М. Постнов, О. М. Остриков, І. Е. Ельпінер, Й. О. Рогов, В. М. Горбатов, Ю. Ф. Заяс, В. М. Хмельов, Б. Г. Новицький, О. А. Литвиненко, О. І. Некоз, П. М. Немирович, Нao Feng, Gustavo V. Barbosa Canovas, Jochen Weiss. Великий внесок у розвиток моделювання процесів харчових виробництв і показників якості харчових продуктів внесли І. М. Фе-

доткин, Н. В. Остапчук, Є. Л. Алексеев, Г. В. Дейниченко, Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, Д. А. Нечипоренко, Р. Ю. Павлюк, О. В. Яковлев та багато інших.

Проблему харчування населення Кривого Рогу та округ необхідно розглядати з урахуванням впливу екологічних факторів на здоров'я дітей, молоді, робітників підприємств гірничо-металургійного комплексу, що мешкають та працюють в умовах техногенного навантаження. Отже їх раціон харчування повинен володіти певними лікувально-профілактичними властивостями [9].

У процесі вивчення й аналізу наукових праць авторів [1, 3, 4, 5, 6, 7] виявлено такі закономірності:

1. Управлінськими параметрами в процесах соління та копчення риби є компоненти розсолу й коптільного диму. Математична модель складу диму в коптільній камері повинна стати складовою програмного забезпечення (ПЗ) цифрової програми «Їжа», що дозволяє оптимізувати цей процес за критеріями енергоефективності, вмістом солі та параметрами CO_2 .

2. Важливим параметром керування процесу копчення є температура системи тузлук-розсіл (копчення) — чинник, що найбільш істотно впливає на величину коефіцієнта проникнення диму [5, 6, 7]. Додаткове прискорення копчення можна отримати за умови використання явища ультразвукової дифузії. Використання ультразвукових коливань в технологічному середовищі риба-розсіл-копчення є найбільш перспективним методом інтенсифікації процесу [4, 5, 6, 7].

За рахунок ультразвукових коливань в середовищі виникають кавітаційні бульбашки, розриви температури в незначних обсягах досліджуваних речовин, ударні хвилі тощо.

Під ультразвуковою кавітацією будемо розуміти утворення і активацію газових або парових порожнин (бульбашок) в середовищі, що піддається ультразвуковому впливу [8]. Сучасні технології впливу ультразвукових коливань, розроблені вченими України, найчастіше ґрунтуються на реалізації гетерогенних процесів, що протікають між двома або кількома неоднорідними середовищами в системах «рідина-рідина», «рідина-тверде тіло» [4, 5, 8, 9]. Кавітація і потужні мікропотоки, що її супроводжують, ультразвуковий тиск і ультразвуковий вітер, впливають на середовище, зменшуючи опір перенесенню реагуючих речовин, й інтенсифікують технологічний процес.

Оптимальний вплив імпульсних керованих ультразвукових коливань на процеси масообміну в системі «тверде тіло-рідина» дозволяє збільшити швидкість процесу копчення в 3...5 разів.

Недоліками наведеного вище обладнання за критерієм мінімізації енергоресурсів та впливу технології копчення на навколишнє середовище є:

— відсутність сучасних цифрових систем автоматизованого керування, інформаційних систем контролю та робототехніки в технологічних процесах копчення риби, які б працювали з промисловим Інтернетом-речей (IIoT) у реальному масштабі часу;

— відсутність автоматизованого контролю параметрів вихідних показників процесу копчення та мінімізації впливу обладнання на навколишнє середовище.

Тому необхідно не лише модернізувати існуюче обладнання для копчення риби, а також запропонувати інтелектуальні технології керування процесом копчення рибної сировини з високим рівнем автоматизованих систем контролю й мікропроцесорного керування температурними режимами, процесом копчення, контролю параметрів CO_2 , тривалості процесу копчення та контролю параметрів навколишнього середовища.

Важливим компонентом лінії з виробництва копченої риби є багатостадійність процесу виробництва: підсушування гарячим повітрям, проварювання риби насиченою водною парою за температури $T = 383\text{--}443\text{ }^\circ\text{K}$, що рухається зі швидкістю 0,1–0,5 м/с, впродовж 25–45 хв.

Важливим компонентом процесу копчення є також концентрація коптільного диму. При цьому коптільний дим одержують при спаленні суміші тирси вільхи, буку, липи, дубу, груші, берези та кори у співвідношенні 25:20:20:15:10:10 [7].

У процесі створення бази знань, одержаної з наукових праць [1, 3, 4, 5, 6, 7, 10], встановлено, що важливими чинниками, які впливають на протікання процесу соління та гарячого копчення і які потрібно враховувати при проектуванні робототехнологічного коптильного обладнання, є швидкість руху коптильного диму на вході в коптильну камеру і характеристичний розмір риби. Технологічні процеси копчення риби характеризуються високими енергетичними затратами, а, отже, знизити енергозатрати на 10–15 % від існуючого рівня можливо за рахунок керованого прискорення процесу дифузії компонентів коптильного диму в глибоку рибу.

Покращити якість готової рибної продукції можливо за рахунок рівномірного розподілу коптильного диму в товщу (глибину) риби за рахунок розробки та застосування робототехнологічних інтенсифікаторів та обладнання імпульсного ультразвукового оброблення риби, які суттєво скорочують тривалість гарячого копчення.

Метою статті є підвищення якості готової продукції шляхом використання інтелектуальних технологій прогнозування оперативному персоналу робочих параметрів гарячого копчення рибної продукції в темпі з процесом та розробка інтелектуального робототехнологічного комплексу з імпульсними ультразвуковими інтенсифікаторами процесу дифузії компонентів коптильного диму.

Виклад основного матеріалу. Модель технологічного процесу копчення риби представляє собою сукупність функціональних схем, рівнянь, логічних операторів, номограм, таблиць і т. п., за допомогою яких характеристики стану системи визначають в залежності від параметрів процесу, вхідних сигналів і часу. На рис. 1 наведена модель технологічного процесу копчення рибних продуктів, а на рис. 2 наведено розроблений авторами статті роботизований комплекс виробництва копченої риби.

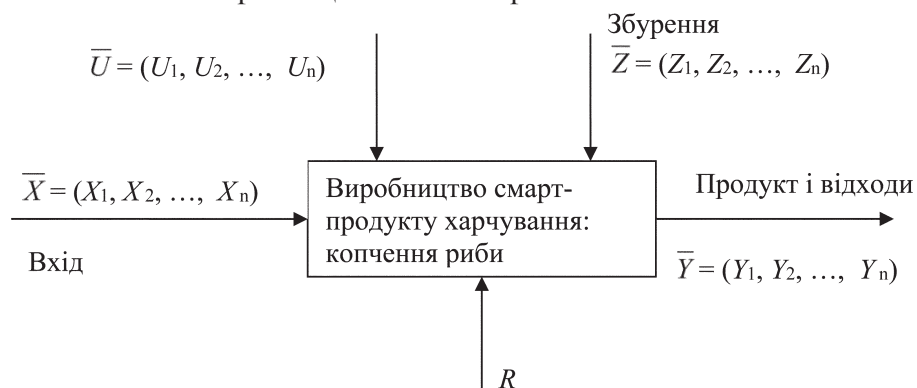


Рисунок 1 — Модель технологічного процесу копчення рибних продуктів

Вхідними параметрами $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ моделі дискретної виробничої системи є риба, додаткові інгредієнти, вода, пара, електрика, тощо для виробництва смарт-продуктів харчування. Вихід цієї системи $\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$ представляють показники смарт-продукту харчування і відходи виробництва. Виробничий процес управляється за допомогою АСУТП, MES-, ERP- й SCADA-системами, оперативними і стратегічними планами $\bar{U} = (U_1, U_2, \dots, U_n)$, складеними на основі технологічних показників. Для реалізації цих показників потрібні ресурси (R) у вигляді персоналу і обладнання та технічних засобів (робототехнологічний комплекс з виробництва рибних продуктів). Як відомо [9], технологічні процеси харчових виробництв є достатньо складними багатопараметричними об'єктами з множиною нелінійних зв'язків. Стандартні засоби автоматизації уже не забезпечують належного рівня надійності і швидкодії. У сучасних умовах глобальної конкуренції на ринках країн ЄС необхідно використовувати нові, прогресивні способи контролю і керування якісними показниками копченої рибної продукції.

Найбільш перспективними є системи контролю вихідних параметрів $\{\bar{Y}\}$ на базі використання штучних нейронних систем [9, 11] та інтелектуальних технологій в системах керування робототехнологічними комплексами (робототехнічні маніпулятори завантаження сировини з визначенням оптимальної траєкторії взаємодії імпульсного ультразвукового інтенсифікатора з продуктом, управління часом взаємодії). Використання інтелектуальних технологій у про-

цесах виробництва копченої риби за критерієм мінімізації енергозатрат (газу, електрики, пари) і мінімізації викидів $\{Y_3, Y_4\}$, особливо підтримання концентрації CO_2 в заданих межах, що вимагає від науковців використання штучних нейронних мереж (ШНМ) для прогнозування якості вихідних показників [11].

Отже, для покращення якості керування складним технологічним процесом копчення риби (рис. 2) будемо використовувати: цифрову платформу «Іжа» з програмним забезпеченням

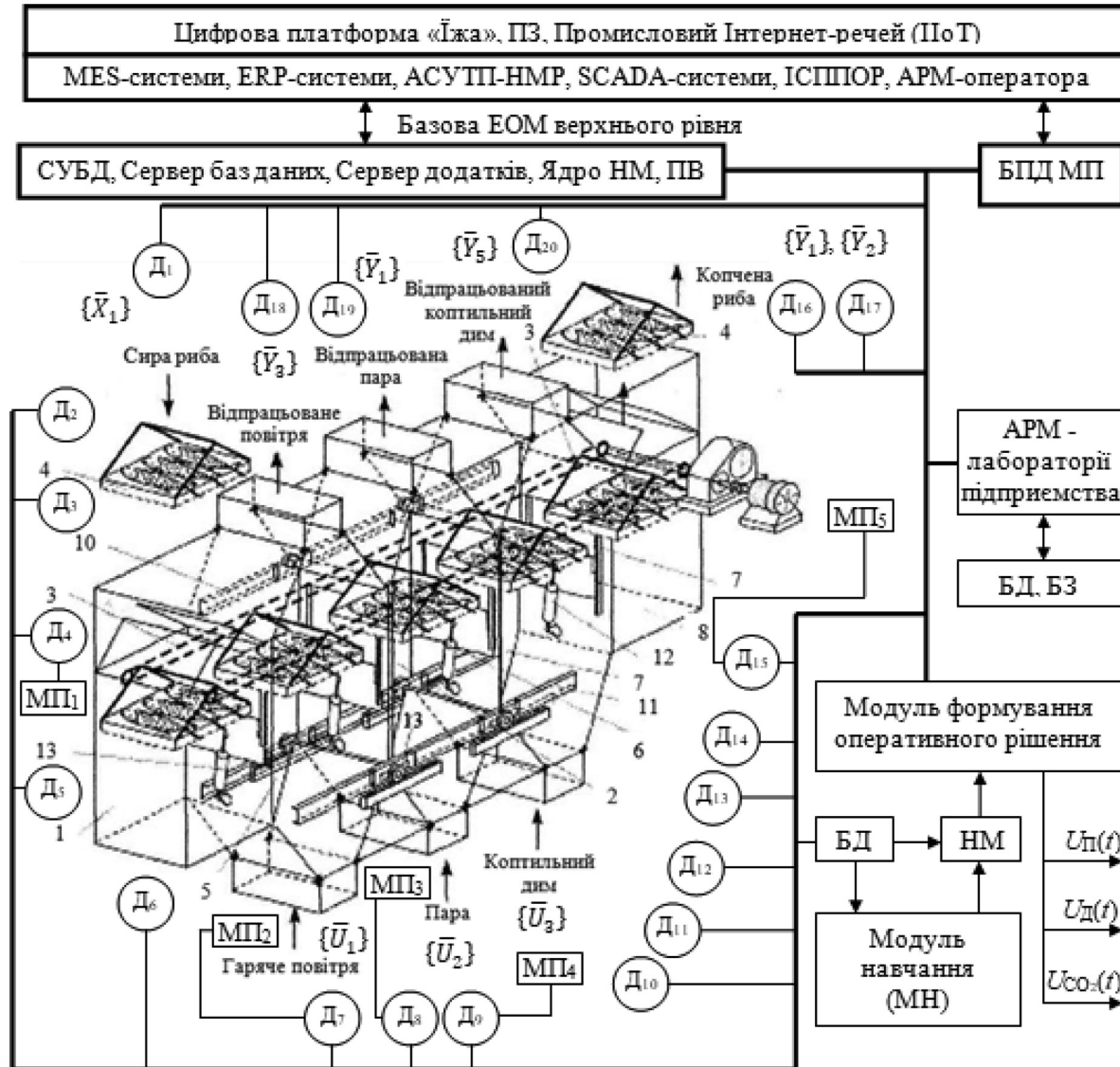


Рисунок 2 — Робототехнологічний комплекс копчення риби з автоматизованими системами керування технологічним процесом: 1 — робототехнологічний комплекс; 2 — робоча камера; 3 — транспортер з ультразвуковою системою імпульсного впливу на продукт; 4 — решітчасті піддони з системою контролю параметрів рибної продукції (D_2); 5 — секція підсушування з системою контролю температурних параметрів; 6 — секція проварювання з системою автоматизованого контролю і регулювання часу проварювання; 7 — секція коптіння з системою автоматизованого контролю та керування процесу коптіння за параметрами температури коптільного диму; 8 — робот камери розвантажування рибопродукту; 9 — вимірювання ваги; 10, 11 — направляючі; 12 — виконуючі механізми з АД-ТПЧ; 13 — трубний вал із системою контролю швидкості руху рибопродуктів у системі РТК (D_5); D_1 – D_{20} — датчики параметрів технологічного процесу копчення риби; МФОР — модуль формування оперативних рішень з блоками БД — база даних, НМ — нейромережа, МН — модуль навчання; МП₁–МП₅ — мікропроцесори керування технологічними агрегатами і апаратами РТК; БПД — блок передачі даних в мікропроцесори (МП₁–МП₅); АРМ — автоматизовані робочі місця оператора та лабораторії підприємства

(ПЗ) автоматизованого управління верхнім рівнем виробничої системи, MES-системи операційного виробництва, ERP-системи управління бізнес-процесами і стратегічного планування, інтелектуальні системи підтримки прийняття операційних рішень (ІСПОП), АСУТП з нейромережевими регуляторами (НМР), а також автоматизовані робочі місця операторів [11].

Із теорії автоматичного управління відомо, що сформувати ідеальне управління $\bar{U}$ можливо, знаючи миттєве значення якобіана — матриці приватних похідних вектора стану копильного апарату (копильної камери) щодо змінних керованих впливів $\{\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3\}$. Метою цієї операції є переведення об'єкта управління (копильного апарату) із поточного стану в бажаний [12]. Одним із найбільших ефективних і зручних щодо реалізації на сучасних мікропроцесорах методів ідентифікації невідомих параметрів багатомірних систем є алгоритм Качмажа [12]. Він дозволяє інтерактивно визначити матрицю A невідомих параметрів лінійної дискретної системи виду:

$$X_K = A^m \bar{U}_K, \quad (1)$$

де X_K — параметри вхідних чинників стану сировини й об'єкту керування; $\bar{U}_K$ — вектор управлінських впливів.

Нейромережева ідентифікація є альтернативою традиційним методам і найбільш підходить для оцінки якобіана при синтезі нелінійних об'єктів — виробництва копченої риби.

Для побудови адекватної динамічної моделі процесу копчення риби необхідно побудувати систему інформаційного забезпечення з датчиками D_1-D_{20} технологічних змінних, а для оцінки якісних показників копченої риби $\{Y\}$ необхідно розробити гібридну модель нейромережевого прогнозатора і регулятора НМР, якісних показників готового продукту, для яких раніш невідомі вхідні параметри і неможливо побудувати математичну модель, що б враховувала множинні нелінійні зв'язки [13]. У той же час в умовах мінімізації викидів вуглекислого газу CO_2 і керування складним процесом дифузії ультразвукових коливань в рибні продукти в середовищі копильного диму структура розробленого нейромережевого регулятора (НМР) повинна включати: базу даних (БД), модуль навчання (МН), нейромереж (НМ) і модуль формування оперативного рішення. Від системи інформаційного забезпечення з датчиків D_1-D_{20} (виконаної на базі SCADA-системи) інформація надходить в базу даних. ЕОМ верхнього рівня передає параметри $\{\bar{X}\}$ в модуль навчання МН, де відбувається навчання нейромережі (НМ).

Разом з вхідними параметрами БД ЕОМ передає в нейромережу також попередні значення параметрів якості копченої риби, поточні значення CO_2 та значення керованих впливів $\{U\}$.

Після цього навчена нейронна мережа за рахунок модуля формування рішення видає рекомендації оператору АРМ та безпосередньо впливає на виконавчі механізми РТК копчення риби, щодо мінімізації поточних параметрів енергоспоживання $E_{\text{пот}} \in E_{\text{min}}$ та виділення вуглекислого газу $CO_{2\text{ пот}} \in CO_{2\text{ min}}$. З цією метою локальні системи керування технологічними процесами завантаження, підсушування, проварювання, копчення, зважування, оцінки геометричних розмірів рибної сировини, виконані на базі мікропроцесорних контролерів SCADA-систем (МП₁–МП₅).

На рис. 3 наведено структуру нейромережі, яку використано для прогнозування оператору (АРМ) наступних параметрів: $T_{\kappa, d}(t)$ — температури копильного диму в робочій камері копчення; $Q_{\kappa}(t)$ — продуктивність секції копчення; $\tau_{\kappa}(t)$ — тривалість (час, хв.) процесу копчення. Прогнозування цих важливих параметрів оператору виконується в інформаційній автоматичній системі вимірювання параметрів: $X_{11}-X_{1n}$ — параметрів CO_2 ; $X_{22}-X_{2n}$ — контроль процесу копчення; $X_{33}-X_{3n}$ — копильного диму; $X_{44}-X_{4n}$ — управлінські впливи (швидкість копильного диму); $X_{55}-X_{5n}$ — якість сировини (рибного продукту) та її геометричні параметри.

Вхідні параметри:

Автоматичний контроль CO_2 за допомогою датчика концентрації CO 112 KIMO INSTRUMENTS, параметри $\{\bar{X}_{11} \dots \bar{X}_{1n}\}$;

Автоматичний контроль процесу копчення, емнісний датчик температури й відносної вологості диму A2G-70, параметри $\{\bar{X}_{22} \dots \bar{X}_{2n}\}$;

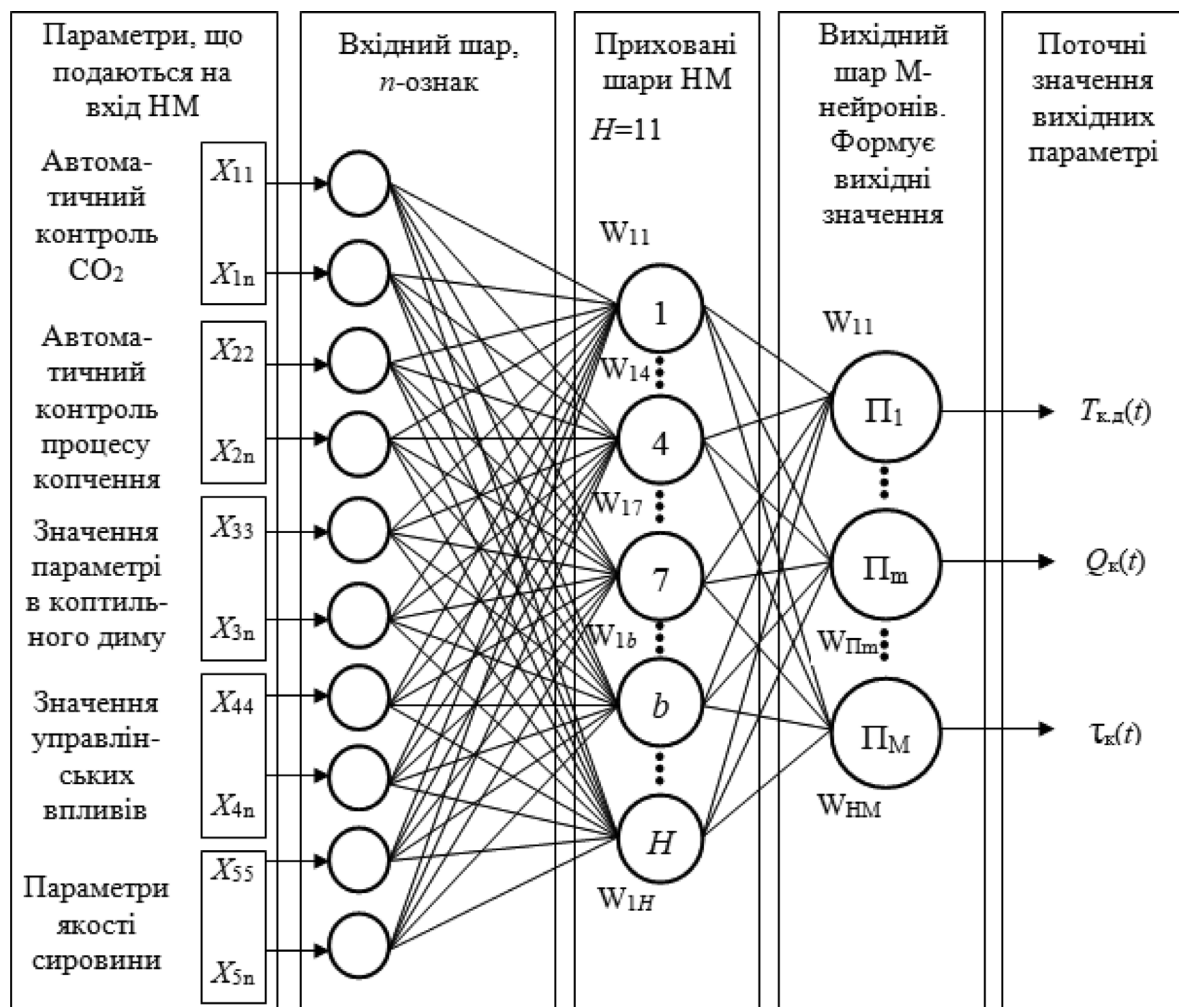


Рисунок 3 — Структура нейронної мережі для прогнозування параметрів копчення:
 $T_{к.д}(t)$ — оптимальна температура коптільного диму в робочій камері копчення; $Q_{к}(t)$ —
 продуктивність секції копчення; $\tau_{к}(t)$ — оптимальний час копчення

Значення параметрів коптільного диму, параметри $\{\bar{X}_{33} \dots \bar{X}_{3n}\}$;

Значення управлінських впливів, параметри $\{\bar{X}_{44} \dots \bar{X}_{4n}\}$;

Параметри якості сировини, параметри $\{\bar{X}_{55} \dots \bar{X}_{5n}\}$.

Навчання мережі проводиться вчителем-експертом, після чого навчена мережа перевіряється на адекватність та якість функціонування. У процесі оцінки працездатності нейромережевої моделі експертним шляхом встановлено, що помилка навчання складає 2,8 %, тобто це значення дозволяє оператору з високим рівнем точності приймати оперативні рішення щодо автоматизованого управління процесом копчення риби з оптимальними параметрами:

- 1) коптільного диму;
- 2) швидкості коптільного диму;
- 3) вологості коптільного диму;
- 4) температури пари на стадії проварювання;
- 5) геометрії сировинного продукту (відношення довжини L до товщини B);
- 6) довжини ультразвукової хвилі;
- 7) часу імпульсного ультразвукового оброблення рибної сировини;
- 8) тривалості інтервалу ультразвукового сигналу оброблення.

Межові припустимі помилки навчання мережі були вибрані на основі експертних оцінок технологів (досвідчених операторів), які відповідають за якість продукції — копченої риби.

Таким чином, використання методу, заснованого на роботі НМ-Р в АСУТП і ІСП-ПОР дозволяє АРМ оператора працювати з набором вхідних параметрів будь-якого рівня

декомпозиції та, головне, враховувати вплив кожного параметру на продуктивність $Q_k(t)$ процесу копчення. Вибір оптимальних управлінських параметрів, $U_n(t)$ — температури пару, $U_d(t)$ — температури копильного диму, $\bar{U}_{CO_2}(t)$ — вмісту CO_2 , дозволяє оператору мінімізувати енергетичні параметри $E_{\text{копч}}$ та стабілізувати якість продукції. Після навчання НМ-Р за допомогою ПЗ верхнього рівня (MES-системи оперативного планування і керування) виконується автоматичний розрахунок основних величин параметрів $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3 \dots$ для кожного різновиду рибної сировини та прогнозування параметрів $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3 \dots\}$.

Програмне забезпечення (ПЗ) функціонує в локальній мережі, яка включає персональні комп'ютери (автоматизоване робоче місце — АРМ) і два сервери (сервер бази даних і сервер додатків). Програмне забезпечення включає в себе такі компоненти:

1. СУБД — забезпечує збереження усіх баз даних, встановлюється на сервер баз даних. В якості СУБД використовується Oracle Server. Сервер баз даних є системоутворюючим елементом системи і забезпечує функціонування бази даних системи і доступу до неї сервера додатків і робочих станцій.

Сервер додатків реалізує основну функцію системи — оброблення даних контролюємих параметрів (D_1-D_{20}) технологічного процесу копчення риби і прогнозування вихідних показників $\{\bar{Y}_1, \bar{Y}_2, \bar{Y}_3, \bar{Y}_4\}$.

2. Програма оцінки якості продукції є обчислювальним ядром системи. Встановлюється на комп'ютер, який виконує функції сервера додатків. Програма має два режими: «Контроль» і «Навчання». Основний режим функціонування «Контроль» виконується постійно. Переведення в режим «Навчання» НМ модуля формування оперативних рішень виконується на початковому етапі роботи робототехнологічного комплексу копчення риби. З метою формування розпізнавальних правил нечіткого виведення для:

а) досягнення задовільних результатів МН прогнозу якості чинників $\{\bar{Y}_1\}, \{\bar{Y}_2\}, \{\bar{Y}_3\}, \{\bar{Y}_4\}, \{\bar{Y}_5\}$;

б) для відпрацювання оптимальних $\{\bar{U}_n(t)\}, \{\bar{U}_d(t)\}, \{\bar{U}_{CO_2}(t)\}$ в умовах переходу на новий вид сировини;

3. Програма візуалізації (ПВ) запускається із комп'ютера АРМ в потрібний час користувачем АРМ. Програма функціонує за технологією «клієнт-сервер» і підключена до серверу баз даних Oracle шляхом ПЗ Oracle Client і відповідного налаштування ODBC-джерел.

Сервер баз даних, сервер додатків, АРМ функціонують на платформі IBM System $\times$ 3550 з операційною системою Windows 2000/2003. Режим роботи програмного забезпечення:

— сервер баз даних і сервер додатків повинні функціонувати в режимі 24 $\times$ 7;

— автоматизовані робочі місця операторів функціонують в режимах, які відповідають робочому часу операторів.

Програмні модулі системи розроблено в середовищі Microsoft Visual C++ 6 SP 6 та Microsoft Visual C++ 2003 NET.

З метою створення програмного інтерфейсу доступу до БД необхідно застосувати ODBC-з'єднання (Open Database Connectivity), вказавши необхідні параметри доступу — назву мережевого з'єднання з сервером СУБД Oracle, назву бази даних, ім'я користувача і пароль АРМ-оператора.

У табл. 1 наведено результати імітаційного моделювання режимів роботи інтелектуального комплексу робототехнічного управління копченням п'яти сортів риби з експертною оцінкою її якості. Оцінювання якості копченої риби за органолептичними показниками проведені за методикою, розробленою спеціалістами ХДУХТ [4, 5, 6].

Аналіз результатів моделювання для п'яти видів риби дозволяє зробити висновок про достатню ступінь точності роботи інтелектуального комплексу з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесів дифузії компонентів копильного диму та прогнозування восьми чинників, які визначають роботу комплексу. Результати роботи інтелектуального робототехнологічного комплексу можуть бути використані в режимі підтримки прийняття оперативних рішень (ІППОР) при управлінні процесом копчення різних сортів риби з мінімізацією впливу CO_2 на навколишнє середовище та опти-

Таблиця 1 — Результати роботи інтелектуального комплексу копчення риби в робототехнічній системі виробництва рибопродуктів

Номер партії та вид риби	Фактори для навчання мережі НМ-Р							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Значення факторів	Температура коптільного диму: 348...358 К	Швидкість руху коптільного диму: 0,1...0,5 м/с	Вологість коптільного диму: 40...60%	Температура пари на стадії проварювання: 374...382 К	Геометрія сировинного рибного продукту (відношення довжини L до товщини B): 3,0...5,0	Довжина ультразвукової хвилі: 200, 250, 300, 350, 400 нм	Імпульсного ультразвукового оброблення: 4, 6, 8, 10, 12 с	Тривалість інтервалу між ультразвуковим обробкою: 3, 5, 10, 15 хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
відмінна якість копченої риби								
1 (скупб-рія)	350	0,25	45	375	3,0	250	10	5
2 (горбу-ша)	352	0,26	48	380	3,9	300	12	10
3 (сом)	351	0,31	50	378	4,2	350	10	15
4 (минтай)	353	0,35	55	380	3,1	350	12	15
5 (лящ)	354	0,48	52	379	4,25	200	8	12
добра якість копченої риби								
1 (скупб-рія)	350	0,35	50	380	3,1	350	12	15
2 (горбу-ша)	350	0,38	50	385	3,5	350	12	
3 (сом)	355	0,40	55	382	3,5	350	12	15
4 (минтай)	358	0,42	56	380	4,0	350	12	15
5 (лящ)	355	0,45	55	382	4,5	355	12	15
задовільна якість копченої риби								
1 (скупб-рія)	356	0,47	58	380	4,5	400	8	10
2 (горбу-ша)	358	0,47	58	380	4,2	400	8	10
3 (сом)	358	0,48	58	380	4,6	400	8	10
4 (минтай)	356	0,49	58	380	4,8	400	8	5
5 (лящ)	350	0,50	58	380	4,7	400	6	5

мальними параметрами енергозатрат (пари, газу, електрики) і параметрами кулінарної готовності рибної продукції.

Висновки. Розроблено інтелектуальний робототехнологічний комплекс виробництва рибопродуктів з нейромережним прогнозатором температури коптільного диму, швидкості коптільного диму, параметрів CO₂, продуктивності технологічної лінії копчення. Результати лабораторних досліджень показали, що інтелектуальний робототехнологічний

комплекс з імпульсним ультразвуковим інтенсифікатором процесу дифузії забезпечує АРМ оператора, за допомогою нейромережевого регулятора і прогнозатора робочих характеристик обладнання технологічної лінії копчення рибопродуктів, оптимальними параметрами регулювання параметрів установки, підвищує якість керування нею та є адаптивним по відношенню до умов виконання технологічного процесу копчення різновидів рибних продуктів за рахунок модуля формування оперативних рішень, інтелектуальної системи підтримки прийняття оперативних рішень, цифрової платформи «Іжа», промислового Інтернету-речей, MES, ERP, SCADA систем.

Доведено, що рибна продукція одержана з використанням імпульсного ультразвукового оброблення має кращі органолептичні показники: час до досягнення кулінарної готовності скорочується на 20%, продукція характеризується високою харчовою цінністю, добрими споживчими властивостями, високим вмістом білків, жиру та мінеральних речовин.

Список літератури

1. Абрамова Л. С. Поликомпонентные продукты питания на основе рыбного сырья. Москва : Изд-во ВНИРО, 2005. 175 с.
2. Тутельян В. А. и др. Научные основы здорового питания. Москва : Панорама, 2010. 816 с.
3. Бредихин С. А. Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств. Москва : Колос, 2005. 464 с.
4. Постнов Г. М., Яковлев О. В., Червоний В. М., Зубрев А. С. Особливості використання ультразвукових технологій під час попередньої обробки рибної сировини. *Recueil des exposes des participants de la VIII Conferense international scientifique et methodique "Les problemes contemporains de la technospere et de la formation des cadres d'ingenieurs"* : du 28 septembre au 05 octobre 2014 a Hammamet — Donetsk UNTD (Туніс). Hammamet — Donetsk, 2014. С. 120—124.
5. Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М., Нечипоренко Д. А. Визначення інтенсивності випромінювання акустичної потужності ультразвукової установки. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* : зб. наук. праць. Харків : ХДУХТ, 2009. Вип. 1(9). С. 238—243.
6. Постнов Г. М., Яковлев О. В., Червоний В. М., Чеканов М. А. Енергетичний вплив ультразвукової обробки на інтенсифікацію процесу соління океанічної риби. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 166. С. 180—186.
7. Остриков А. Н., Черноусова Н. Ю. Комплексная оценка качества рыбной продукции горячего копчения, полученной с использованием импульсной ультразвуковой обработки. *РЫБПРОМ*. Москва, 2009. № 2. С. 40—41.
8. Хорольський В. П., Серебренников В. М., Коренець Ю. М. Математичне моделювання дифузії пасивної домішки в рідкому середовищі під впливом ультразвуку. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. Хмельницький, 2020. № 5 (289). С. 296—301.
9. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебренников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : Видавець ФОП Чернявський Д. О., 2021. 312 с.
10. Остриков А. Н., Шевцов А. А., Черноусова Н. Ю. Способ автоматического управления процессом горячего копчения рыбы: пат. 2308836 РФ. № 2006112070/13; заявл. 11.02.2006; опубл. 27.10.2007, Бюл. № 30.
11. Цифрові системи інтелектуального управління підприємствами промислового комплексу регіону : монографія / за заг. ред. В. П. Хорольського, О. Б. Чернеги. Кривий Ріг : видавець ФОП Чернявський Д. О., 2020. 564 с.
12. Болонкин В. Е., Чинаев П. И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. Алгоритмы и программы. Москва : Радио и связь, 2019. 248 с.

13. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. в 5 т. Т. 5. Методы современной теории автоматического управления / под. ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 784 с.

References

1. Abramova, L. S. (2005). *Polikomponentnyie produktyi pitaniya na osnove ryibnogo syirya* [Multicomponent food products based on fish raw materials], Moscow, VNIRO Publ., 175 p.
2. Tutelyan, V. A. et al. (2010). *Nauchnyie osnovyi zdorovogo pitaniya* [Научные основы здорового питания]. Moscow, Panorama Publ., 816 p.
3. Bredihin, S. A. (2005). *Tehnologicheskoe oborudovanie ryibopererabatyivayuschih proizvodstv* [Technological equipment for fish processing industries], Moscow, Kolos Publ., 464 p.
4. Postnov, H. M., Yakovliev, O. V., Chervonyi, V. M., Zubriev, A. S. (2014). *Osoblyvosti vykorystannia ultrazvukovykh tekhnolohii pid chas poperednoi obrobky rybnoi syrovyny* [Features of the use of ultrasonic technologies in the preliminary processing of fish raw materials], *Modern Problems of the Technosphere and the Training of Engineers*, Proceedings of the International Conference, Hammamet — Donetsk, September 28 — October 5 2014. Hammamet — Donetsk, pp. 120–124.
5. Postnov, H. M., Chekanov, M. A., Chervonyi, V. M., Nechyporenko, D. A. (2009). *Vyznachennia intensyvnosti vyprominiuvannia akustychnoi potuzhnosti ultrazvukovoi ustanovky* [Determination of the radiation intensity of the acoustic power of an ultrasonic installation]. *Prohresyvi tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli* [Progressive technology and technology of food production, restaurant industry and trade], 1(9), pp. 238–243.
6. Postnov, H. M., Yakovliev, O. V., Chervonyi, V. M., Chekanov, M. A. (2015). *Enerhetychnyi vplyv ultrazvukovoi obrobky na intensyfikatsiiu protsesu solinnia okeanichnoi ryby* [The energetic effect of ultrasonic treatment on the intensification of the salting process of ocean fish], *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka* [Bulletin of the Petro Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture], no. 166, pp. 180–186.
7. Ostrikov, A. N., Chernousova, N. Yu. (2009). *Kompleksnaya otsenka kachestva ryibnoy produktsii goryachego kopcheniya, poluchennoy s ispolzovaniem impulsnoy ultrazvukovoy obrabotki* [Comprehensive assessment of the quality of hot smoked fish products obtained using pulsed ultrasonic processing], *RYIBPROM* [RYIBPROM], no. 2, pp. 40–41.
8. Khorolskiy, V. P., Serebrenykov, V. M., Korenets, Yu. M. (2020). *Matematychni modeliuvannia dyfuzii pasyvnoi domishky v rikdomu seredovyshchi pid vplyvom ultrazvuku* [Mathematical modeling of the diffusion of a passive impurity in a liquid medium under the influence of ultrasound]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Technical science], no. 5 (289), pp. 296–301.
9. Khorolskiy, V. P., Korenets, Yu. M., Serebrenykov, V. M. (2021). *Avtomatyzovani systemy keruvannia vyrobnytstvom smart-produktiv kharchuvannia* [Automated production control systems for smart products]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O. Publ., 312 p.
10. Ostrikov, A. N., Shevtsov, A. A., Chernousova, N. Yu. (2007). *Sposob avtomaticheskogo upravleniya protsessom goryachego kopcheniya ryiby* [Method of automatic control of the process of hot smoking of fish], RU Patent 2308836.
11. Horolskiy, V. P. et al. (2020). *Tsifrovi systemy intelektualnogo upravlinnya pidpriumstvami promyslovogo kompleksu regionu* [Digital systems of intellectual management of enterprises of the industrial complex of the region]. Kryvyi Rih, Chernyavskiy D. O. Publ., 564 p.
12. Bolonkin, V. E., Chinaev, P. I. (2019). *Analiz i sintez sistem avtomaticheskogo upravleniya na EVM. Algoritmy i programmy* [Analysis and synthesis of automatic control systems on a computer. Algorithms and programs]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 248 p.
13. Pupkov, K. A. (2004). *Metodyi sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of modern theory of automatic control]. Moscow, Publishing House of MSTU, 784 p.

Objective. The purpose of the article is to improve the quality of finished products through the use of intelligent forecasting technologies by operational personnel of the parameters of hot smoking of fish products in the technological process and the development of an intelligent robotic complex with pulsed ultrasonic amplifiers of smoke components.

Methods. The article uses experimental and analytical research methods, methods of simulation, which are made on full-scale objects in production conditions. In order to build a knowledge base and database, a methodology of a systems approach was used. The study of the working characteristics of smoking fish products in order to predict them for the operator using artificial intelligent networks was carried out on an experimental setup, including: a smoking chamber with a smoke generator and a system for controlling the parameters of CO₂ smoke, a recirculation loop, a fan, automated systems for regulating temperature, humidity and smoke rate, means for measuring and adjusting technological parameters. In order to control and intelligently control the intensification of hot smoking under conditions of exposure to pulsed ultrasonic vibrations on the product, the diffusion phenomena were monitored and studied; investigated the rational length of the ultrasonic wave and the time of hot smoking; assessed the parameters of CO₂ smoke and the organoleptic characteristics of the finished product.

Results. Expert studies of the knowledge base have established the following: pulsed ultrasonic treatment of fish products intensifies the process of hot smoking and accelerates the diffuse phenomena in both the skin and the inner tissue of the fish. The most rational ultrasonic wavelength is 300 nm. In this production situation, the following is ensured: the minimum duration of the hot smoking process, which is 40...45 min. An important parameter that characterizes culinary readiness is the temperature in the center of the fish, which should be in the range of 68...72 °C. It is proved that fish products obtained using pulsed ultrasonic treatment have the best organoleptic characteristics: the time to reach culinary readiness is reduced by 20%, the products are characterized by high value, good consumer properties, high content of proteins, fat and minerals. An intelligent robotic complex for the production of fish products with a neural network predictor of smoke temperature, smoke rate, CO₂ parameters, productivity of the smoking process line has been developed. The results of laboratory studies showed that the intelligent robotic complex with pulsed ultrasonic diffusion intensifier provides the operator's workstation with a neural network regulator and a predictor of operating characteristics of the equipment of the technological line of smoking fish products. technological process of smoking varieties of fish products due to the module of formation of operational decisions, intelligent decision support system, digital platform "Food", industrial Internet of Things, MES, ERP, SCADA systems.

Key words: smoking technology, intelligent technologies, robotics complex, pulsed ultrasonic intensifier, diffusion, product quality.