

## РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

DOI : 10.33274/2079-4827-2019 -38-1-67-78

УДК 637.5.664.6

*Хорольський В. П., д-р техн. наук, професор<sup>1</sup>*

*Коренець Ю. М., старший викладач<sup>1</sup>*

*Артановський А. В., магістр<sup>1</sup>*

*Островчук О. О., магістр<sup>1</sup>*

*Селіванов І. О., бакалавр<sup>1</sup>*

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

### УЛЬТРАЗВУКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

#### В СИСТЕМІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ СИРУ

UDC 637.5.664.6

*Khorolskyi V. P., Grand PhD of Engineering Science,  
Professor<sup>1</sup>*

*Korenets Yu. M., Senior Lecturer<sup>1</sup>*

*Artanovskyi A. V., Master's Degree<sup>1</sup>*

*Ostrovchuk O. O., Master's Degree<sup>1</sup>*

*Selivanov I. O., Bachelor's Degree<sup>1</sup>*

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

### ULTRASONIC TECHNOLOGY

#### IN THE SYSTEM OF CHEESE PRODUCTION INTELLECTUAL MANAGEMENT

**Мета** — підвищення ефективності інтелектуального управління технологічною лінією виробництва елітних сортів сиру за рахунок використання робототехнологічних установок з ультразвуковими кавітаційними технологіями в системі автоматичного інформаційного управління виробництвом продукції.

**Методи.** У роботі застосовані загальноприйняті технічні, фізико-хімічні, біохімічні, мікробіологічні та органолептичні методи визначення якості молочної сировини, процесів виробництва сиру та методи ідентифікації процесів впливу ультразвукових коливань на гетерогенне середовище. Як теоретичні методи дослідження застосовано методи системного аналізу й математичної обробки експериментальних даних з використанням прикладних комп'ютерних програм.

**Результати.** Проведено експериментальні дослідження впливу високочастотних та низькочастотних ультразвукових коливань на гетерогенне середовище з метою підвищення ефективності сичужності сировинної маси та управління процесом підвищення якості продукції на основі розробки сучасних автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП) виробництва сиру.

За результатами досліджень розроблено математичні моделі параметрів ультразвукових коливань у гетерогенному середовищі та доведено, що під впливом ультразвукової кавітації відбувається процес молочної коагуляції, тобто перетворення молока в драглеподібну масу, з якої, після відкачування сироватки, виходять часточки майбутнього кисломолочного, плавленого або твердого сиру.

Розроблено АСУТП виробництва сиру з високим рівнем автоматизації та управління. В системі використано: підсистему контролю з робочими місцями операторів, автоматизовано.

Надійшла до редакції 30.03.2019 р.

© В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець,  
А. В. Артановський, О. О. Островчук,  
І. О. Селіванов, 2019

ваними за допомогою SCADA-системи оперативного управління на базі ПК; інтелектуальну систему прийняття рішень та управління робототехнологічними інтенсифікаторами кавітаційного типу; систему інтелектуального оброблення виробничої, енергетичної та іншої інформації, що дозволяє працювати як з інформацією від напрацьованих, так і з інформацією аналогових рішень, отриманою від датчиків положення, густини, рівня рН, тиску, потужності, продуктивності, а також інтелектуальних цифрових датчиків, які є вираженою частиною «хмарної» структури запропонованої системи АСУ-АСУТП підприємства.

**Ключові слова:** молочна сировина, сир, ультразвукові коливання, технологічний процес, кавітація, адаптація, управління, інтелектуалізація.

**Постановка проблеми.** Сьогодні в Україні дедалі більше уваги приділяється удосконаленню техніки та технологій перероблення як традиційних, так і нетрадиційних молочних сировинних ресурсів та розширенню асортименту продуктів харчування для населення, яке проживає на територіях з техногенним навантаженням, працівників з важкими умовами праці (гірників, металургів, будівельників тощо), військовослужбовців і учасників бойових дій.

В Україні використання автоматизованих технологічних процесів виробництва харчових продуктів набуває більшої актуальності, а великі обсяги виробництва елітних сирів вимагають від агропромислового комплексу значних об'ємів молока.

Одним із способів вирішення проблеми збільшення високоякісних продуктів харчування є впровадження робототехнологічних безлюдних технологій з використанням ультразвукових технологій (УЗТ) [1].

Таким чином, актуальним завданням є розроблення нових і модернізація існуючих способів виробництва сиру, збільшення продуктивності технологічного обладнання на базі сучасних автоматизованих комплексів та ультразвукових кавітаційних процесів, підвищення якості кінцевого продукту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Наукове підґрунтя процесів виробництва сиру, яке здійснюється у різні способи, викладено у працях С. А. Бридихіна, В. В. Власенко, Д. М. Гальперіна, К. К. Горбатова, Г. А. Горіної, А. В. Гудкова, В. В. Кузнецова, А. М. Николаєва, В. Ф. Марушко, В. Д. Суркова, Л. Л. Щукова та багатьох інших науковців-дослідників [2–7].

Крім того, значним є внесок у дослідження питання впливу ультразвукової кавітації на молоко в процесі виробництва харчової продукції таких відомих учених, як С. Д. Шестаков [8], Г. В. Дейніченко, Г. М. Постнов, М. А. Чеканов, В. М. Червоний, Д. А. Нечипуренко [9].

Зважаючи на наведене вище, можна зробити висновок, що актуальним завданням є дослідження впливу ультразвукової кавітації на молочні продукти з метою розроблення інтелектуальних систем управління з робототехнологічними інтенсифікаторами та побудови адаптивних систем керування виробництвом сиру з вбудованими системами контролю якості та продуктивності.

**Мета статті** — підвищення ефективності інтелектуального управління технологічною лінією виробництва елітних сортів сиру за рахунок використання робототехнологічних установок з ультразвуковими кавітаційними технологіями в системі автоматичного інформаційного керування виробництвом продукції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Технологічне середовище молочної сировини являє собою гетерогенну систему, яка включає молочні продукти, газові бульбашки та частинки бактеріальних заквасок. Кожна із перелічених систем характеризується складним функціональним складом, від якого залежить якість продукції та продуктивність технологічних ліній з виробництва сиру [6].

Виробництво сиру починається з пастеризації свіжого молока, яка проводиться 60 хв. за температури до 60 °С або 30 хв. за температури 70–80 °С, щоб знищити шкідливу мікрофлору.

Пастеризоване молоко у спеціальній ємності піддається перетворенню на сир під впливом сичужного ферменту реніну або певних культур бактерій.

Для активізації процесу суміш підігрівається та піддається механічному перемішуванню, що зазвичай автоматизовано.

У результаті через деякий час утворюється згусток (кальє), який потрібно відокремити від рідкої частини — сироватки.

Відокремлене кальє засолюють та поміщають у форми. Сироватку, яка залишилась у формах, видаляють шляхом пресування.

Після видалення рідини сир витримують певний час, залежно від сорту. Для забезпечення якості продукту потрібно стежити за його станом та вчасно видаляти цвіль. А для рівномірного розподілу вологи головки сиру періодично піддають автоматичному перевертанняю.

Під час витримування за рахунок виділення бактеріями вуглекислого газу в деяких сортах сиру утворюються пустоти [2–7].

З метою інтенсифікації процесу виробництва сиру і розроблення АСУТП виробництва сиру з адаптивними системами управління та контролю, робототехнологічними інтенсифікаторами, які ставлять метою підвищення якості продукції, нами було проведено дослідження впливу ультразвукових коливань широкого діапазону частот на молочне середовище.

Під час поширення ультразвукових коливань через молочні продукти та тверді частинки бактеріальних заквасок, величина яких близька або більша за довжину їх хвиль, виникає можливість контролю процесу утворення сичужності та драглеподібної маси [8].

Поглинання ультразвукових коливань у гетерогенному середовищі молока будемо оцінювати за такою формулою:

$$\alpha_k = \frac{\omega^2}{2\rho c^2} \left[ \frac{4}{3} \cdot \eta + x \left( \frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) \right],$$

де  $\omega$  — колова частота;  $\rho$  — густина гетерогенного середовища;  $c$  — швидкість звуку в гетерогенному середовищі;  $\eta$  — зсувна в'язкість;  $x$  — коефіцієнт теплопровідності;  $c_v$ ,  $c_p$  — теплоємності при постійному об'ємі і тиску відповідно.

Утворення пустот, заповнених газом, що супроводжує виробництво певних сортів твердого сиру, обумовлює характерні особливості поширення у такому середовищі ультразвукових хвиль. Якщо геометричні розміри газових бульбашок дорівнюють або наближаються до резонансних розмірів для обраної частоти ультразвукових коливань, це спричинює їх значне затухання і, тим самим, створює умови для контролю параметрів: густини, втрат та ін. [9].

З метою аналізу процесу поширення ультразвукових коливань у молочних продуктах нами розроблено експериментальну установку, показану на рис. 1.

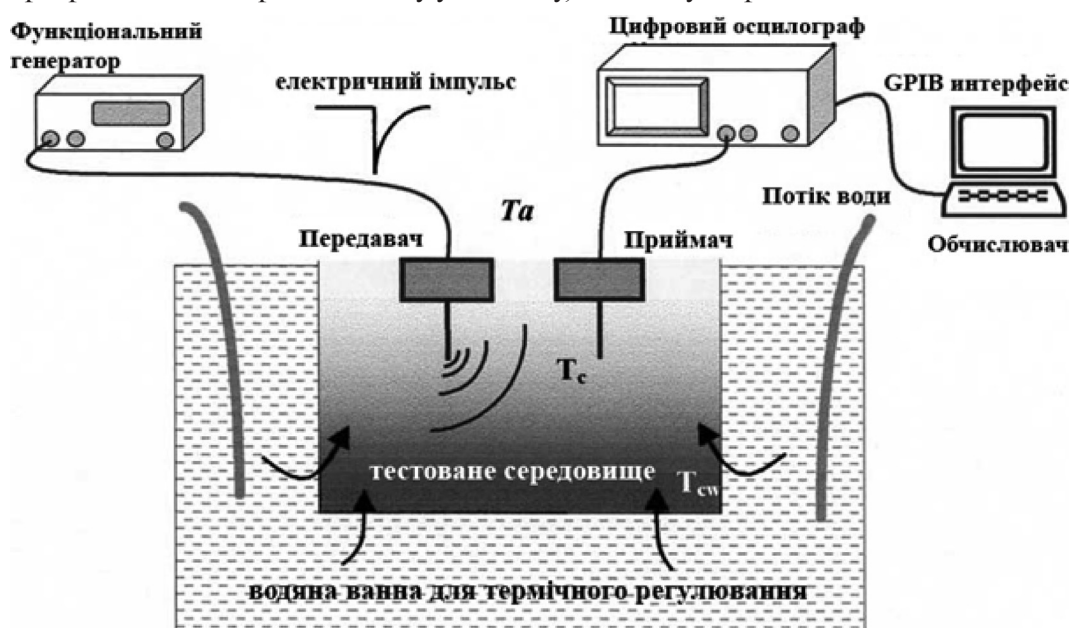


Рисунок 1 — Експериментальна випробувальна установка

Запропонована експериментальна установка дозволяє вивчати взаємодію ультразвукових коливань із різними гетерогенними середовищами, у тому числі й еталонним.

До складу експериментальної установки входять: функціональний генератор, передавач, приймач, цифровий осцилограф, персональний комп'ютер (ПК).

Функціональний генератор передає сигнал на передавач, звідти він потрапляє на приймач цифрового осцилографа, який пов'язаний з ПК, що дає можливість обробляти ультразвукові сигнали, які взаємодіють із гетерогенним середовищем.

У цій системі  $T_c$  — температура поверхні продукту в місці контакту з сенсором;  $T_{cw}$  — температура поверхні стінки ємності;  $T_a$  — температура зовнішнього простору.

За допомогою наведеної вище експериментальної установки нами було визначено вплив ультразвукової кавітації та коагуляції на процеси виробництва сиру, розпочинаючи з процесу соль-гелевого переходу, агломерації та утворення макромолекул великих мас. Цей процес графічно подано на рис. 2.

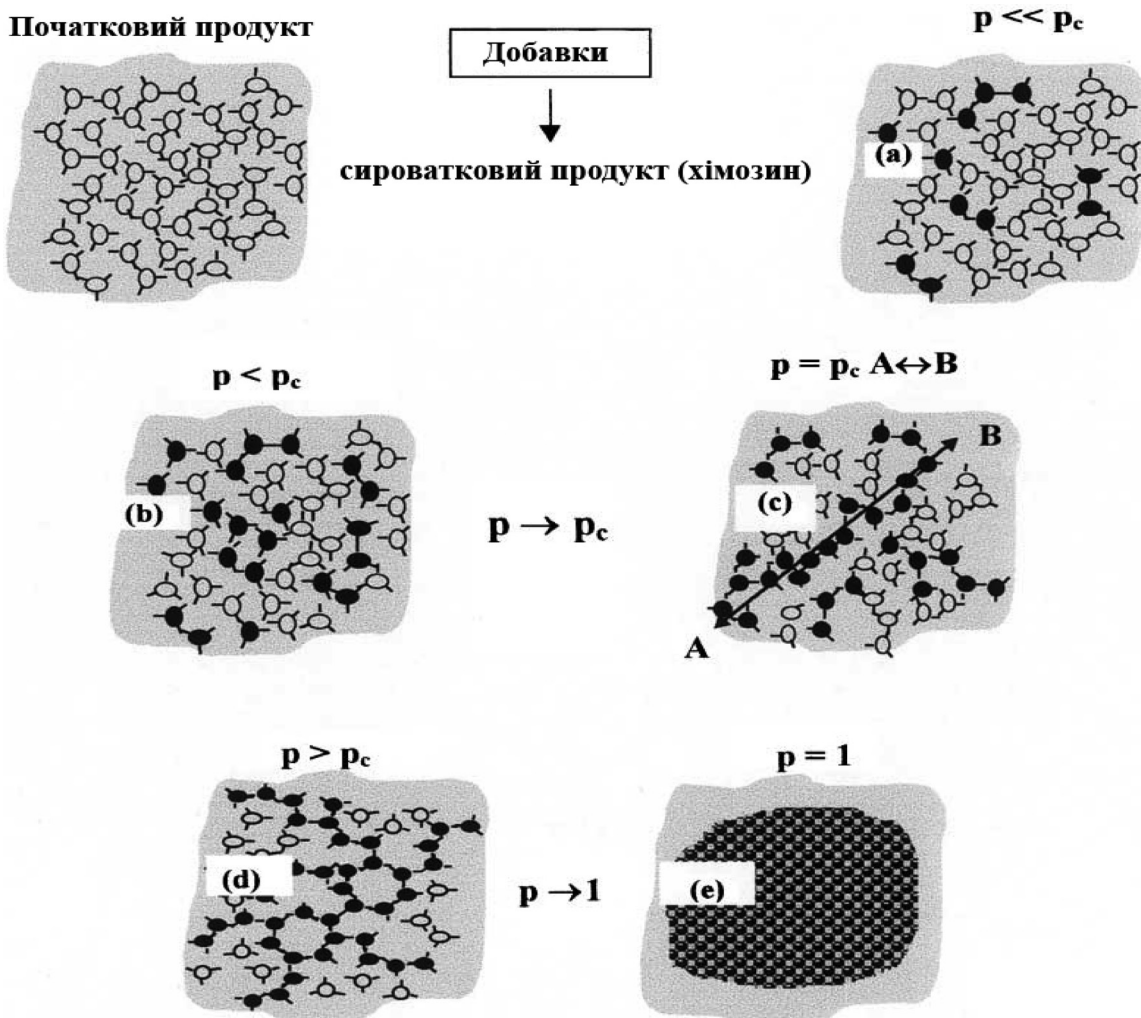


Рисунок 2 — Схема переходу «сіль — гель» на початковій фазі:

- (a) — суспензія з молекул сталих розмірів; (b) — агломерація з утворенням макромолекул великих мас; (c) — критичне фазове з'єднання:  $p = p_c$ ; (d) — з'єднання безперервності мережі; (e) — єдина гігантська макромолекула, гель

Між стінками ємності ( $T_{cw} = 30,1$  °C) та її центром у місці розміщення точки вимірювання утворюється градієнт температури  $T_c$  °C, на відміну від температури зовнішнього простору, що зумовлено явищем теплопровідності.

Таким чином, коли ультразвукові хвилі проходять крізь молочну сировину, відбувається ослаблення сигналу (його амплітуди) внаслідок поглинання середовищем, що обумовлюється його в'язкістю та теплопровідністю, і може бути описано рівнянням:

$$A_y = A_0 \cdot e^{-\alpha y},$$

де  $A_y$  — амплітуда коливань, які приймають п'єзодатчики;  $A_0$  — амплітуда коливань, що випромінюються джерелом ультразвуку;  $\alpha$  — коефіцієнт затухання;  $y$  — відстань між п'єзоелементами.

Значення цілковитого затухання  $\alpha$  подамо сумою:

$$\alpha = \alpha' + \alpha'';$$

$$\alpha' = f_1(K_B, r),$$

де  $K_B$  — кількісна характеристика густини молочної сировини;  $r$  — геометричний розмір часточок заквасок на етапі надходження молока;

$$\alpha'' = \frac{\alpha \pi^2 f^2}{c^3 \rho} \left( \frac{4}{3} \eta + \frac{\gamma^{-1}}{C_p} K_t \right),$$

де  $f$  — частота;  $c$  — швидкість звуку в певному середовищі;  $\rho$  — густина середовища;  $\eta$  — коефіцієнт глеюватості середовища;  $K_t$  — коефіцієнт теплопровідності;

$$\gamma = \frac{C_p}{C_\gamma} —$$

співвідношення теплопровідності за постійного тиску ( $C_p$ ) до теплопровідності при постійному об'ємі ( $C_\gamma$ ).

Таким чином, у процесі аналізу та ідентифікації одержаних результатів доведено, що утворення сичужності сиру можливо контролювати за допомогою систем візуалізації та ультразвукового контролю параметрів молочних продуктів (низькочастотні від 20 до 60 КГц та високочастотні коливання до 1 МГц); контролювати час та інтенсивність процесу утворення кальє можна за допомогою адаптивних систем управління з робототехнологічними інтенсифікаторами кавітаційного типу. В таких робототехнологічних інтенсифікаторах оптимальною частотою впливу ультразвукових коливань на молочне середовище обрано 22 КГц.

Як типову АСУТП виробництва сиру пропонуємо інтегровану інформаційно-інтелектуальну систему управління, спроектовану на базі SCADA-систем (рис. 3) [10].

У системі використані такі елементи: ERP — управління ресурсами підприємства; MES — система управління виробничими завданнями; БД, БП, БЗ — база даних, база правил, база знань відповідно; ЕС — експертна система; СІ — система інтерфейсів; MTU, CS, RTU — система зв'язків з об'єктом; АРМ — автоматизоване робоче місце; ЕОМ — електронна обчислювальна машина; ІСППР — інтелектуальна система підтримки прийняття рішень; ІШ — інформаційна шина; КМ — корпоративний монітор.

Розроблена АСУТП виробництва сиру містить такі підсистеми:

- управління і контролю постачанням молокопродуктів;
- управління завантаженням обладнання;
- моніторингу якості продукції — сиру та окремих стадій його виробництва.

Термін «SCADA» охоплює процеси збирання інформації в режимі реального часу з об'єктів управління (ємності, фільтри, міксери, сепаратори тощо), її аналіз й управління цими об'єктами.

Майже всі сучасні АСУТП, побудовані на базі SCADA-систем, містять основні структурні компоненти: RTU, MTU, CS, АРМ, систему підтримки прийняття рішень (ІСППР), MES- та ERP-системи.

Типову АСУТП підприємства з виробництва сиру можна подати у вигляді тривірневої системи:

— нижній рівень — рівень локальних адаптивних систем управління включає: САУП — систему адаптивного управління процесом пастеризації; Д1 — систему датчиків контролю процесу пастеризації молока; П — операцію пастеризації; САУС — систему адаптивного управління процесом сепарації (С); Д2 — систему датчиків контролю процесу сепарації; САУВС — систему адаптивного управління виробництвом сирної



маси (ВСМ); Д3 — систему датчиків контролю стану сирної маси; САУФС — систему адаптивного управління процесом формування сиру (ФС); Д4 — система датчиків процесу формування сиру; засоби автоматизації, вбудовані в технологічний процес, інтенсифікатори РУЗКП, контрольна апаратура, системи управління виконанням технологічних операцій;

— на другому рівні для управління зв'язком із ланками технологічного процесу (ємностями, насосами, фільтрами, перемішувачами тощо) вбудовано програмні логічні контролери (ПЛК), які покликані забезпечити збір інформації з технологічного обладнання лінії виробництва сиру та обробити сигнал і спрямувати певну інформацію про стан ланок технологічного процесу на верхній рівень системи Д5 — системи датчиків контролю і візуалізації технологічного середовища; автоматичне регулювання й управління технологічним обладнанням та контроль його роботи; прийом інформації з верхнього рівня управління та формування управлінських дій, спрямованих на електроприводи виконавчих механізмів (ВМ);

— третій (верхній) рівень включає в себе: автоматизовані робочі місця (АРМ) операторів з КМ — корпоративним монітором. На базі персональних комп'ютерів зі SCADA-системою розроблено оперативне диспетчерське управління з MES- і ERP-системами; сервер баз даних (БД) і баз правил (БП) — для прийняття управлінських рішень, щодо виконання внутрішнього (зовнішнього) портфеля замовлення продукції на рівні підприємства.

Нині, коли в значній кількості підприємств харчової промисловості України впроваджені системи ERP від АСУТП і його АРМ, від диспетчерів вимагаються не лише професійні знання технологічного процесу, інжинірингу бізнес-процесів, здатність прийняття рішень в умовах невизначеності, але і вміння працювати із сучасними інформаційними системами. При цьому оператору, який стежить за процесом, потрібно вміти працювати з ЕОМ в режимі діалогу, це спричинено нестабільністю властивостей молочної сировини та інших інгредієнтів; працювати в умовах обмеженості потужності енергосистеми у випадку аварійних ситуацій та з інших причин.

Як бачимо, оператор АРМ стає головною ланкою в управлінні технологічним процесом виробництва сиру, а вимоги підвищення надійності систем диспетчерського управління сьогодні є однією із ключових парадигм підвищення якості продукції і продуктивності підприємств, які діють на базі сучасних інформаційних систем.

Сучасний технологічний процес виробництва сиру являє собою складну систему взаємопов'язаних засобів: багаторівневого управління, контролю, виконавчих механізмів енергоефективності, фінансових потоків підприємства, вартості технологічного процесу та інтеграції адаптивних систем нижнього й середнього рівнів з вбудованими в технологічний процес робототехнологічними інтенсифікаторами управління процесами сичужності РУЗКП — робототехнологічний інтенсифікатор ультразвукових кавітаційних процесів з системою автоматизованого управління (САК) та якості продукції (САУЯ).

На рис. 3 подано сучасні базові структури інтегрованої інформаційно-інтелектуальної системи управління АСУ-АСУТП підприємством, до яких включені такі компоненти:

1. Служба зовнішніх даних. Працює на підприємстві (блоки 9 і 14). Приймаються до отримання різні дані про планові показники портфеля замовлень та інженерних бізнес-проектів.

2. Служба віддаленої підтримки. Призначена для управління інформацією і ресурсами ремонтних компаній, постачальників матеріалів, електроенергії, молочної сировини, теплової енергії та питної води. Фактично, це сервісний центр для обладнання, яке є в харчовій промисловості.

3. Час обслуговування. Він є компонентом інтегрованої системи моделювання і призначений для підключення або відключення режимів моделювання та диференціації типів часу (жорсткого, м'якого, реального або модельного) в процесі моделювання виробничих ситуацій, систем і різних типів взаємодії з партнерами, ресурсами та виробничим потенціалом.

4. Система споживання електроенергії, води і теплової енергії, призначена для контролю споживання підприємством, його цехами та одиницями обладнання енергоресурсів та води, що вирішує проблеми перетворення, первинного та вторинного розподілу електроенергії, захисту мереж зв'язку та управління.

5. Автоматизована система управління (АСУ), призначена для управління, зв'язку, інтенсифікації та авторизації процесів вибору і прийняття рішень для оптимізації процесів виробництва сиру і реалізації портфеля замовлень.

6. Комплекс контрольного обладнання оцінки якості молочної сировини, продуктивності, вартісних параметрів, властивостей бактеріальних заквасок, витрат інгредієнтів, якості кінцевого продукту, споживання електроенергії.

7. Елементи електрики, постачання водою і тепловою енергією. Призначені для первинної обробки інформації про споживання електроенергії, води і теплової енергії в цехах підприємства.

8. Інтерфейсний модуль інтелектуального менеджера і робочої станції підприємства, який являє собою набір інтерфейсів, які за певним алгоритмом пов'язаних із системами управління, MES і ERP. Забезпечує їх правильний зв'язок і системну інтеграцію в АСУ підприємства.

9. Блок зв'язку зі службою зовнішньоекономічної діяльності підприємства та з іншими підприємствами харчової промисловості (постачальниками сировини).

10–12 *Блоки організації інтелектуального середовища.*

10. Блок перетворення інформації, що використовується для організації інтелектуального середовища системи автоматизації компанії (АСУТП з інтелектуальними SCADA-системами, MES- і ERP-системами середнього і верхнього рівнів) шляхом упровадження експертної системи (ЕС) і знань у загальну систему. Це створює «хмарний» інформаційний простір з уніфікованим інтерфейсом для швидкого та ефективного аналізу даних і обміну інформацією між цехами підприємства, її правлінням та наглядовою радою.

Під терміном «хмара» розуміємо сукупність потужностей корпоративних інформаційних ресурсів, розмір і ємність яких динамічно змінюються залежно від обсягу завдань, які вирішує ОПР у конкретний момент часу. На додаток до традиційних завдань, ми пропонуємо деякі додаткові функції експертної системи, у тому числі:

— запобігання або пом'якшення конфліктів, що виникають за рахунок різних структур даних, що надходять з різних рівнів управління;

— встановлення стійких кореляцій і структурування даних в єдиному інформаційному середовищі;

— морфологічний відбір і агрегація даних, коли вони переміщуються вгору по системі (під агрегацією ми будемо розуміти процес узагальнення і відокремлення даних від первинних наборів, щоб сформувати групові концентровані характеристики, які відображають суттєві особливості поведінки і стану об'єкта);

— підбір, актуалізація та узгодження термінів автоматичного прийняття рішень у системі різних рівнів управління підприємством. Відомо, що час прийняття рішення (період прийняття рішення OPS) збільшується зі збільшенням рівня ієрархії системи. З одного боку, це визначається значенням цільової підсистеми верхнього рівня, але з іншого — і воно (прийняте рішення) може бути непотрібним (команда «тримати його») у даний момент часу або в нормальній виробничій ситуації.

Слід зазначити, що блоки 10, 12 і 13 утворюють «хмарний» простір для перетворення інформації в інтелектуальному середовищі, а блоки 8 і 11 — «хмарний» простір для інтелектуальної обробки виробничої, економічної та управлінської інформації. Своєю чергою, ці два простори об'єднуються в загальну «хмару», простір якої є доступним для всіх зацікавлених систем (ODF). У цьому відмінність між класичними інформаційними системами і представленням інформації в інтелектуальних системах.

Ефективність використання «хмарної» структури нерозривно пов'язана з рухом її основних елементів: інтерфейсу «людина — машина»; інтегрованим інформаційним середовищем, а також реалізацією цієї ідеології при проектуванні інформаційних датчиків



нового покоління — інтелектуальних інформаційних датчиків на основі ультразвукових коливань [10].

11. Блок інтелектуального опрацювання виробничої, енергетичної та іншої інформації. Дозволяє працювати з інформацією від напрацьованих і аналогових рішень шляхом використання датчиків Д1...Д5, серед яких датчики положення, густини, рівня рН, тиску, потужності, продуктивності, а також використання інтелектуальних цифрових датчиків якості продукції. Вони є вираженою частиною «хмарної» структури системи й носіями функціональних елементів формування «хмар» (програмне забезпечення, система вбудованої самодіагностики, операції інтерфейсу «людина — машина»). Спеціальне програмне забезпечення, призначене для збору, обробки та видачі інформації.

12. «Хмара» включає в себе блок 12 — інтегроване інформаційне середовище баз даних і знань. Воно являє собою сховище даних і знань, утворене спеціальним чином, через яке виконується інформаційна взаємодія з іншими блоками нижнього та середнього рівнів АСУТП підприємства. Особливістю його є те, що воно являє собою сукупність розподілених баз знань, у яких діють єдині правила збереження, оновлення, пошуку та передачі даних.

В інтегрованому інформаційному середовищі:

— забезпечується актуальність і цілісність даних та мінімізація кількості помилок шляхом виключення дублювання та необхідності перекодування даних у процесі обміну інформацією;

— виконується сепарація прикладних програмних засобів структури даних і знань;

— стандартизація (уніфікація) інтерфейсів доступу до контенту створює можливість утворювати типи даних і знань, які доступні усім елементам «хмарного» середовища на основі уже існуючих видів і типів даних і знань.

Інтегроване інформаційне середовище дозволяє інтенсифікувати обмін даними, перевіряти структурну цілісність і конфлікти даних і знань, а головне — синтезувати (збирати) компоненти різного рівня складності і моделювати процеси виробництва сирів з певними характеристиками для різних типів харчування, наприклад, для визначеного контингенту населення (людей, що проживають на територіях з техногенним впливом, дітей, працівників з важкими умовами праці, військових і т. п.) [1].

13. «Облік» включає в себе 13 блок — інтерфейсний блок «людина — машина». Він являє собою набір різних рішень, спрямованих на досягнення максимальних значень таких параметрів, як: наявність і узгодженість управлінських впливів; видимість індикаторів і приладів, які оцінюють точність контролю технологічних етапів при значних транспортних затримках. Такий підхід до побудови інформаційної системи дозволяє ОДФ й оператору-диспетчеру забезпечити правильну і точну роботу всіх технологічних етапів процесів переробки молока і виробництва сиру (логістика — дозрівання — нормалізація — пастеризація — обробка — фільтрація згустку — формування — пресування — дозрівання сиру).

Таким чином, принципи побудови «хмарної» структури забезпечують інтелектуалізацію інтегрованої багатofункціональної системи управління підприємством, утворюючи єдиний інформаційний простір. Розроблений підхід до проектування сучасних ACS-ACS з ERP- і MES-структурами управління підприємством дає можливість працювати в системі дружньої взаємодії з постачальниками молока, виробниками сиру та споживачами продукції.

**Висновки.** Процес виробництва сиру належить до динамічних процесів з високим рівнем невизначеності, який об'єднує в собі безліч фізичних і хімічних процесів. У даній роботі нами розглянуто способи, які спроможні зробити ці процеси більш керованими, швидкодіючими, безпечними та економічно ефективними за рахунок вивчення та ідентифікації процесу ультразвукової молочної коагуляції.

Доведено, що під впливом ультразвукової кавітації відбувається процес молочної коагуляції, тобто перетворення молока в драгеподібну масу, з якої, після відкачування сироватки, виходять часточки майбутнього кисломолочного, плавленого або твердого сиру.

Лабораторні дослідження за допомогою експериментальної установки довели те, що ультразвукова коагуляція є перспективним напрямом у виробництві сирів, оскільки

викликає інтенсивні коливання часточок молока (так звану кавітацію), за рахунок чого знищує певну мікрофлору та перетворює молоко на гель, підвищуючи його в'язкість. Як джерело ультразвуку використовували п'єзокерамічний елемент, який здатний створювати ультразвукові коливання з частотою від 20 до 60 кГц. За результатами досліджень було розроблено математичні моделі параметрів ультразвукових коливань у гетерогенному середовищі.

Розроблено АСУТП виробництва сиру з високим рівнем автоматизації та управління. В системі використано: підсистему контролю з автоматизованими робочими місцями операторів на базі персональних комп'ютерів зі SCADA-системою оперативного управління; інтелектуальну систему прийняття рішень та управління робототехнологічними інтенсифікаторами кавітаційного типу; систему інтелектуального оброблення виробничої, енергетичної та іншої інформації, що дозволяє працювати як з інформацією від напрацьованих, так і з інформацією аналогових рішень, отриманою від датчиків положення, густини, рівня рН, тиску, потужності, продуктивності, а також інтелектуальних цифрових датчиків, які є вираженою частиною «хмарної» структури запропонованої системи АСУ-АСУТП підприємства.

### Список літератури / References

1. Khorolskyi, V., Bavyko, A., Yermak, S., Riabykina, Ye., Khorolskyi, K. (2018). Innovative functional food products for the workers of the mining industry. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, vol. 24, pp. 55–62.

2. МакСуїни П. Л., Фокс П. Ф., Коттер П. Д., Эверетт Д. У. Сыр. Научные основы и технологии. В 2-х т. Том 1. Научные основы сыроделия. Санкт-Петербург : Профессия, 2019. 556 с.

MakSuini, P. L., Foks, P. F., Kotter, P. D., Everett, D. U. (2019). *Syr. Nauchnyie osnovyi i tehnologii. V 2-h t. Tom 1. Nauchnyie osnovyi syirodeliya* [Cheese. Scientific bases and technologies. In 2 vol. Vol 1. The scientific basis of cheese making]. St. Peterburg, Professiya Publ., 556 p.

3. МакСуїни П. Л., Фокс П. Ф., Коттер П. Д., Эверетт Д. У. Сыр. Научные основы и технологии. В 2-х т. Том 2. Технологии основных групп сыров. Санкт-Петербург : Профессия, 2019. 572 с.

MakSuini, P. L., Foks, P. F., Kotter, P. D., Everett, D. U. (2019). *Syr. Nauchnyie osnovyi i tehnologii. V 2-h t. Tom 2. Tehnologii osnovnyih grupp syirov* [Cheese. Scientific bases and technologies. In 2 vol. Vol 2. Technologies of the main groups of cheeses]. St. Peterburg, Professiya Publ., 572 p.

4. Шингарева Т. И., Раманаускас Р. И. Производство сыра : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений по специальности «Технология хранения и переработки животного сырья». Минск : ИВЦ Минфина, 2008. 384 с.

Shingareva, T. I., Ramanauskas, R. I. (2008). *Proizvodstvo syira: ucheb. posobie dlya studentov vysshih uchebnyih zavedeniy po spetsialnosti «Tehnologiya hraneniya i pererabotki zhivotnogo syirya»* [Cheese production: textbook for students of higher educational institutions in the specialty «Technology of storage and processing of animal raw materials»]. Minsk, IVTs Minfina Publ., 384 p.

5. Гудков А. В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты. Москва : ДеЛи принт, 2004. 804 с.

Gudkov, A. V. (2004). *Syirodelie: tehnologicheskie, biologicheskie i fiziko-himicheskie aspekty* [Cheese-making: technological, biological and physico-chemical aspects]. Moscow, DeLi print Publ., 804 p.

6. Скотт Р., Робинсон Р. К., Уилби Р. А. Производство сыра: сырье, технология, рецептуры. Санкт-Петербург : Профессия, 2005. 460 с.

Skott, R., Robinson, R. K., Uilbi, R. A. (2005) *Proizvodstvo syira: syire, tehnologiya, retseptury* [Cheese production: raw materials, technology, recipes]. Sankt-Peterburg, Professiya Publ., 460 p.

7. Лях В. Я., Шергина И. А., Садовая Т. Н. Справочник сыродела. Санкт-Петербург : Союз ; Профессия, 2011. 650 с.

8. Шестаков С. Д. и др. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции : учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2013. 152 с.

Shestakov, S. D. and other (2013). *Tehnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pischevyih sred s ispolzovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Technology and equipment for processing food media using cavitation disintegration]. St. Petersburg, GIOR Publ., 152 p.

9. Дейниченко Г. В., Постнов Г. М., Чеканов М. А., Червоний В. М., Нечипоренко Д. А. Отримання водно-жирових емульсій за допомогою ультразвуку : монографія. Харків : ФАКТ, 2013. 192 с.

Deynichenko, G. V., Postnov, G. M., Chekanov, M. A., Chervoniy, V. M., Nechiporenko, D. A. (2013) *Otrimannya vodno-zhirovih emulsiy za dopomogoyu ultrazvuku* [Production of water-fat emulsions by ultrasound]. Kharkov, FAKT Publ., 192 p.

10. Хорольський В. П. Інтегроване інтелектуальне управління технологічними процесами в економічних системах корпоративних підприємств гірничо-металургійного комплексу : монографія. Дніпропетровськ : Січ, 2008. 443 с.

Horolskiy, V. P. (2008). *Integrovane intelektualne upravlinnya tehnologichnimi protsesami v ekonomichnih sistemah korporativnih pidpriemstv girnicho-metalurgiynogo kompleksu* [Integrated intellectual management of technological processes in economic systems of corporate enterprises of mining and metallurgical complex]. Dnepropetrovsk, Sich Publ., 443 p.

**Цель** — повышение эффективности интеллектуального управления технологической линией производства элитных сортов сыра за счет использования робототехнологических установок с ультразвуковыми кавитационными технологиями в системе автоматического информационного управления производством продукции.

**Методы.** В работе применены общепринятые технические, физико-химические, биохимические, микробиологические и органолептические методы определения качества молочного сырья, процессов производства сыра и методы идентификации процессов влияния ультразвуковых колебаний на гетерогенную среду. Применены теоретические методы системного анализа и математической обработки экспериментальных данных с использованием прикладных компьютерных программ.

**Результаты.** Проведены экспериментальные исследования влияния высокочастотных и низкочастотных ультразвуковых колебаний на гетерогенную среду с целью повышения эффективности сычужности сырьевой массы и управления процессом повышения качества продукции на основе разработки современных автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП) производства сыра.

По результатам исследований разработаны математические модели параметров ультразвуковых колебаний в неоднородной среде и доказано, что под воздействием ультразвуковой кавитации происходит процесс коагуляции молочного сырья, то есть превращения молока в желеподобную массу, из которой, после откочки сыворотки, получают частички будущего кисломолочного, плавленого или твердого сыра.

Разработана АСУТП производства сыра с высоким уровнем автоматизации и управления. В системе использованы: подсистема контроля с рабочими местами операторов, автоматизированными с помощью SCADA-систем оперативного управления на базе ПК; интеллектуальная система принятия решений и управления робототехнологическими интенсификаторами кавитационного типа; система интеллектуальной обработки производственной, энергетической и прочей информации, что позволяет работать как с информацией от наработанных, так и с информацией аналоговых решений, полученной от датчиков положения, плотности, уровня pH, давления, мощности, производительности, а также интеллектуальных цифровых датчиков, являющихся выраженной составляющей «облачной» структуры предложенной системы АСУ-АСУТП предприятия.

**Ключевые слова:** молочное сырье, сыр, ультразвуковые колебания, технологический процесс, кавитация, адаптация, управление, интеллектуализация.

**Objective.** The purpose of the article is to increase the efficiency of intelligent control of the production line of elite varieties of cheese through the use of robotic systems with ultrasonic cavitation technologies in the system of automatic information management of production.

**Method.** Generally accepted technical, physico-chemical, biochemical, microbiological and organoleptic methods of determining the quality of raw milk, cheese production processes and methods of identifying the processes of influence of ultrasonic vibrations on a heterogeneous environment are applied. The methods of system analysis and mathematical processing of experimental data using applied computer programs are applied as theoretical methods of research.

**Result.** Experimental studies of the effect of high-frequency and low-frequency ultrasonic vibrations on a heterogeneous medium in order to improve the efficiency of rennet raw material mass and control the process of improving product quality through the development of modern automated process control systems (APCS) cheese production.

According to the results of research developed mathematical models of parameters of ultrasonic vibrations in a heterogeneous environment and proved that under the influence of ultrasonic cavitation is the process of coagulation of milk, that is, the transformation of milk into gelatinous mass, from which, after pumping serum, obtained slices of the future fermented milk or hard cheese.

The process control system of cheese production with a high level of automation and control is developed. The system uses: control subsystem with automated workstations of operators on the basis of personal computers with SCADA-system of operational control; intelligent system of decision-making and control of robotic intensifiers of cavitation type; the system of intelligent processing of industrial, energy and other information, which allows you to work with information from the accumulated, and with the information of analog solutions obtained from the sensors of position, density, pH, pressure, power, performance, as well as intelligent digital sensors, which are a pronounced part of the «cloud» structure of the proposed system of ACS-APCS enterprise.

**Key words:** raw milk, cheese, ultrasonic vibrations, technological process, cavitation, adaptation, control, intellectualization.

DOI : 10.33274/2079-4827-2019 -38-1-78-84  
УДК 621.926.3

*Янович В. П., д-р техн. наук, доцент<sup>1</sup>  
Сосновська Л. В., асистент<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Вінницький національний аграрний університет (м. Вінниця, Україна), e-mail: lyudka\_dushkant@ukr.net

## РОЗРОБКА ДВОСЕКЦІЙНОГО МЛИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПРЕМІКСІВ

UDC 621.926.3

*Yanovich V. P., Grand PhD of Engineering Science,  
Associate Professor<sup>1</sup>  
Sosnovska L. V., Assistant Professor<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Vinnytsia National Agrarian University (Vinnytsia, Ukraine) e-mail: lyudka\_dushkant@ukr.net

## DEVELOPMENT OF TWO-SCALE MILK FOR PREPARATION PRODUCTION

**Мета** — розробка вібраційного млина для подрібнення і механоактивації мінералів для їх подальшого розчинення в субстраті та дослідження амплітудно-частотних, швидкісних та енергетичних характеристик виконавчого органу млина.

**Методи.** У роботі використано метод аналізу, синтезу, системний та порівняльний аналіз.

Надійшла до редакції 22.02.2019 р.

© В. П. Янович, Л. В. Сосновська, 2019