

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ

Заснований у 1965 р.

№ 8

Київ НУХТ 2009

УДК 664(04) (082)

Висвітлено результати науково-дослідних робіт з технології харчових продуктів, хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, апаратів, обладнання, автоматизації харчових виробництв та економіки харчової промисловості.

Розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників харчової промисловості.

Редакційна колегія:

А.І. Соколенко, доктор технічних наук,
професор — головний редактор;
В.М. Таран, доктор технічних наук,
професор — заступник головного редактора;
К.В. Васильківський, кандидат технічних наук,
доцент — відповідальний секретар;
Л.Ю. Арсеньєва, доктор технічних наук, професор;
О.Ф. Буляндра, доктор технічних наук, професор;
А.О. Зайнчковський, доктор економічних наук, професор;
А.К. Запольський, доктор технічних наук, професор;
А.П. Ладанюк, доктор технічних наук, професор;
Л.В. Левандовський, доктор технічних наук, професор;
В.М. Логвін, доктор технічних наук, доцент;
В.М. Марченко, кандидат технічних наук, доцент;
Т.Л. Мостенська, доктор економічних наук, професор;
В.І. Оболкіна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник;
В.А. Піддубний, доктор технічних наук, професор;
Т.П. Пирог, доктор біологічних наук, професор;
І.О. Сінгаєвський, доктор економічних наук, професор;
М.П. Сичевський, доктор економічних наук, доцент;
О.П. Сологуб, доктор економічних наук, професор;
О.Ю. Шевченко, доктор технічних наук, професор;
Є.В. Штефан, кандидат технічних наук, доцент.

Видання подається в авторській редакції

Схвалено вченою радою НУХТ, протокол № 9 від 30.04.09 р.

*Адреса редакції: 01033 Київ-33, вул. Володимирська, 68
Тел.: (044) 289-19-04, 287-96-95*

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Харчова промисловість» запрошує Вас до публікації наукових робіт.

Засновник та видавець журналу: Національний університет харчових технологій.

Журнал зареєстрований Президією ВАК України (Постанова № 1-05/1 від 15.01.2003 р.) як наукове видання з технічних наук.

У журналі висвітлюються результати науково-дослідних робіт з технології харчових продуктів, хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, апаратів, обладнання, автоматизації харчових виробництв та економіки харчової промисловості.

Обсяг статей — до 10 машинописних аркушів.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті мають бути підготовлені з урахуванням Постанови Президії ВАК України № 7-05/1 «Про підвищення вимог до фахових видань, внесених до переліків ВАК України». Друкуються наукові статті, які мають такі необхідні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання певної проблеми і на які спирається автор; виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

До публікації приймаються не опубліковані раніше статті, що містять результати фундаментальних теоретичних розробок та найзначніших прикладних досліджень викладачів, наукових співробітників, докторантів, аспірантів і студентів.

Статті до редакції подаються українською мовою, включаючи анотацію українською та російською мовами (до 300 знаків), таблиці, рисунки, список літератури.

Статті подаються у вигляді **вчитаних** роздруків на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, шрифт Arial або Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word) на дискеті діаметром 3,5", місткістю 1,44 МВ. На дискеті не повинно бути інших версій та інших статей, у тексті статті на дискеті — порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані.

На першій сторінці наводяться: у лівому верхньому куті — шифр УДК, нижче — ініціали і прізвища авторів (великими літерами напівжирним шрифтом), наукові ступені авторів (світлим шрифтом), нижче — назва закладу (установи) світлим курсивом; потім — назва статті великими напівжирними літерами, під назвою — анотація українською та російською мовами з ключовими словами (п'ять–шість рядків), набрана світлим курсивом. У кінці першої сторінки, під короткою рисою, ставиться знак охорони авторського права ©, ініціали, прізвища авторів, рік.

У кінці тексту статті окремим абзацом наводяться висновки (слово «**Висновки**» — напівжирним шрифтом).

Після основного тексту під заголовком посередині ЛІТЕРАТУРА в алфавітному або порядку згадування в текстіпорядку дається список літературних джерел (кожне джерело з абзацу). Бібліографічні описи

оформляються згідно з ГОСТ 7.1–84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления». У тексті цитоване джерело позначається у квадратних дужках цифрою, під якою воно стоїть у списку літератури. Бібліографічний опис подається мовою видання.

Прізвища іноземних авторів у тексті статті треба наводити в українській транскрипції.

Стаття закінчується написом «Одержана редколегією (дата)», набраним світлим курсивом.

Роздрукований варіант статті підписують усі автори.

Таблиці (у Word або Excel) можна давати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Якщо таблиця одна, то дається тільки заголовок (без слова «Таблиця»). Слово «Таблиця» і номер — курсивним шрифтом, заголовок — напівжирним. Таблиці мають бути відкритими — без бокових, нижньої і горизонтальних лінійок у полі таблиці. Розграфлюється лише шапка таблиці світлими лініями.

Ілюстрації мають бути виконані ретельно, на білому папері й розміщені або в тексті, або в окремих файлах (формати BMP, TIF, JPG); допускається подавати рисунки розмірами 10 × 17 см, виконані акуратно чорною тушшю або чорною кульковою ручкою на білому папері, придатні для подальшого сканування. На звороті рисунка зазначити його номер, авторів і назву статті.

Фотографії друкуються лише у разі крайньої потреби, вони мають бути чіткими, контрастними, виконаними на білому фотопапері, розмірами 6 × 9 см.

Підписи до рисунків набираються на окремій сторінці або безпосередньо під рисунками прямим шрифтом, слово «Рис.» з номером — курсивним.

Повторення одних і тих самих даних у тексті, таблицях і на рисунках не допускаються.

Формули вставляються прямо в текст за допомогою редактора формул. Нумерація формул — арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки.

Використовувані в статті фізичні, хімічні, технічні та математичні терміни, одиниці фізичних величин та умовні позначення мають бути загальноприйнятими. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

До статей додаються: виписка з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку; відомості про авторів (прізвище, повне ім'я та по батькові, науковий ступінь, місце роботи, номери контактних телефонів, адреса).

Публікація статей є платною, що зумовлено значними витратами на видання журналу. Оплата здійснюється залежно від обсягу статті виходячи з розрахунку 20 гривень за одну машинописну сторінку.

Головний редактор журналу доктор технічних наук, професор
Анатолій Іванович Соколенко

Відповідальний секретар журналу кандидат технічних наук, доцент
Костянтин Вікторович Васильківський

Контактні телефони: 8 (044) 289-19-04, 287-96-95.
E-mail: tmipt@nuft.edu.ua

УДК 665.37, 542/543

М.І. ОСЕЙКО, доктор технічних наук
Є.І. ШЕМАНСЬКА, аспірант
Т.М. ГЕРАЩЕНКО, магістрант
Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОСФОЛІЄВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ І МІСЦЕЛ У СИСТЕМІ КТІОЛ

Визначено уточнені дані складу та якості фосфоолієвмісних продуктів вітчизняного виробництва. Досліджено раціональні режими процесу фракціонування в області заданих параметрів (гідромодуль, тривалість, добавка) та вплив добавок КТІОЛ на оптичні характеристики та фізичні показники місцел фосфоліпідів з метою поліпшення колірності кінцевих продуктів та збільшення виходу гідрофільної фракції фосфоліпідів. З використанням модельних систем та експериментальних даних виявлено раціональні умови фракціонування фосфоолієвмісного матеріалу.

Ключові слова: фосфатидний концентрат, концентрат харчовий, гідрофуз, екстрагент, фракціонування, місцела, якість, ефективність.

Определены уточненные данные состава и качества фосфомагнелосодержащих продуктов отечественного производства. Исследованы рациональные режимы процесса фракционирования в исследованной области заданных параметров (гидромодуль, длительность, добавка) и влияние добавок КТІОЛ на оптические характеристики и физические показатели мицелл фосфолипидов с целью уменьшения цветности конечных продуктов и увеличения выхода гидрофильной фракции фосфолипидов. С использованием модельных систем и экспериментальных данных выявлено рациональные условия фракционирования фосфатидного концентрата.

Ключевые слова: фосфатидный концентрат пищевой, гидрофуз, экстрагент, фракционирование, мицелла, качество, эффективность.

У світовій практиці фосфоолієвмісні матеріали є цінною сировиною для одержання концентрованих фосфоліпідних добавок — лецитинів.

Гідрофузи (ГФ) та фосфатидні концентрати (ФК) є доступною фосфоліпідовмісною сировиною, що характеризується достатньо високою біологічною цінністю. До недоліків виробництва вітчизняних фосфоолієвмісних матеріалів, які отримують у технології рослинних олій, слід віднести нестабільність вмісту фосфоліпідів (ФОЛ), підвищений вміст продуктів окиснення, незадовільне колірне число тощо.

Використання фосфоліпідів в окремих галузях харчової промисловості базується на одній з найважливіших їх властивостей — поверхневій активності, яка обумовлює високу емульгуючу та стабілізуючу здатність щодо харчових дисперсних систем. Наприклад, додавання харчового ФК в тісто викликає зміни ступеня дисперсності і структурно — механічні властивості дисперсних структурних елементів тіста, що зумовлює зміну пружнопластичних — в'язких властивостей тіста, і в результаті цього — об'єму і структури хліба [1].

Дослідження, що виконані в нашій країні і за кордоном, показують, що якісний фосфатидний концентрат та біологічно — активні добавки (БАД) на його основі поліфункціонального призначення

можуть знайти широке застосування у різних галузях харчової промисловості. При аналізі літературних джерел виявлена проблема та завдання щодо технології виробництва конкурентоспроможних вітчизняних фосфоолієвмісних продуктів і добавок та апікаційних технологій їхнього використання.

Дослідження показників складу і якості ФК на молекулярному рівні, розширення асортименту та удосконалення технології отримання якісних і безпечних концентрованих фосфоліпідних продуктів є актуальним.

Відомі технології фосфоліпідних продуктів і добавок включають екстракцію олій з фосфоолієвмісних матеріалів різними екстрагентами (ацетон, ізопропіловий спирт, гексан тощо) та в наступному фракціонуванні знежирених ФОЛ етиловим спиртом [1, 2].

Технологічні параметри екстрагування, розділення, очищення та висушування при виробництві фосфоліпідних (ФОЛ) продуктів впливають на кількісний вихід і якість, на формування функціонально-технологічних та органолептичних властивостей фракцій ФОЛ та визначають їх подальше використання у споживачів.

Важливою операцією в технології фракціонування ФОЛ є екстрагування фракцій ФОЛ із матеріалу (ФК чи ГФ). Ефективність екстрагування залежить

© М.І.Осейко, Є.І.Шеманська, Т.М. Геращенко, 2008р.

від типу та концентрації екстрагента, мікро структури матеріалу, що екстрагується, гідромодуля, температури та тривалості процесу [3,4].

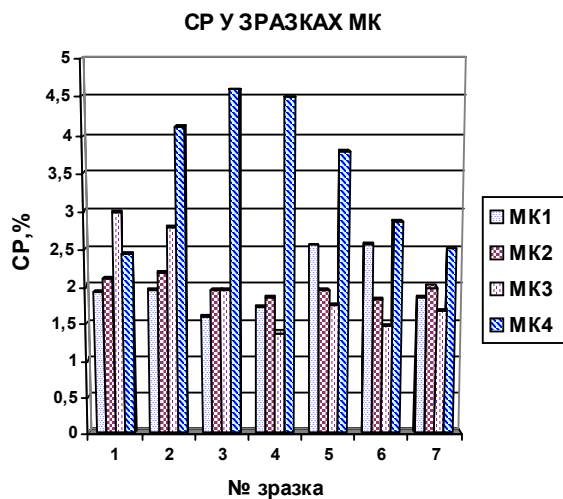
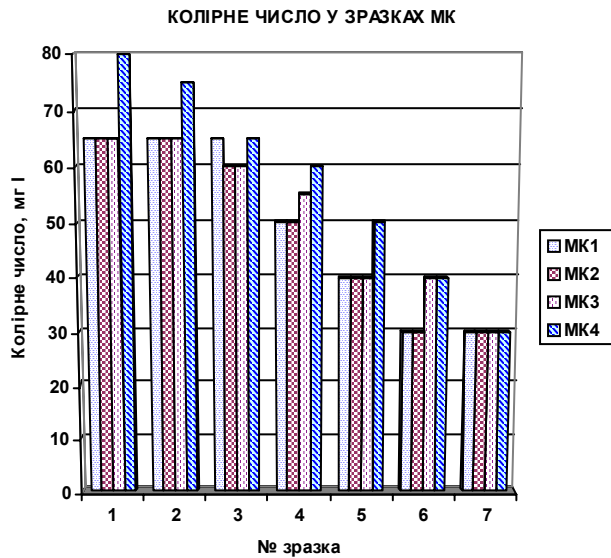


Рис. 1. Порівняльний аналіз зразків екстрактів (зміна колірності, вмісту СР та показників заломлення) при 7-стадійній екстракції ФК

Мета наших досліджень — удосконалення технологічних параметрів екстрагування фракцій ФОЛ із ГФ та ФК, визначення фізико — хімічних та оптичних властивостей одержаних продуктів. Дослідження виконані у відповідності з напрямком наукових досліджень Ф 25.4/101.

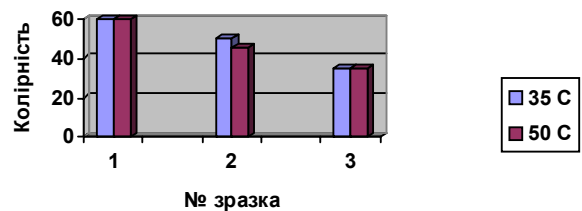
Для раціоналізації технологічних параметрів екстрагування, на першому етапі дослідження були направлені на отримання фракції ФОЛ з ГФ. Обрано технологію, що базується на фракціонуванні ФОЛ гідрофільним екстрагентом [3, 4].

Процес фракціонування проведено у сім стадій при гідромодулі матеріал: екстрагент 1:1 в діапазоні 20–70°C при інтенсивному перемішуванні. Відокремлення осаду проведено центрифугуванням. Концентрації ФОЛ у місцеллах, що отримані, визначено гравіметричним і оптичними методами [3,4].

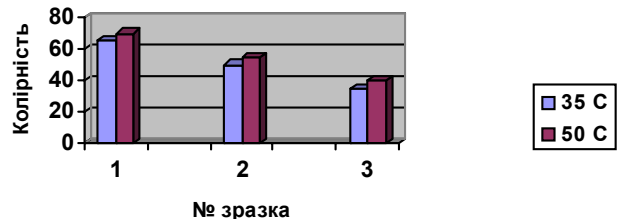
Результати досліджень представлені на рис. 1.

Як видно з отриманих даних, при 7-стадійній екстракції колірне число поліпшується в межах від 80 до

Колірність місцел у модельних зразках з добавкою КТЮЛ - ДТК 0,12%(40:60)



Колірність місцел у модельних зразках з добавкою КТЮЛ - ДТК 0,12%(60:40)



Колірність місцел у модельних зразках з добавкою КТЮЛ - ДТК 0,12%(80:20)

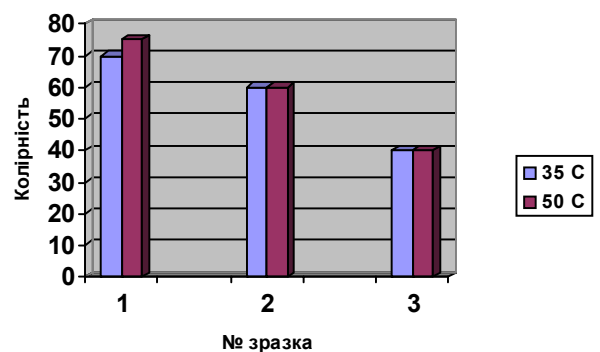


Рис.2. Порівняльний аналіз колірності місцел у модельних зразках

30 мг I₂, найбільші значення показників заломлення виявлено у місцеллах груп МК3 (50°C) та по вмісту сухих речовин — МК4 (70°C), тобто кінцеві продукти характеризуються підвищеним вмістом ФОЛ.

З метою удосконалення технологічного процесу фракціонування в системі КТЮЛ досліджено модельні зразки матеріалу з заданим вмістом ФОЛ (гідромодуль матеріал ФК : ДВ — 40:60, 60:40 та 80:20, кількість стадій зменшено до трьох, вихідне колірне число матеріалу ФК — 80, добавка КТЮЛ — ДТК 0,12%). Результати дослідження представлені на рис. 2.

Відповідно отриманих даних виявлено можливість покращання колірності вихідної сировини ФК з колірного числа 80 до 35.

Подальші дослідження були направлені на місцели груп МК2 та МК3 для зменшення витрат енергії на процес фракціонування ФОЛ, збільшення виходу та поліпшення якості кінцевого продукту.

З цією метою досліджено три — ступеневу екстракцію в аналогічних умовах проведення фракціонування. Використано добавку КТЮЛ — ДТК у кількості 0,07 — 0,18 % для зниження розчинності фосфатидилсеринів у гідрофільній фракції, що

сприятиме збільшенню вмісту фосфатидилхолінів у фракції [5, 6]. Порівняльний аналіз даних, що отримано, представлено на рис 3.

Як видно, раціональними умовами ведення процесу фракціонування ФОЛ є: температура 35–50°C, кількість добавки КТЮЛ — ДТК — 0,12%, співвідношенням ФОЛ : екстрагент ЕС 1 : 2 та кількість стадій фракціонування — 3, що забезпечує отримання продукту з колірним числом — 15 мг йоду.

Висновки. У результаті виконаних досліджень фосфороолієвмісних матеріалів і місцел у системі КТЮЛ отримані уточнені дані складу та якості фосфороолієвмісних продуктів вітчизняного виробництва (ФК та ГФ), а саме: з використанням модельних систем та експериментальних даних визначено раціональні режими процесу фракціонування в досліджуваній області заданих параметрів (температура, гідромодуль, тривалість, добавка КТЮЛ — ДТК); визначено вплив добавок на оптичні характеристики та фізичні показники місцел ФОЛ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Арутюнян Н.С., Корнена Е.П. Фосфолипиды растительных масел. — М.: Агропромиздат, 1986. — 256 с.
2. Мельников К.А., Кобзар М.В. Технология получения пищевого лецитина из фосфатидного концентрата подсолнечного масла // Вопросы химии и химической технологии. — Днепропетровск, 2004. — № 4. — С.160–164.
3. Выделение лецитинов из фосфатидного концентрата подсолнечного масла / К.А. Мельников // Масложировая промышленность. — 2000. — № 2. — С.21
4. Осейко М.І. Технологія рослинних олій: Підручник. — К.: Варта, 2006. — 280 с.
5. Новый метод извлечения фосфолипидов из подсолнечного масла. / И.М.Жаркова, Е.Л. Тихонова// Масла и жиры. — 2005. — 6. — С.10–11.
6. Технология получения пищевого лецитина из фосфатидного концентрата подсолнечного масла. /К.А. Мельников, М.В. Кобзарь // Вопр. химии и хим. технолог. — 2004. — № 4. — С. 160–164.

Одержана редколлегією 10.09.08

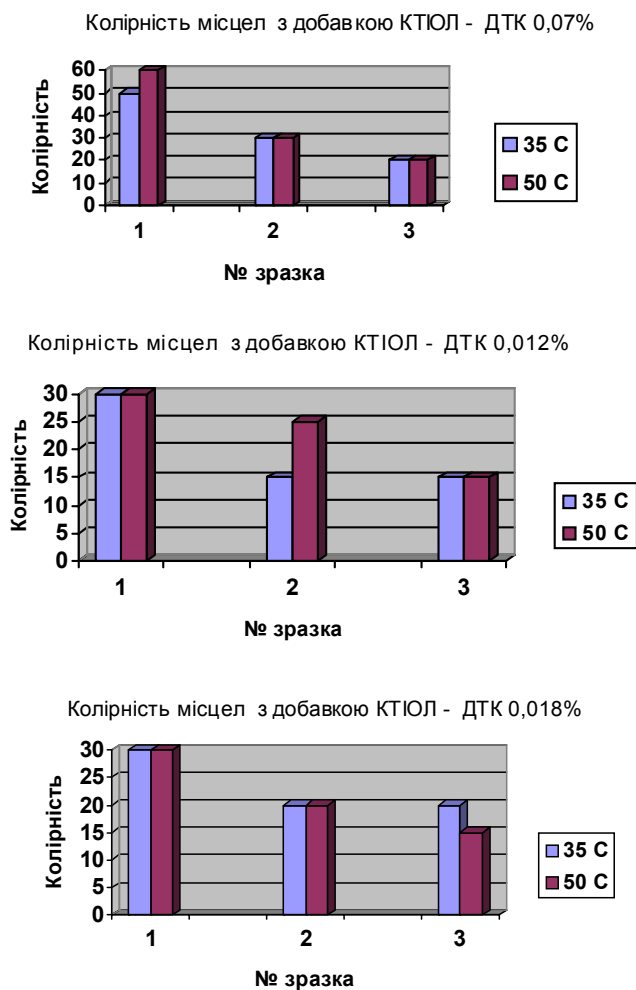


Рис. 3. Вплив концентрації добавки КТЮЛ — ДТК на колірність місцел при отриманні місцел з матеріалу ФК

Т.П. ПИРОГ, доктор біологічних наук
С.І. АНТОНЮК
А.І. СОРОКІНА, студентка
Національний університет харчових технологій

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН *ACINETOBACTER CALCOACETICUS* K-4 ДЛЯ ДЕГРАДАЦІЇ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Показана можливість використання препаратів поверхнево-активних речовин (ПАР), синтезованих *Acinetobacter calcoaceticus* K-4, для очищення води від нафти. Через 30 діб ступінь деградації нафти (2,6 г/л) за присутності 5–30 % (об'ємна частка) препаратів ПАР у вигляді постферментаційної культуральної рідини або її супернатанту становила 81–95 %. Інтенсифікація деструкції нафти зумовлена активацією природної нафтоокиснювальної мікрофлори під впливом поверхнево-активних речовин.

Ключові слова: поверхнево-активні речовини, деструкція нафти, очищення води, активація нафтоокиснювальної мікрофлори

Показана возможность использования препаратов поверхностно-активных веществ (ПАВ), синтезированных *Acinetobacter calcoaceticus* K-4, для очистки воды от нефти. Через 30 сут степень деградации нефти (2,6 г/л) в присутствии 5–30 % (по объему) препаратов ПАВ в виде постферментационной культуральной жидкости или ее супернатанта составляла 81–95 %. Интенсификация процесса деструкции нефти обусловлена активацией природной нефтеокисляющей микрофлоры под влиянием поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: поверхностно-активные вещества, деструкция нефти, очистка воды, активация нефтеокисляющей микрофлоры

Ще відносно недавно ні в кого не виникало сумніву у тому, що навколишнє середовище — повітря, земля і вода — завжди будуть ефективно «переробляти» побутові, промислові і сільськогосподарські відходи. Тепер ми знаємо, що це не так. Людство зіштовхнулось з двома фундаментальними проблемами: переробка відходів, постійно утворюваних у величезній кількості, та деструкція токсичних сполук, що десятиліттями накопичувалися на звалищах, у воді та ґрунті. Безнаказанні викиди у навколишнє середовище промислових відходів за останні 50–100 років призвели до того, що давно працюючі промислові об'єкти, неконтрольовані відвали, бензоколонки і ділянки хімічного забруднення, що виникають в результаті тих чи інших аварій, є небезпечними джерелами забруднення ґрунтових вод і потребують відповідної обробки у найближчому майбутньому. Понад 50 % забруднень навколишнього середовища пов'язано з нафтою і продуктами її переробки.

Одним з можливих шляхів очищення ґрунтів і води від нафтопродуктів є активація природної мікрофлори забруднених об'єктів. Особливо доцільний такий спосіб для застарілих забруднень. Природні механізми самоочищення сприяють розвитку специфічної нафтоокиснювальної мікрофлори на

забруднених ділянках. Велике значення має економічний аспект таких технологій, оскільки використання природної мікрофлори суттєво знижує вартість процесів очищення, не потребує багатотонажного виробництва біопрепаратів і технічних витрат на обробку. Проте за високих концентрацій нафти і нафтопродуктів у ґрунті і воді природні процеси біоутилізації здійснюються дуже повільно.

Потужним регулятором активності мікробної популяції, у тому числі й природної, здатної до окиснення гідрофобних сполук, є поверхнево-активні речовини (ПАР), зокрема ПАР мікробного походження [1]. Емульгування (солюбілізація) вуглеводнів за допомогою ПАР сприяють транспорту гідрофобних речовин з ґрунту і води у мікробні клітини і, таким чином, підвищують їх деградацію. У багатьох працях повідомляється про здатність мікробних ПАР інтенсифікувати деградацію нафтопродуктів як у лабораторних, так і польових умовах [1–4].

У попередніх дослідженнях із забрудненого нафтою ґрунту нами було ізольовано штам бактерій, ідентифікований як *Acinetobacter calcoaceticus* K-4. Встановлено умови культивування *Acinetobacter calcoaceticus* K-4 на етанолі, що забезпечують підвищення у три рази показників синтезу поверхнево-активних речовин [5].

Мета даної роботи — дослідити можливість інтенсифікації процесу очищення води від нафти за присутності препаратів ПАР, синтезованих *A. calcoaceticus* К-4.

Як препарати ПАР використовували постферментаційну культуральну рідину, одержану після культивування *A. calcoaceticus* К-4 на етанолі, а також супернатант культуральної рідини.

Штам *A. calcoaceticus* К-4 вирощували на рідкому мінеральному середовищі такого складу (г/л): $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ — 0,3; NaCl — 1,0; Na_2HPO_4 — 0,6; KH_2PO_4 — 0,14; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,1, рН 6,8–7,0. У середовище додатково вносили дріжджовий автолізат — 0,5 % (об'ємна частка) і розчин мікроелементів — 0,1 % (об'ємна частка [5]). Як джерело вуглецю і енергії використовували етанол у концентрації 2 % (об'ємна частка). Як посівний матеріал використовували культуру з кінця експоненційної фази росту (72 год), вирощену на середовищі наведеного складу з 2 % етанолу. Кількість інокуляту — 10 % від об'єму середовища. Культивування бактерій здійснювали в колбах об'ємом 750 мл із 100 мл середовища на качалці (320 об/хв) при 30 °С упродовж 120 год.

Для одержання супернатанту культуральну рідину центрифугували упродовж 30 хв (5000 g), надсадову рідину зливали і витримували на киплячій водяній бані 30 хв. Таку термообробку здійснювали для знищення клітин продуцента.

Дослідження процесу очищення води від нафти за участю ПАР *A. calcoaceticus* К-4 проводили на модельній водоймі, якою слугувала ємність з 2 л бюветної води. На поверхню води наносили 2,6 г/л

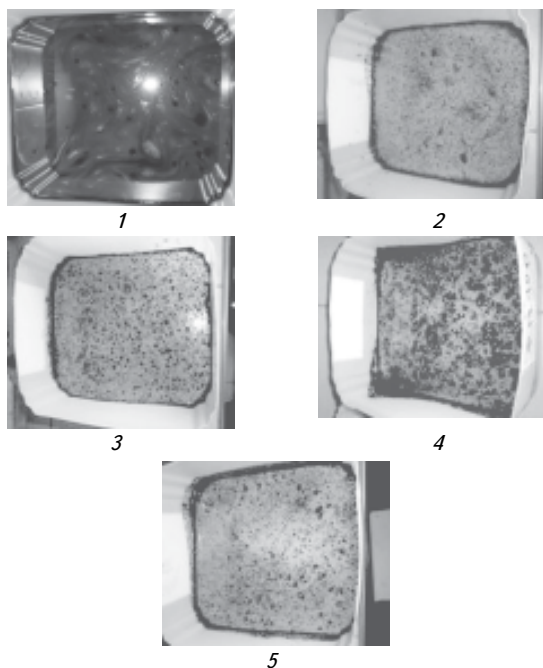


Рис. 1. Ефективність деградації нафти через 7 днів за присутності поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* К-4:

(1) — контроль; (2) і (3) — 5 % і 15 % культуральної рідини; (4) і (5) — 15 і 5 % супернатанта відповідно.

нафти, а потім — препарати ПАР у концентрації 5 і 15 % від об'єму води. Як джерело біогенних елементів, необхідних для життєдіяльності нафтоокиснювальних бактерій, використовували діамонійфосфат у концентрації 0,01 % від об'єму води. В одному з варіантів через тиждень здійснювали повторну обробку води препаратами ПАР у концентрації 5 і 15 %.

Загальну кількість живих клітин (КУО/мл) визначали за методом Коха на середовищі МПА у бюветній воді (до забруднення нафтою), а також у всіх зразках після закінчення експерименту (30 днів).

Вміст нафти у воді визначали ваговим методом після трикратної екстракції гексаном (співвідношення 1:1). Органічний екстракт випарювали до постійної маси на роторному випарнику при 55 °С.

Експерименти показали, що за присутності усіх досліджуваних препаратів поверхнево-активних речовин активна деструкція нафти спостерігалась уже через сім днів (рис. 1). У цей період здійснили повторну обробку деяких модельних водойм препаратами ПАР.

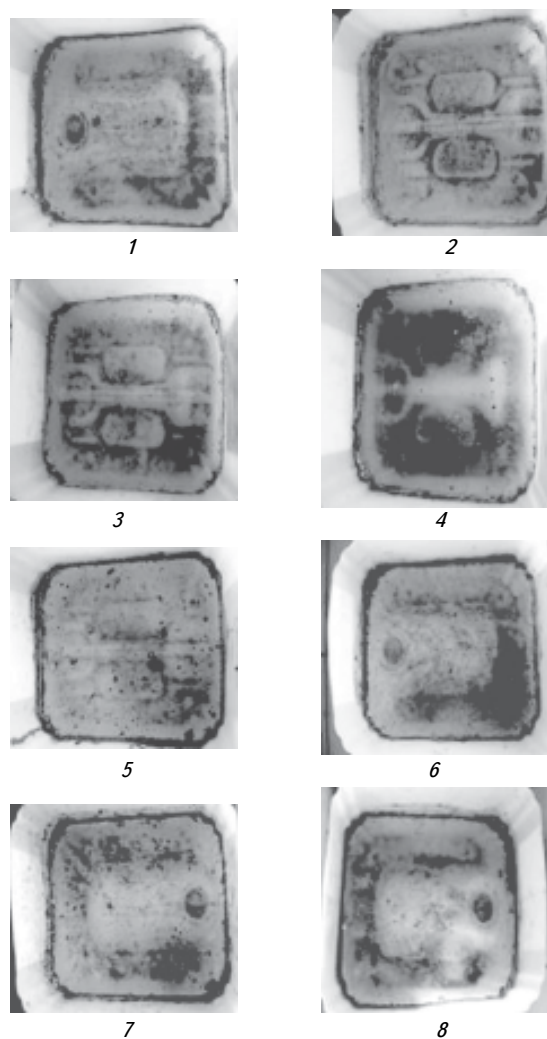


Рис. 2. Ступінь деструкції нафти за присутності препаратів ПАР *Acinetobacter calcoaceticus* К-4 через 20 днів.

Кінцева концентрація препаратів ПАР (%): у вигляді культуральної рідини: (1) — 5; (2) — 10; (3) — 15; (4) — 30; у вигляді супернатанту: (5) — 5; (6) — 10; (7) — 15; (8) — 30.

Надалі у всіх варіантах спостерігали швидку деградацію нафти: нафтова плівка втратила маслянистість, перетворилася на скупчення невеликих сухих пластівців, частина яких перебувала на поверхні води, а частина після перемішування осідала на дно модельного водоймища (рис. 2).

Як видно з даних, наведених на рис. 1 і 2, біодеструкція нафти відбувалась майже однаково у всіх зразках, незалежно від того, у якому вигляді використовували ПАР (культуральна рідина чи супернатант). Слід зазначити, що ми прогнозували вищу ефективність очищення води від нафти у разі застосування культуральної рідини.

Упродовж наступних 10 діб експерименту (з 20 по 30 добу) видимих змін на поверхні модельних водойм не спостерігали. Дані щодо кількісного визначення залишкової нафти на 30 добу експерименту наведено у табл. 1.

Через три тижні ступінь деградації нафти становила 81–95 % (табл. 1). Слід зазначити, що ефективність розкладання нафти практично не залежала від концентрації препаратів ПАР і була достатньо високою (понад 83–85 %) навіть за одноразової обробки ними води. Не виявлено суттєвої різниці у здатності інтенсифікувати процеси деструкції нафти між препаратами у вигляді культуральної рідини і супернатанту.

Одержані результати можуть свідчити про те, що основним механізмом, який зумовлює активну деструкцію нафти за присутності ПАР *A. calcoaceticus* K-4, є активація ними природної нафтоокиснювальної мікрофлори води та нафти. Для перевірки цього припущення аналізували кількісні зміни у складі мікрофлори води упродовж експерименту.

Таблиця 1

Показники очищення води від нафти препаратами поверхнево-активних речовин, синтезованих *Acinetobacter calcoaceticus* K-4

Препарат ПАР	Концентрація препарату ПАР, %	Кількість процедур обробки	Концентрація залишкової нафти, г/л	Ступінь деструкції нафти, %
Культуральна рідина	5	Одна	0,20±0,01	92,3±2,6
	10	Дві	0,32±0,015	87,7±2,3
	15	Одна	0,36±0,018	88,2±2,3
	30	Дві	0,28±0,014	89,2±2,4
Супернатант культуральної рідини	5	Одна	0,44±0,022	83,1±2,1
	10	Дві	0,32±0,015	85,7±2,3
	15	Одна	0,38±0,019	85,4±2,2
	30	Дві	0,32±0,015	87,7±2,2
Без обробки (контроль)			2,6	0

Встановлено, що у воді (до забруднення її нафтою і обробки препаратами ПАР) містилося близько $3,6 \times 10^4$ КУО/мл (табл. 2). Мікрофлора такої води була представлена чотирма морфотипами колоній: №1 — яскраво жовтого (оранжевого) кольору, круглі, опуклі, слизові, блискучі, з рівними краями, діаметр 2 мм; №2 — жовтуватого кольору, круглі,

опуклі, слизові, блискучі, з рівними краями, діаметр 3 мм; №3 — округлі, прозоро-білі, опуклі з рівними краями, діаметр 1–2 мм; №4 — світло-жовтого кольору, в центрі яскравіше забарвлення, опуклі, слизові, прозорі, з рівними краями, діаметр 3–4 мм. Через 30 діб у воді було виявлено три морфотипи (№2–4). Загальна кількість такої мікрофлори води за цей час збільшилась на один-два порядки у різних дослідних варіантах.

Таблиця 2

Кількісна зміна мікрофлори забруднених нафтою модельних водойм через 30 діб після обробки препаратами ПАР *Acinetobacter calcoaceticus* K-4

Препарат ПАР	Кінцева концентрація препарату ПАР, %	Мікрофлора води, КУО/мл	Стороння мікрофлора, КУО/мл	Загальна кількість клітин, КУО/мл
Культуральна рідина	5	$6,2 \times 10^6$	$1,1 \times 10^6$	$7,3 \times 10^6$
	10	$1,1 \times 10^6$	5×10^5	$1,6 \times 10^6$
	15	$1,0 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
	30	$5,0 \times 10^5$	$3,3 \times 10^6$	$3,8 \times 10^6$
Супернатант культуральної рідини	5	$6,0 \times 10^5$	4×10^5	$1,0 \times 10^6$
	10	$1,1 \times 10^6$	$1,3 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$
	15	$3,0 \times 10^5$	6×10^5	$9,0 \times 10^5$
	30	$4,0 \times 10^5$	$1,5 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$
Вода до обробки (контроль)		$3,6 \times 10^4$	–	$3,6 \times 10^4$

Кількість виявленої через місяць сторонньої мікрофлори у воді (найімовірніше, це мікрофлора нафти і, можливо, повітря) становила від 9×10^5 до 7×10^6 клітин/мл. Така мікрофлора була представлена п'ятьма морфотипами колоній. Цікаво зазначити, що на 30 добу у жодному варіанті із застосуванням препаратів ПАР у вигляді культуральної рідини нам не вдалося виявити клітини *A. calcoaceticus* K-4.

Ці результати свідчать, що одним із механізмів, що зумовлюють інтенсифікацію деградації нафти за присутності ПАР *A. calcoaceticus* K-4, є активація природної нафтоокиснювальної мікрофлори під впливом поверхнево-активних речовин.

Одержані результати показують перспективність використання препаратів ПАР, синтезованих *A. calcoaceticus* K-4, для очищення води від високих концентрацій нафти. Суттєвою перевагою таких препаратів є можливість їх застосування у вигляді постферментаційної культуральної рідини, а також висока ефективність очищення від нафти за низької концентрації поверхнево-активних речовин.

Висновки. Таким чином, у результаті проведеної роботи встановлено, що поверхнево-активні речовини, синтезовані *A. calcoaceticus* K-4, інтенсифікують процеси деструкції нафти в результаті стимуляції природної нафтоокиснювальної мікрофлори. Показана можливість використання для ефективного (деградація на 80–95 % нафти у концентрації 2,6 г/л) очищення води невисоких

концентрацій препаратів ПАР у вигляді культуральної рідини (5 %).

ЛІТЕРАТУРА

1. Ron E.Z., Rosenberg E. Biosurfactants and oil bioremediation // *Curr. Opin. Biotechnol.* — 2002. — V. 13, № 3. — P. 249–252.
2. Hua Z., Chen J., Lun S., Wang X. Influence of biosurfactants produced by *Candida antarctica* on surface properties of microorganism and biodegradation of n-alkanes. // *Water Res.* — 2003. — V. 37, № 17. — P. 4143–4150.
3. Lu X.X., Zhang X., Li G.H., Zhang W.H. Production of biosurfactant and its role in the biodegradation of oil hydrocarbons // *J. Environ. Sci. Health Part A. Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* — 2003. — V. 38, № 3. — P. 483–492.
4. Bodour A.A., Guerrero-Barajas C., Jiorle B.V., Malcomson M.E. Structure and characterization of flavolipids, a novel class of biosurfactants produced by *Flavobacterium* sp. strain MTN11 // *Appl. Environ. Microbiol.* — 2004. — V. 70, № 1. — P. 114–120.
5. Пирог Т.П., Антонюк С.І. Особливості синтезу поверхнево-активних речовин штамом *Acinetobacter calcoaceticus* К-4 // *Наукові праці НУХТ.* — 2007. — № 22. — С.50–53.

Одержана редколегією 18 .04.08 р.

УДК 759.873.088.5:661.185

Т.П. ПИРОГ, доктор біологічних наук

Т.А. ШЕВЧУК

Ю.О. КЛИМЕНКО, магістрант

Д.О. ТАРАСЕНКО, аспірант

Національний університет харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ СИНТЕЗУ ТРЕГАЛОЗОМІКОЛАТІВ ЗА РІЗНИХ УМОВ РОСТУ *RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS* ЕК-1 НА ЕТАНОЛІ І ГЕКСАДЕКАНІ

Внесення fumarату і цитрату (окремо і разом) у середовище культивування *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1 з гексадеканом, а також fumarату у середовище з етанолом супроводжувалося інтенсифікацією синтезу поверхнево-активних трегалозоміколатів, про що засвідчило підвищення за таких умов активності ферментів глюконеогенезу і трегалозофосфатсинтази.

Ключові слова: *Rhodococcus erythropolis*, трегалозоміколати, трегалозофосфатсинтаза, інтенсифікація синтезу

Внесение fumarата и цитрата (вместе и отдельно) в среду культивирования *Rhodococcus erythropolis* ЭК-1 с гексадеканом, а также fumarата в среду с этанолом сопровождалось интенсификацией синтеза поверхностно-активных трегалозо-миколатов, о чем свидетельствовало повышение в таких условиях активности ферментов глюконеогенеза и трегалозо-фосфатсинтазы.

Ключевые слова: *Rhodococcus erythropolis*, трегалозомиколаты, трегалозофосфатсинтаза, интенсификация синтеза

У попередніх дослідженнях із забруднених нафтою зразків ґрунту і води виділено нафтокиснювальні бактерії, ідентифіковані як *Acinetobacter calcoaceticus* К-4, *Nocardia vaccinii* К-8, *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1, *Mycobacterium* sp.К-2 [1]. Встановлено здатність *R. erythropolis* ЕК-1 синтезувати метаболіти з поверхнево-активними і емульгуювальними властивостями під час росту на гідрофільних (глюкоза, етанол) та гідрофобних (рідкі парафіни, гексадекан) субстратах. Порівняно з відомими продуцентами ПАР штам ЕК-1 має такі переваги: синтезує ПАР на середовищі із низьким вмістом солей (3 г/л), не потребує факторів росту, характе-

ризується високим виходом ПАР від субстрату (до 70 %) [2]. Показано, що *R. erythropolis* ЕК-1 синтезує як вільні, так і асоційовані з клітинами ПАР, які за хімічною природою являють собою комплекс гліко-, фосфо- і нейтральних ліпідів із сполуками полісахаридно-білкової природи [1, 2]. Гліколіпіди представлені трегалозомоно- і диміколатами, фосфоліпіди — фосфатидилгліцирином, фосфатидилетаноламіном, дифосфатидилгліцирином, нейтральні ліпіди — цетиловим спиртом, альмітиноювою кислотою, метиловим ефіром *n*-пентадеканової кислоти, тригліциридами, міколовими кислотами та ін. Слід зазначити, що основними

© Т.П. Пирог, Т.А. Шевчук, Ю.О. Клименко, Д.О. Тарасенко, 2008

компонентами ПАР *R. erythropolis* ЕК-1, як і ПАР інших представників роду *Rhodococcus* [6], є гліколіпіди трегалозомоно- і диміколати.

У попередніх дослідженнях нами було показано можливість підвищення синтезу ПАР *R. erythropolis* ЕК-1 за умови внесення у середовище з етанолом або гексадеканом C_4 -дикарбонових кислот (попередників глюконеогенезу) і цитрату (регулятора синтезу ліпідів) [3]. За одночасної присутності у середовищі культивування фумарату і цитрату спостерігали збільшення на 40–100 % кількості синтезованих ПАР, умовної концентрації ПАР та індексу емульгування. Проте на теперішній час залишається недослідженим питання, синтез яких саме компонентів ПАР *R. erythropolis* ЕК-1 підвищується за присутності попередників їх біосинтезу.

Мета даної роботи — дослідити особливості утворення трегалозоміколатів за різних умов росту *R. erythropolis* ЕК-1 на етанолі і гексадекані. Для досягнення цієї мети аналізували активність ключових ферментів, які беруть участь у синтезі цих гліколіпідів — фосфоенолпіруватсинтетази (ФЕП-синтетази), ФЕП-карбоксикінази та трегалозофосфатсинтази.

Штам *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1 депонований у Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології НАНУ під номером ІМВ Ас-5017. Бактерії вирощували на рідких мінеральних середовищах такого складу (г/л), середовище 1: $NaNO_3$ — 1,3; $NaCl$ — 1,0; Na_2HPO_4 — 0,6; KH_2PO_4 — 0,14; $MgSO_4 \times 7H_2O$ — 0,1; $FeSO_4 \times 7H_2O$ — 0,001; рН 6,8–7,0; середовище 2: KH_2PO_4 — 6,8; $NaOH$ — 1,0; NH_4NO_3 — 0,6; $MgSO_4 \times 7H_2O$ — 0,4; $CaCl_2 \times 2H_2O$ — 0,1; $FeCl_3 \times 6H_2O$ — 0,001; рН 6,8–7,0. Як джерело вуглецю і енергії використовували гексадекан і етанол у концентрації 1 і 2 % (об'ємна частка). Як попередники синтезу ПАР використовували цитрат натрію і фумарат натрію у концентрації 0,1 і 0,2 % (масова частка) відповідно. Цитрат і фумарат вносили у середовище на початку стаціонарної фази росту. Як посівний матеріал використовували культуру з експоненційної фази росту (48–72 год), вирощену на середовищах наведеного вище складу з 0,3 % гексадекану або 0,5 % етанолу.

Вирощування бактерій здійснювали в колбах об'ємом 750 мл зі 100 мл середовища на качалці (220 об/хв) при 30 °С упродовж 48 — 168 год.

Здатність до синтезу ПАР оцінювали за такими показниками: поверхневий натяг (γ_s) вільної від клітин культуральної рідини, умовна концентрація ПАР (ПАР*), індекс емульгування (E_{24}) розбавленої у 50 разів культуральної рідини, а також кількість синтезованих ПАР, які визначали як описано у працях [1, 2].

Визначення активності ферментів здійснювали в безклітинних екстрактах (клітини руйнували ультразвуком, отриманий дезінтеграт центрифугували, супернатант використовували як безклітин-

ний екстракт). Для одержання безклітинних екстрактів під час вирощування штаму ЕК-1 на гексадекані здійснювали обробку культуральної рідини гексаном (для видалення залишків гексадекану), після чого відділяли клітини фільтруванням під вакуумом і руйнували ультразвуком.

Активність ФЕП-синтетази (систематична назва фермента — піруват, вода дикіназа; КФ 2.7.9.2) [4] аналізували за швидкістю утворення пірувату, яку визначали за окисненням НАДН при 340 нм у спряженій реакції з лактатдегідрогеназою. Активність фосфоенолпіруватсинтетази аналізували також колориметрично за зниженням концентрації пірувату в реакційній суміші (реакція з динітрофенілгідрaziном) при 445 нм [4].

Активність ФЕП-карбоксикінази (КФ 4.1.1.49) [5] встановлювали спектрофотометрично за окисненням НАДН при 340 нм.

Активність трегалозофосфатсинтази (КФ 2.4.1.15) [7] визначали за утворенням уридіндифосфату (УДФ) в реакції:

УДФ-глюкоза + Глюкозо-6-фосфат = Трегалозо-6-фосфат + УДФ.

УДФ аналізували спектрофотометрично за окисненням НАДН при 340 нм у спряжених реакціях утворення пірувату з ФЕП за участю піруваткінази і утворення лактату з пірувату за участю лактатдегідрогенази.

Вміст білка у безклітинних екстрактах визначали за Bradford. Активність ферментів аналізували при 28–30 °С — температурі, оптимальній для росту *R. erythropolis* ЕК-1.

У процесі асиміляції мікроорганізмами двох- або трьохвуглецевих субстратів або субстратів, катаболізм яких проходить через ацетил-КоА чи інтермедіати циклу трикарбонових кислот, виникає необхідність синтезу молекул вуглеводів. Ці перетворення здійснюються шляхом глюконеогенезу. Ензиматичні дослідження показали, що під час росту на етанолі і гексадекані у *R. erythropolis* ЕК-1 в утворенні фосфоенолпірувату беруть участь обидва ключові ферменти глюконеогенезу — ФЕП-синтетаза і ФЕП-карбоксикіназа (табл. 1).

Цікаво зазначити, що за умов росту штаму ЕК-1 на етанолі спостерігали високу активність обох ключових ферментів глюконеогенезу, тоді як у процесі вирощування на гексадекані у *R. erythropolis* ЕК-1 функціонує переважно лише ФЕП-синтетаза (табл. 1). Під час культивування штаму ЕК-1 на обох субстратах виявлено активність трегалозофосфатсинтази, проте за умов росту на етанолі активність цього фермента була у 10 разів нижчою, ніж на середовищі з гексадеканом. Ми вважаємо, що це явище можна пояснити тим, що трегалозоміколати полегшують споживання гідрофобних субстратів і зазвичай містяться у великій кількості у клітинних стінках мікроорганізмів, які ростуть на парафінах, нафті, гексадекані тощо.

Показники синтезу поверхнево-активних речовин, а також а активність ФЕП-синтетази і трегалозофосфатсинтази під час росту штаму ЕК-1 на середовищі з гексадеканом за присутності фумарату і цитрату наведено у табл. 2.

Таблиця 1

Активність ферментів глюконеогенезу за умов росту *R. erythropolis* ЕК-1 на етанолі і гексадекані

Фермент	Активність (нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка) під час росту на	
	Етанолі	Гексадекані
ФЕП-синтетаза	556±26	943±45
ФЕП-карбоксикіназа	603±28	50±3
Трегалозофосфат-синтаза	66±3	679±31

Примітки:

1. За використання етанолу як джерела вуглецю культивування штаму ЕК-1 здійснювали на середовищі 2, а гексадекану — на середовищі 1.

2. Активність ферментів визначали для клітин, які перебували на початку стаціонарної фази росту.

Як видно з наведених у табл. 2 даних, після внесення у середовище з гексадеканом фумарату і цитрату активність трегалозофосфатсинтази підвищувалась у 3–5 разів порівняно з культивуванням *R. erythropolis* ЕК-1 на середовищі без цих попередників, у той час як активність ФЕП-синтетази збільшувалась лише за одночасного додавання у середовище обох попередників. Цілком ймовірно, що за присутності тільки цитрату, або лише фумарату підвищення активності трегалозофосфатсинтази може корелювати із збільшенням активності іншого ключового ферменту глюконеогенезу — ФЕП-карбоксикінази. Виясненню цього питання будуть присвячені наші подальші дослідження.

Таблиця 2

Утворення ПАР і активність деяких ферментів синтезу трегалозоміколатів під час культивування *R. erythropolis* ЕК-1 на гексадекані за присутності фумарату і цитрату

Попередники	ПАР*	ПАР, г/л	E ₂₄ , %	Активність (нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка)	
				ФЕП-синтетази	Трегалозофосфатсинтази
Без попередників	4,5±0,22	4,0±0,20	51±2	943±45	679±31
Цитрат, 0,1 %	4,8±0,24	4,2±0,21	78±3	485±24	1980±94
Фумарат, 0,2 %	5,8±0,29	4,9±0,24	57±2	467±23	1768±82
Цитрат, 0,1 % + фумарат, 0,2 %	6,0±0,29	6,4±0,30	63±3	3356±156	3267±160

Примітки:

1. Культивування здійснювали на середовищі 1.

2. Активність ферментів визначали для клітин із стаціонарної фази росту.

Результати, наведені у табл. 2, свідчать про те, що підвищення показників синтезу ПАР за внесення у середовище з гексадеканом фумарату і цитрату зумовлене посиленням синтезу трегалозоміколатів у таких умовах культивування штаму ЕК-1.

У процесі росту *R. erythropolis* ЕК-1 на етанолі за присутності фумарату і цитрату характер зміни активності досліджуваних ферментів відрізнявся від такого на гексадекані (табл. 3). Так, за наявності у середовищі з етанолом фумарату і цитрату (окремо і разом) спостерігали зниження у 1,5–2,5 раза активності ФЕП-карбоксикінази і підвищення у 2,5–3,6 раза активності ФЕП-синтетази порівняно з культивуванням штаму на середовищі без попередників біосинтезу ПАР. Активність трегалозофосфатсинтази підвищувалась лише за внесення у етанолмісне середовище фумарату. За присутності цитрату, а також фумарату і цитрату активність цього фермента була дещо нижчою, ніж за умов росту на етанолі (44–57 і 66 нмоль·хв⁻¹·мг⁻¹ білка відповідно).

Таблиця 3

Вплив фумарату і цитрату на утворення ПАР і активність ферментів біосинтезу трегалозоміколатів під час культивування *R. erythropolis* ЕК-1 на етанолі

Попередники	ПАР*	ПАР, г/л	E ₂₄ , %	Активність (нмоль·хв ⁻¹ ·мг ⁻¹ білка)		
				ФЕП-карбоксикінази	ФЕП-синтетази	Трегалозофосфатсинтази
Без попередників	3,0±0,15	0,9±0,04	60±2	603±28	556±26	66±3
Цитрат, 0,1 %	3,0±0,15	0,8±0,04	90±4	238±11	1300±60	44±2
Фумарат, 0,2 %	4,2±0,21	1,4±0,07	75±3	292±14	1500±75	150±7
Цитрат, 0,1 % + фумарат, 0,2 %	4,8±0,24	1,9±0,09	80±4	367±17	1980±93	57±2

Примітки:

1. Культивування здійснювали на середовищі 2.

2. Активність ферментів визначали для клітин з стаціонарної фази росту.

Отже, під час культивування *R. erythropolis* ЕК-1 на етанолі за присутності цитрату зниження показників ПАР* і ПАР (г/л) корелювало із зменшенням активності трегалозофосфатсинтази (табл. 3), що свідчить про зниження синтезу трегалозоміколатів. Підвищення показника E₂₄ і активності ФЕП-синтетази може свідчити про посилення за таких умов синтезу емульгатора вуглеводної природи. За присутності фумарату підвищення значень ПАР* і ПАР (г/л) корелювало із збільшенням активності трегалозофосфатсинтази і ФЕП-синтетази (табл. 3), що може свідчити про посилення синтезу трегалозоміколатів. За одночасного внесення у ета-

нольмісне середовище fumarату і цитрату підвищення всіх показників синтезу ПАР зумовлене, очевидно, збільшенням синтезу емульгатора вуглеводної природи і поверхнево-активних гліколіпідів, проте не трегалозоміколатів. Про це свідчило підвищення за таких умов активності обох ферментів глюконогенезу і зниження активності трегалозофосфатсинтази.

Висновки. У результаті проведеної роботи встановлено, що за присутності попередників біосинтезу ПАР (фумарату і цитрату) у середовищі з гексадеканом підвищення показників утворення цих сполук штамом *R. erythropolis* ЕК-1 зумовлене посиленням синтезу трегалозоміколатів. За умов росту бактерій на етанолі інтенсифікація утворення трегалозоміколатів спостерігалась лише за внесення у середовище fumarату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пирог Т.П., Шевчук Т.А., Волошина И.Н., Карпенко Е.И. Образование поверхностно-активных веществ при росте штамма *Rhodococcus erythropolis* ЭК-1 на гидро-

фильных и гидрофобных субстратах // Прикладная биохимия и микробиология. — 2004. — Т. 40, № 5. — С. 544–550.

2. Пирог Т.П., Волошина И.Н., Игнатенко С.В., Вильданова-Марцишин Р.И. Некоторые закономерности синтеза поверхностно-активных веществ при росте штамма *Rhodococcus erythropolis* ЭК-1 на гексадекане // Биотехнология. — 2005. — № 6. — С. 27–36.

3. Пирог Т.П., Тарасенко Д.О. Интенсификация синтеза поверхностно-активных речовин під час культивування *Rhodococcus erythropolis* ЕК-1 на етанолі // Наукові праці НУХТ. — 2008. — № 24. — С. 10–13.

4. Cooper R.A., Kornberg H.L. Methods in enzymology (Ed. Lowenstein J.M.). New York: Acad. Press, 1969. — Vol. 13. — P. 309–314.

5. Huei-Che Chang, Lane M.D. The enzymatic carboxylation of phosphoenolpyruvate. II. Purification and properties of liver mitochondrial phosphoenolpyruvate carboxykinase // J. Biol. Chem. — 1966. — Vol. 241, № 10. — P. 2413–2420.

6. Mulligan C.N. Environmental applications for biosurfactants // Environmental pollution. — 2005. — Vol. 133. — P. 183–198.

7. Pan Y.T., Carroll J.D., Elbein A.D. Trehalose-phosphate synthase of *Mycobacterium tuberculosis*. Cloning, expression and properties of the recombinant enzyme // Eur. J. Biochem. — 2002. — Vol. 269. — P. 6091–6100.

Одержана редколлегиею 04.09.08 р.

УДК 663.433.1

Р.М. МУКОЇД, науковий співробітник

Н.О. ЄМЕЛЬЯНОВА, доктор технічних наук, проф.

А.І. УКРАЇНЕЦЬ, доктор технічних наук, проф.

Національний університет харчових технологій

І.М. СВИДИНЮК, кандидат сільсько-господарських наук

ННЦ «Інститут землеробства УААН»

АМІНОКИСЛОТНИЙ СКЛАД БІЛКІВ ЗЕРНА РІЗНИХ СОРТОТИПІВ ВІВСА

Досліджено амінокислотний склад нового сорто типу голозерного вівса як сировини для оздоровчих харчових продуктів.

Ключові слова: овес голозерний, овес плівковий, екстрактивність, білкові речовини, амінокислоти.

Исследовано аминокислотный состав нового сорто типа голозерного овса как сырья для оздоровительных пищевых продуктов.

Ключевые слова: овес голозерный, овес пленочный, экстрактивность, белковые вещества, аминокислоты.

Наїефективнішим засобом позитивного впливу на здоров'я людини є раціональне харчування. Тому виникає необхідність збагачення раціону людини продуктами високої біологічної цінності. Ця проблема може бути вирішена створенням нових продуктів харчування з використанням пророщених злаків, які вміщують у збалансованому вигляді легко засвоювані харчові інгредієнти та біологічно-активні речовини, необхідні для життя людини.

Овес як сировина використовується різними галузями харчової промисловості для виробництва оздоровчих продуктів.

Крупи з вівса стоять на першому місці за харчовою цінністю, тому що у вівсяному ядрі міститься велика кількість білків, жиру, вітамінів, мінеральних речовин.

При пророщуванні зерно збагачується біологічно-активними речовинами: низькомолекулярни-

© Р.М. Мукоїд, Н.О. Ємельянова, А.І.Українець, І.М. Свидинюк, 2009

ми білками і вуглеводами, амінокислотами, вітамінами, ферментами і фітогормонами [1]. Тому вівсяний солод (пророщений овес) у складі інших пророщених злаків, використовується при виробництві полісолодових екстрактів, які мають лікувально-дієтичні властивості [2].

З районів України сортів вівса найбільш широко розповсюджені «Буг», «Львівський 1», «Скакун», «Чернігівський 27». За останні роки Носівською селекційно-дослідною станцією виведені нові, так звані, голозерні сорти вівса. Від традиційних (плівкових) сортів вони відрізняються збільшеним вмістом білка та крохмалю і мінімальним рівнем клітковини. Ці сорти відрізняються від звичайних (плівкових) тим, що їх зернівки не мають оболонки. Це значно підвищує їх харчові якості і спрощує процес переробки.

Незважаючи на значні переваги цих сортів наукових даних щодо їх хімічного складу в спеціальній літературі явно недостатньо.

Тому метою даного дослідження було визначення амінокислотного складу звичайних плівкових і голозерних сортів вівса. Такі результати дозволять обґрунтувати вибір сортів вівса, переробка яких забезпечить одержання найбільш повноцінного харчового продукту.

Зразки вівса відбирали у Державному підприємстві «Дослідне господарство «Чабани» ННЦ Інститут землеробства УААН».

Екстрактивність і вміст білкових речовин у зерні визначали стандартними методиками [3]. Склад амінокислот (загальних і вільних) — на амінокислотному аналізаторі Т 339 «Мікротехна», Чехія.

Результати аналізів представлені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Основні технологічні показники сортів вівса

Сорт вівса	Вологість, %	Вміст білкових речовин, % на СР	Екстрактивність, %	
			на ПСР	на СР
Скакун (плівковий)	13,0	9,7	50,73	56,73
Соломон (голозерний)	12,3	15,8	69,00	76,60

Важливим показником якості зерна для виробництва харчових продуктів є його екстрактивність. Вона являє собою суму речовин, які здатні переходити у розчин і можуть бути використані у технологічному процесі.

Як свідчать проведені дослідження (табл.1.), екстрактивність голозерного вівса на 19% більше, ніж плівкового в розрахунку на суху речовину.

Таку різницю можна пояснити особливостями хімічного складу зерна. Плівковий овес містить від 10 до 15% клітковини, яка, як відомо, нерозчинна в воді і тому екстракту не дає. Крім того, цей сорт вівса має в своєму складі до 10 і більше відсотків геміцелюлози, яка також по-

рівняно мало гідролізується і не дає великого приросту екстракту.

Білки — цінна складова частина зерна вівса, яка надає поживні і лікувальні властивості готовому продукту.

За вмістом білкових речовин голозерний овес також значно переважає плівковий (табл. 1). Для вивчення харчової і кормової цінності нами визначався амінокислотний склад рослинних білків. Амінокислоти, які можуть синтезуватися в організмі людини і тварин з інших амінокислот, називають заміними, а які не можуть — незамінними. До них належать 8 амінокислот: лізин, треонін, валін, метіонін, триптофан, лейцин, ізолейцин і фенілаланін. Якщо білок не містить однієї або декількох незамінних амінокислот, його називають неповноцінним. У разі нестачі незамінних амінокислот затримується ріст і розвиток організму.

Дослідженнями встановлено, що білки як плівкового, так і голозерного вівса містять всі незамінні амінокислоти, тобто є повноцінними (табл. 2), але за вмістом загальних амінокислот голозерний овес на 30% переважає плівковий. Вільних амінокислот голозерний овес «Соломон» містить також на 34% більше, ніж кожурний «Скакун».

Таблиця 2

Амінокислотний склад сортотипів вівса

Амінокислоти	Плівковий сорту «Скакун»		Голозерний сорту «Соломон»	
	Кількість амінокислот, мг у 100 г зерна			
	Загальні	Вільні	Загальні	Вільні
Лізин	198	3	221	6
Гестидин	68	4	117	6
Аргінін	306	9	98	9
Орнітін	1	0	1	1
ГАМК	11	11	4	4
Аспарагінова к-та	559	17	735	23
Треонін	130	1	150	4
Серин	263	3	250	4
Глутамінова к-та	1019	34	1670	56
Пролін	201	1	124	5
Гліцин	282	5	429	3
Аланін	227	9	460	9
Цистеїн	117	2	259	2
Валін	96	2	202	6
Метіонін	44	0	79	1
Ізолейцин	98	1	125	2
Лейцин	331	1	547	2
Тирозин	112	3	226	3
Фенілаланін	162	1	269	2
Сума	4225	110	5965	146
В тому числі незамінні	1059	9	1617	23

Відомо, що найбільшу цінність мають незамінні амінокислоти. Голозерний овес «Соломон» за їх вмістом переважає плівковий, але співвідношення

незамінних амінокислот до загальних у обох сортів практично однакове: 25,0% у кожурного і 27,1% у голозерного.

Слід відмітити, що серед вільних амінокислот кожурного вівса відсутній орнітин і метіонін. Ці амінокислоти майже відсутні і серед вільних амінокислот голозерного вівса, їх всього по 1 мг в 100 г зерна. Орнітин майже відсутній і серед загальних амінокислот обох сортів. Але метіонін є в складі загальних амінокислот як у сорту Скакун, так і у Соломона (44 і 73 мг відповідно).

Звертає на себе увагу, що за вмістом лізіну, серину, ізолейцину кожурний овес майже не відрізняється від голозерного. При цьому вміст валіну, метіоніну, лейцину, ізолейцину, тирозину і фенілаланіну у голозерного вівса значно вище, ніж у кожурного.

Висновки. Зерно голозерного вівса за екстрактивністю та вмістом білкових речовин і їх амінокислотним складом переважає плівковий. Тому використання голозерного вівса в харчовій промисловості економічно ефективно, а одержані з нього харчові продукти матимуть вищі дієтично-лікувальні властивості, ніж з кожурного.

ЛІТЕРАТУРА

1. Домарецький В.А. Технологія солода и пива. — Киев: «Фирма ИНКОС», 2004. — С. 432.
2. Ємельянова Н.О., Гречко Н.Я., Кошова В.М., Суходол В.Ф. Технологія солодових екстрактів, концентратів квасного сусли і квасу / За ред. Н.О. Ємельянової. — К. ІСДО, 1994. — С. 152.
3. Химико-технологический контроль производства солода и пива / Под ред. д-ра техн. Наук П.М. Мальцева. — М: Пищ. пром-сть. 1976. — С. 447.

Одержана редколегією 21.03.2009 р.

УДК 637.107

О.В. КРАВЦОВА, аспірант,
Т.А. СКОРЧЕНКО, канд. техн. наук
Національний університет харчових технологій

ЯКІСТЬ КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПОЮ ЗАЛЕЖНО ВІД СПОСОБУ ЗБАГАЧЕННЯ ЙОГО ХАРЧОВИМ ВОЛОКНОМ «ФІБРОГАМ»

У статті розглянуто можливі способи збагачення кисломолочного напою харчовим волокном «фіброгам». Визначений вплив технологічних прийомів на показники якості дослідних кисломолочних напоїв. Розроблено комплексний показник якості кисломолочного напою з харчовим волокном «фіброгам».

Ключові слова: кисломолочний напій, харчове волокно «фіброгам», молочна основа, комплексний показник якості.

В статье рассмотрены возможные способы обогащения кисломолочного напитка пищевым волокном «фиброгам». Определено влияние технологических приемов на показатели качества исследуемых кисломолочных напитков. Разработан комплексный показатель качества кисломолочного напитка с пищевым волокном «фиброгам».

Ключевые слова: кисломолочный напиток, пищевое волокно «фиброгам», молочная основа, комплексный показатель качества.

Натуральне розчинне харчове волокно «фіброгам» широко використовується в інноваційних технологіях харчових продуктів. Воно є ідеальним інгредієнтом завдяки своїм технологічним і поживним властивостям: добрій розчинності, низькій в'язкості утворених розчинів, високій стійкості в кислому середовищі, емульгуючій і стабілізуючій здатності, відсутності смаку і запаху, низькій калорійності, пребіотичним властивостям. [1,4, 9].

Введення до складу продуктів харчування дієтичної клітковини є актуальним завданням, оскільки через недостатню кількість харчового волокна в раціоні для сучасного споживача підвищується ризик захворювань травної, серцево-судинної систем, гіпертонії, ожиріння. [1,2].

В Європі та США «фіброгам» визнаний харчовою добавкою з необмеженою дозою щоденного вживання. Клінічними дослідженнями підтверджений корисний вплив «фіброгаму» на організм лю-

дини за дози споживання харчового волокна до 50 г на добу. [9].

«Фіброгам» виявляє пребіотичні властивості шляхом стимулювання життєдіяльності біфідобактерій і лактобактерій кишечнику людини. Він сприяє розвитку корисної мікрофлори як впродовж терміну придатності до споживання кисломолочного напою, так і під час проходження через травну систему людини. [2,3,5,6]. Оскільки підтримка нормальної мікрофлори людського організму є одним із завдань оптимізації харчування людини, то не викликає сумнівів доцільність збагачення кисломолочних напоїв цим харчовим волокном.

Авторами статті досліджені процеси виготовлення кисломолочного напою збагаченого харчовим волокном «фіброгам» з використанням різних способів збагачення продукту цим інгредієнтом.

Мета роботи — здійснити комплексну оцінку якості дослідних кисломолочних напоїв, що збагачені харчовим волокном «фіброгам» із застосуванням різних технологічних прийомів.

Для об'єктивної оцінки якості кисломолочного напою з «фіброгам» розроблено комплексний показник якості, який враховує основні характеристики якості кисломолочного напою: органолептичні, фізико-хімічні, поживну цінність та калорійність.

Комплексний показник якості кисломолочного напою збагаченого харчовим волокном «фіброгам» розраховується за формулою:

$$K_0 = K_1 \cdot M_1 + K_2 \cdot M_2 + K_3 \cdot M_3 + K_4 \cdot M_4, \quad (1)$$

де K_1 — комплексна оцінка органолептичних властивостей, K_2 — комплексний показник фізико-хімічних властивостей, K_3 — поживна цінність, K_4 — калорійність; $M_1=0,3$; $M_2=0,3$; $M_3=0,2$; $M_4=0,2$ — коефіцієнти вагомості кожної групи характеристик.

Структурна схема комплексного показника якості кисломолочного напою збагаченого «фіброгам» представлена на рис. 1.

Комплексна оцінка органолептичних властивостей дослідних кисломолочних напоїв збагачених «фіброгам» враховує внесок окремих органолептичних показників (смаку, аромату, кольору, консис-

тенції) шляхом введення коефіцієнтів їх вагомості. Кожен із зазначених органолептичних показників оцінюється за п'ятибальною шкалою. [7]. Комплексний показник органолептичних властивостей K_1 для кожної дослідної проби кисломолочного напою має вигляд:

$$K_1 = \frac{C_i/C_k \cdot M_c + A_i/A_k \cdot M_a + K_{o_i}/K_{o_k} \cdot M_{ko}}{K_{o_k} \cdot M_{ko} + K_{on_i}/K_{on_k} \cdot M_{kon}}, \quad (2)$$

де $C_i, A_i, K_{o_i}, K_{on_i}$ — смак, аромат, колір і консистенція і-ої проби продукту; $C_k, A_k, K_{o_k}, K_{on_k}$ — смак, аромат, колір і консистенція контрольної проби продукту. $M_c=0,3$; $M_a=0,3$; $M_{ko}=0,1$; $M_{kon}=0,3$ — коефіцієнти вагомості кожного з органолептичних показників.

В кисломолочних напоях збагачених харчовим волокном «фіброгам» вимірювали: умовну в'язкість віскозиметром витікання ВЗ-246, вологоутримувальну здатність методом центрифугування [8], ступінь синерезису фільтраційним методом [8], титровану кислотність титрометричним методом за ГОСТ 3624-92.

Комплексний показник фізико-хімічних властивостей кисломолочного напою збагаченого «фіброгам» обчислюється за формулою:

$$K_{2i} = \frac{T_i/T_k \cdot M_t + V_i/V_k \cdot M_v + \text{Син}_i/\text{Син}_k \cdot M_{\text{Син}} + \text{ВУЗ}_i/\text{ВУЗ}_k \cdot M_{\text{ВУЗ}}}{\text{Син}_k \cdot M_{\text{Син}} + \text{ВУЗ}_k \cdot M_{\text{ВУЗ}}}, \quad (3)$$

де T_i — значення титрованої кислотності і-ої проби кисломолочного напою; V_i — в'язкість і-ої проби кисломолочного напою; Син_i — ступінь синерезису і-ої проби кисломолочного напою; ВУЗ_i — вологоутримувальна здатність і-ої проби кисломолочного напою. $M_t=0,3$; $M_v=0,3$; $M_{\text{Син}}=0,2$; $M_{\text{ВУЗ}}=0,2$ — коефіцієнти вагомості кожного фізико-хімічного показника.

Поживну цінність кисломолочних напоїв визначали за вмістом білків, жирів, вуглеводів та харчового волокна «фіброгам».

$$K_{3i} = \frac{B_i/B_k \cdot M_B + \text{Ж}_i/\text{Ж}_k \cdot M_{\text{Ж}} + V_i/V_k \cdot M_V + \Phi_i/\Phi_k \cdot M_{\Phi}}{B_i/B_k \cdot M_B + \text{Ж}_i/\text{Ж}_k \cdot M_{\text{Ж}} + V_i/V_k \cdot M_V + \Phi_i/\Phi_k \cdot M_{\Phi}}, \quad (4)$$

де $B_i, \text{Ж}_i, V_i, \Phi_i$ — масова частка білків, жирів, вуглеводів і харчового волокна «фіброгам» і-ої проби кисломолочного напою, г/100г; $B_k, \text{Ж}_k, V_k, \Phi_k$ —

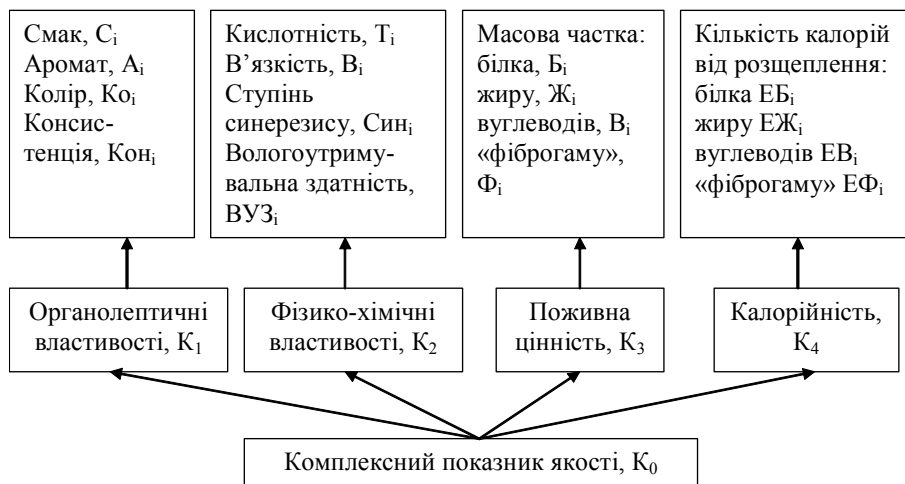


Рис. 1. Структура комплексного показника якості кисломолочного напою збагаченого харчовим волокном «фіброгам»

масова частка білків, жирів, вуглеводів і «фіброгам» контрольної проби кисломолочного напою, г/100г; $M_B=0,3$; $M_{жк}=0,2$; $M_B=0,2$; $M_F=0,3$ — коефіцієнти вагомості.

Калорійність визначали розрахунковим методом за формулою:

$$E_i=4 \cdot B_i+9 \cdot Ж_i+4 \cdot B_i+2 \cdot \Phi_i, \quad (5)$$

де 4, 9, 4, 2 — теплова енергія, що виділяється під час розщеплення 1г відповідно білків, жирів, вуглеводів, харчового волокна «фіброгам», ккал.

$$K_{4i}=E_i/E_k \cdot M_E, \quad (6)$$

де E_i — енергетична цінність і-ої проби кисломолочного, ккал; E_k — енергетична цінність контрольної проби, ккал; коефіцієнт вагомості $M_E=1$.

Для виготовлення кисломолочного напою збагаченого харчовим волокном «фіброгам» використовували молоко з масовою часткою жиру 2,5 %, харчове волокно «фіброгам» у вигляді порошку. Заквашування здійснювали препаратом прямого внесення. Дослідні проби кисломолочного напою відрізнялись тим, що під час їх виготовлення збагачення харчовим волокном «фіброгам» здійснювалось різними способами.

Перший спосіб полягає у внесенні харчового волокна в нормалізовану молочну основу до теплової обробки. Він передбачає попереднє розчинення «фіброгам» у молоці температурою 40-45 °С впродовж 10-15 хвилин. Подальшу пастеризацію здійснювали за температури 92-95 °С з витримкою 2-5 хвилин. Охолодження здійснювали до температури 30-32 °С і вносили заквашувальний препарат. Сквашений згусток охолоджували до 20±2 °С, вносили наповнювач і фасували. Масова частка «фіброгам» у дослідних пробах кисломолочного напою, виготовлених цим способом становить 1 та 2 %. Більші дози внесення харчового волокна викликають коагуляцію білку під час теплової обробки.

Другий спосіб збагачення кисломолочного напою передбачає внесення харчового волокна «фіброгам» в охолоджену до температури заквашування молочну основу. Молочну основу піддавали тепловій обробці за температури 92-95 °С з витримкою 2-5 хвилин, охолоджували до температури 30-32 °С, вносили харчове волокно «фіброгам», перемішували впродовж 5-10 хвилин і вносили заквашувальний препарат. Сквашений згусток охолоджували до температури 20±2 °С, вносили наповнювач і фасували. За такого способу збагачення кисломолочний напій містить 3-6 % харчового волокна «фіброгам»

Третій, запропонований авторами спосіб збагачення кисломолочного напою «фіброгам», передбачає внесення харчового волокна одночасно з наповнювачем в сквашену і охолоджену до 15 °С молочну основу.

Молочну основу пастеризували за температури 92-95 °С з витримкою 2-5 хвилин, охолоджували до температури 30-32 °С і вносили заквашувальний препарат. Сквашену молочну основу охолод-

жували до температури 15 °С по досягненню згустком кислотності 85-90 °Т, після чого вносили харчове волокно «фіброгам» одночасно з наповнювачем. Вміст харчового волокна в дослідних пробах кисломолочного напою, виготовлених цим способом становить 3 та 5 %.

Крім того авторами пропонується удосконалити технологію кисломолочного напою з харчовим волокном «фіброгам» шляхом проведення нормалізації молочної основи за масовою часткою білка. Додаткове введення в молочну основу сухого концентрату сироваткових білків в кількості 0,7-1,0 % покращить якість кисломолочного напою, за умови застосування будь-якого випробуваного авторами способу збагачення зазначеного продукту харчовим волокном «фіброгам».

Комплексні характеристики, що визначають якість кисломолочного напою збагаченого харчовим волокном «фіброгам»

Проби кисломолочного напою			Органолептична оцінка	Фізико-хімічні властивості	Поживна цінність	Калорійність
№ п/п	Спосіб виготовлення	Масова частка «фіброгам», %				
1	1 (без нормалізації зам. ч. білку)	1	0,850	1,000	1,000	1,038
		2	0,925	0,986	1,300	1,076
3	2 (без нормалізації зам. ч. білку)	3	0,925	1,007	1,600	1,114
4	2 (з нормалізацією зам. ч. білку)	3	1,0	1,121	1,655	1,179
5		4	1,0	1,108	1,955	1,217
6		5	1,0	1,082	2,255	1,255
7		6	0,605	1,037	2,555	1,293
8	3 (без нормалізації зам. ч. білку)	3	1,038	1,126	1,600	1,114
9		5	1,008	1,087	2,200	1,190
10	3 (з нормалізацією зам. ч. білку)	3	1,075	1,167	1,655	1,179
11		5	1,075	1,777	2,255	1,255

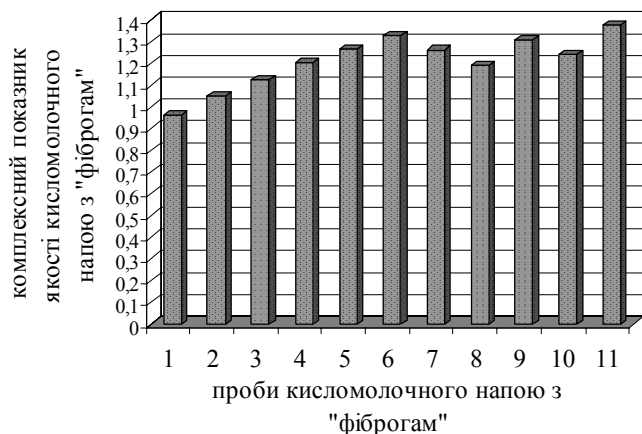


Рис.2. Комплексний показник якості кисломолочного напою залежно від способу збагачення його харчовим волокном «фіброгам»

Результати визначення комплексного показника якості кисломолочного напою збагаченого харчовим волокном «фіброгам» різними способами подано в таблиці.

Комплексний показник якості кисломолочного напою, що залежить від способу збагачення харчовим волокном «фіброгам», зображено графічно у вигляді діаграми (рис. 2).

Висновки. Найнижчу якість спостерігаємо в пробах кисломолочного напою, під час виготовлення якого, харчове волокно «фіброгам» вносили в молочну основу перед тепловою обробкою. Крім цього, такі проби характеризуються низькою поживною цінністю, оскільки містять найменші дози харчового волокна.

Другий спосіб збагачення кисломолочного напою харчовим волокном «фіброгам» сприяє покращенню якості, зростає поживна цінність продукту і поліпшуються фізико-хімічні властивості. Проби кисломолочного напою, під час виготовлення яких, внесення харчового волокна «фіброгам» здійснювали в охолоджену до температури заквашування молочну основу в поєднанні з додатковою нормалізацією молочної основи за масовою часткою білку, мають значно вищі значення комплексного показника якості. Виключення становить кисломолочний напій, що містить 6 % «фіброгаму», через незадовільні органолептичні властивості, що виявляється в наявності специфічного присмаку, обумовленому високою дозою «фіброгаму».

Найвищі значення комплексного показника якості має кисломолочний напій, що містить 3-5 % «фіброгаму», внесення якого здійснювали у сквашену, охолоджену молочну основу одночасно з наповнювачем та під час виготовлення якого додатково нормалізували молочну основу за масовою ча-

сткою білка. Проби кисломолочного напою, виготовлені з використанням третього способу збагачення продукту харчовим волокном «фіброгам», характеризуються найкращими органолептичними і фізико-хімічними властивостями.

ЛІТЕРАТУРА

1. Булатов М.А., Копылова Л.Ф. Гуммиарабик — источник здорового питания. // Пищевые ингредиенты, сырьё и добавки. — 2005. — №1. — С. 15-16.
2. Донская Г.А., Ишмаматьева М.В., Денисова Е.А. Продукты с пищевыми волокнами. // Молочная промышленность. — 2003. — №10. — С. 47-48.
3. Донская Г.А., Ишмаматьева М.В. Кисломолочный напиток, обогащенный пищевыми волокнами. // Молочная промышленность. — 2004. — №6. — С. 50-51.
4. Смола акации, её технологические и функциональные свойства. // Пищевые ингредиенты, сырьё и добавки. — 2003. — №2. — С. 54-55.
5. Токаев Э.С., Ганина В.И., Ананьева Н.В., Нефедова Н.В. Повышение качества продуктов с пробиотическими культурами. // Молочная промышленность. — 2007. — №9. — С. 65-66.
6. Токаев Э.С., Ганина В.И., Багдасарян А.С., Перминов С.И., Вустина Т.Ф., Мозговая И.Н. Поведение антагонистически активных штаммов бифидобактерий в процессе хранения синбиотического комплекса. // Молочная промышленность. — 2006. — №10. — С. 48-49.
7. Шепелева Е.В., Митасева Е.В., Радаева И.А. Количественные критерии сенсорной оценки кисломолочной продукции. // Молочная промышленность. — 2008. — №8. — С. 70-73.
8. Шидловская В.П. Органолептические свойства молока и молочных продуктов. Справочник. — М.: Колос С, 2004. — 360 с.
9. Fibregum. A bioactive natural soluble fibre from acacia. Colloid Natural International, Bulletin S30/D, R&D. October 1998.

Одержана редколлегією 30.03.2009.

В.С. ЗУБЧЕНКО, кандидат фізико-математичних наук

О.П. ВІТРЯК, кандидат технічних наук,

Національний університет харчових технологій

Л.В. ТКАЧЕНКО, кандидат технічних наук,

Український науково-дослідний інститут спирту та біотехнології харчових продуктів

ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ФЕРМЕНТОВАНИХ НАПОЇВ ШЛЯХОМ НВЧ-ОБРОБЛЕННЯ

*Наведено результати досліджень впливу НВЧ-оброблення на стійкість ферментованого напою «чайний гриб», який одержують в результаті життєдіяльності змішаної популяції мікроорганізмів *Medusomyces gisevii* V, що складається з культур дріжджів та оцтовокислих бактерій. Для змішаної популяції визначено оптимальні параметри дії СВЧ-оброблення для підвищення стійкості напою за умов збереження якісних показників продукту.*

Ключові слова: ферментовані напої, змішана популяція, НВЧ-оброблення, стійкість

*Приведены результаты исследований влияния СВЧ-обработки на стойкость ферментированного напитка «чайный гриб», который получают в результате жизнедеятельности смешанной популяции микроорганизмов *Medusomyces gisevii* V, состоящей из культур дрожжей и уксуснокислых бактерий. Для смешанной популяции определены оптимальные параметры воздействия СВЧ-обработки для повышения стойкости напитка при сохранении качественных показателей продукта.*

Ключевые слова: ферментированные напитки, смешанная популяция, СВЧ-обработка, стойкость

Останнім часом у всьому світі, як у виробників, так й у споживачів, збільшується цікавість до натуральних продуктів функціонального призначення, які здатні підвищувати загальний рівень здоров'я людини та покращувати діяльність систем і функцій організму. Ферментовані напої (напої бродіння) є однією з найбільш перспективних груп серед напоїв функціонального харчування з точки зору медико-біологічного впливу на організм людини. Технологія таких напоїв базується на використанні рослинної сировини та мікроорганізмів визначеного складу, які викликають процес бродіння. В процесі життєдіяльності використані мікроорганізми продукують цілий комплекс цінних та корисних для організму людини біологічно активних речовин, таких як органічні кислоти, амінокислоти, вітаміни, ферменти та інші. Ферментовані напої мають підвищену біологічну цінність саме завдяки природному взаємопоєднанню та збалансованості біологічно активних речовин, що утворилися в процесі бродіння.

До найбільш поширених ферментованих напоїв можна віднести напій бродіння під тривіальною назвою «чайний гриб» (чайний квас, комбуха, комбуча), який крім приємних органолептичних властивостей, має широкий діапазон фармацевтичних показників [1]. Для зброджування чайно-цукрового розчину використовують симбіотичну полікультуру мікроорганізмів *Medusomyces gisevii*, яка складається з асоціації дріжджів та оцтовокислих бак-

терій. В процесі життєдіяльності мікроорганізми цієї асоціації продукують органічні кислоти (глюконову, оцтову, молочну, койєву та ін.), вітаміни (С, В₂ та ін.), амінокислоти, ферменти та інші біологічно активні речовини [2,3].

Однією з проблем технології безалкогольних ферментованих напоїв є їх низька біологічна стійкість. Специфіка технології таких напоїв полягає у призупиненні процесу бродіння в певний момент при досягненні визначених фізико-хімічних показників. Непризупинена життєдіяльність мікроорганізмів призведе до появи осаду, утворенню ацетальгідів, складних ефірів, які надають сторонній смак і аромат готовому напою. Згідно державного стандарту, стійкість для непастеризованих ферментованих напоїв допускається не менше 7 діб, а для пастеризованих — не менше 30 діб [4]. Термічна обробка ферментованого напою може привести до зниження його біологічної цінності за рахунок втрати корисних речовин, а також до погіршення його якісних показників. Тому, дослідження та впровадження способів за рахунок дії різних фізичних факторів (електромагнітних полів та випромінювань) на мікроорганізми для підвищення біологічної стійкості ферментованих напоїв, є для науковців актуальними завданнями.

Метою даної роботи було дослідження впливу надвисокочастотної (НВЧ) обробки на розвиток мікроорганізмів змішаної культури з огляду підвищення біологічної стійкості ферментованого напою «чайний гриб».

Перевагами дії НВЧ-обробки є швидкість та простота у використанні, можливість безконтактно діяти, не погіршуючи якість напою [5]. Крім того, залежно від умов та характеристик НВЧ-оброблення, можливо досягнути потрібного інгібувального ефекту на розвиток мікроорганізмів при збереженні екологічної чистоти.

Як об'єкт досліджень використовували змішану культуру мікроорганізмів *Medusomyces gisevii* V, яка складається оцтовокислих бактерій *Acetobacter xylinum* V та дріжджів *Zygosaccharomyces fermentati* V. Співвідношення дріжджів та оцтовокислих бактерій асоціації *Medusomyces gisevii* V становить у середньому 1:100 [6].

НВЧ-обробку готового ферментованого напою «чайний гриб» проводили на установці «Артеміда» при потужності 3 кВт, частоті 2450 МГц. Тривалість опромінювання становила від 2 до 15 хвилин.

Ефективність обробки визначали шляхом висіву напою на селективні середовища для визначення загальної кількості мікроорганізмів — колоній утворюючих одиниць (КУО) в 1 см³, а також кількості мікроорганізмів за групами: оцтовокислі бактерії, дріжджі, плісняві гриби. Крім того, проводили витримку оброблених зразків за температури 30°C впродовж 16 діб, з періодичним контролем вмісту сухих речовин — рефрактометричним методом та величини титрованої кислотності — електрометричним титруванням напою. З метою визначення стійкості після НВЧ-обробки зразки напою витримували також за температури від 10 до 12°C. Стійкими при зберіганні вважалися зразки напою, органолептичні та фізико-хімічні показники яких залишалися незмінними або не перевищували допустимі норми (так, загальна кислотність напою вважалась прийнятною у межах від 2,5 до 4,5 см³ NaOH концентрацією 1 моль/дм³ на 100 дм³ напою).

Вплив НВЧ-опромінення на мікробіологічні показники напою наведено у таблиці.

Вплив НВЧ-обробки на мікробіологічні показники напою

Тривалість НВЧ-обробки, хв.	Загальна кількість мікроорганізмів, $n \times 10^2$ КУО/см ³	Оцтовокислі бактерії, $n \times 10^2$ КУО/см ³	Дріжджі, $n \times 10^2$ КУО/см ³	Плісняві гриби
0 (контроль без обробки)	300-350	300-350	3-5	Ріст відсутній
2	300-350	300-350	Ріст відсутній	Те ж
5	30-35	30-35	Те ж	Те ж
10	28-30	28-30	Те ж	Те ж
15	Ріст відсутній	Ріст відсутній	Те ж	Те ж

За даними таблиці видно, що НВЧ-обробка впродовж 5 та 10 хв. дала змогу майже в 10 разів по-

рівняно з контролем, знизити загальну кількість мікроорганізмів, зокрема, оцтовокислих бактерій, крім того практично повністю відсутній ріст дріжджів. Збільшення тривалості обробки до 15 хв. за визначених параметрів дало змогу досягти максимального ефекту НВЧ-обробки, тобто не було росту не тільки дріжджів, а й оцтовокислих бактерій. Крім того, після НВЧ-обробки спостерігали підвищення температури середовища: від 22 °С у контролі до 37 °С у варіанті обробки 10 хв., а потім до 45 °С у варіанті НВЧ-обробки 15 хв. За результатами досліджень встановлено, що за умов НВЧ-обробки впродовж 15 хв. відбувається повне інгібування росту мікроорганізмів *Medusomyces gisevii* V.

Непрямими показниками стабільності ферментованих напоїв є зміна титрованої кислотності та сухих речовин у процесі зберігання. Зміна фізико-хімічних показників ферментованого напою після НВЧ-оброблення при зберіганні його впродовж 16 діб наведено на рис. 1, 2.

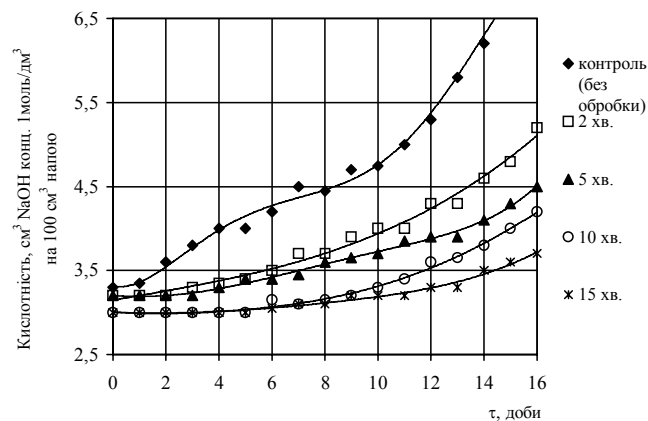


Рис. 1. Зміна титрованої кислотності

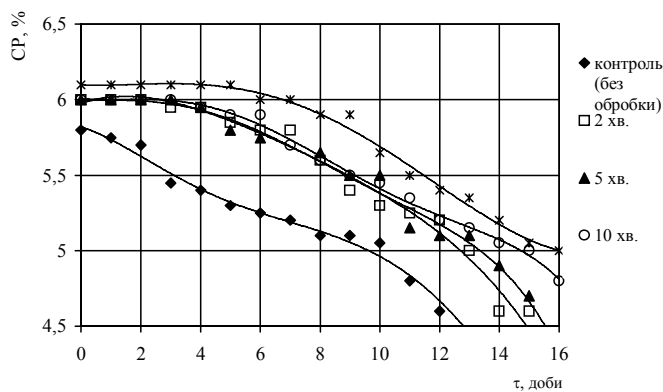


Рис. 2. Зміна вмісту сухих речовин (СР)

Встановлено, що при зберіганні зразків напою, які було оброблено НВЧ-опроміненням, процеси кислотоутворення та зниження СР в них, відбувається значно повільніше, порівняно з контролем, який не піддавали НВЧ-обробленню. Крім того, здвиг у бік утворення кислоти, що свідчить про життєдіяльність оцтовокислих бактерій, спостерігали не з другої — третьої доби як у контрольно-

му варіанті, а лише після шостої доби зберігання (в усіх варіантах НВЧ-обробки). Даний факт можна пояснити сумісною дією на мікроорганізми як НВЧ-поля, так і підвищеної температури, що супроводжує обробку.

Висновки. НВЧ-обробка ферментованого напою «чайний гриб» при потужності 3 кВт, частоті 2450 МГц впродовж 10-15 хв. дає змогу призупинити розвиток та життєдіяльність змішаної культури мікроорганізмів *Medusomyces gisevii* V, за рахунок чого біологічна стійкість напою підвищується до 16 діб, тобто у 2 рази перебільшує регламентовану стійкість для непастеризованих напоїв бродіння. Встановлено, що фізико-хімічні та органолептичні показники ферментованого напою «чайний гриб», який піддавали НВЧ-обробці за встановленими режимами, відповідають нормативним вимогам до якості готового напою.

1. *Лікарські рослини*: Енциклопедичний довідник / За ред. А.М.Гродзінського. — К.: Українська енциклопедія, 1992. — 544 с.
2. *Tietze Harald. Kombucha* — Miracle Fungus. — Gateway Books, UK, 1994.
3. *Gunther W. Frank. Kombucha. Mythos. Wahrheit. Faszination.* — Ennsthaler Verlag, A-4402 Steyr, 1999. — 159 S.
4. *ДСТУ 4069-2002 Напої безалкогольні*. Загальні технічні умови. — Введ. 01.10.2002. — Київ.: Держстандарт України, 2002.
5. *Филонова Г.Л., Урусова Л.М., Поляков В.А.* Влияние СВЧ-обработки на микрофлору концентратов из растительного сырья // *Хранение и переработка с/хоз. сырья.* — 1996. — №2.- С.37-38
6. *Патент 29795 України*, МКИ⁶ А 23 L 2/00, С 12 С 3/00. Асоціація мікроорганізмів *Medusomyces gisevii* V для одержання безалкогольних напоїв бродіння. / В.Л.Прибильський, В.А.Домарецький, О.П.Вітряк. — №97063367; Заявл. 27.06.1997; Опубл. 29.12.1999, Бюл.№8; 15.11.2000, Бюл. №6-II.

Одержана редколегією 24.03.09 р.

УДК 663.53.531

В.С. ЗУБЧЕНКО, кандидат фізико-математичних наук

Національний університет харчових технологій

Л.В. ТКАЧЕНКО, кандидат технічних наук,

Н.В. ПРОЦАН

Український науково-дослідний інститут спирту та біотехнології харчових продуктів

ЗМІНА МЕТАБОЛІЗМУ СПИРТОВИХ ДРІЖДЖІВ ПІД ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

*Досліджено вплив постійного магнітного поля на метаболізм спиртових дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* У-563, які використовують при зброджуванні цукровмісної сировини. Визначено оптимальні значення постійного магнітного поля і тривалість його дії для максимального накопичення сивушного масла.*

Ключові слова: дріжджі, магнітне поле, метаболізм, цукровмісна сировина, сивушне масло.

*Проведены исследования влияния постоянного магнитного поля на метаболизм спиртовых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* У-563, которые используют при сбраживании сахаросодержащего сырья. Определены оптимальные значения постоянного магнитного поля и длительность его действия для максимального накопления сивушного масла.*

Ключевые слова: дрожжи, магнитное поле, метаболизм, сахаросодержащее сырье, сивушное масло.

Дефіцит нафти в Україні, скорочення обсягів її видобування у світі, потребують пошуку нових джерел відновлюваної вуглеводневої сировини для виробництва моторного палива. З огляду на це до основного виду перспективної сировини можна віднести біоетанол [5].

Актуальною проблемою виробництва біоетанолу для використання цього продукту як добавки до бензинів є збільшення в біоетанолі вмісту вищих спиртів (сивушного масла), що дасть змогу збільшити стійкість сумішевих бензинів від розшаровування [6].

©В.С. Зубченко, Л.В.Ткаченко, Н.В. Процан, 2009 р.

Загальновідомо, що при спиртовому зброджуванні цукровмісної сировини, крім основних продуктів бродіння — етанолу та діоксиду вуглецю — завжди утворюються побічні продукти бродіння: гліцерин, альдегіди, вищі спирти (сивушне масло), органічні кислоти, ефіри [8]. Багатьма вченими було визначено кількісні параметри утворення вторинних продуктів бродіння. Показано, що кількість утворених побічних продуктів бродіння залежить від ряду факторів і, головним чином, від фізіологічних, технологічних особливостей та на-

прямку метаболізму дріжджів-продуцентів [4]. Тому пошуки та розробка нових способів зміни напрямку метаболізму продуцентів за допомогою різноманітних фізичних методів мають не тільки науковий інтерес, а й практичне значення.

Відомо, що одержання дріжджів, які мають кращу біохімічну активність, а саме більшу швидкість утворення вищих спиртів — це довготривалий, багатоступеневий селективний процес. Тому використання дії магнітного поля для підвищення біохімічної активності дріжджів у напрямку утворення сивушного масла є актуальною задачею.

Метою нашої роботи було визначення ефективності дії постійного магнітного поля на продуцент дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* штам У-563 для одержання етилового спирту з цукровмісної сировини, і добір оптимальної дози для підвищення біохімічної активності у бік збільшення метаболізму утворення сивушного масла.

Об'єктом досліджень був промисловий штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* У-563 — триплоїдний гібридний штам дріжджів, який має підвищену генеративну активність, отриманий шляхом схрещування осмофільного спиртового штаму *Saccharomyces cerevisiae* III-1 і хлібопекарського штаму *Saccharomyces cerevisiae* 2-10, який повністю зброджує рафінозу. Від диплоїда гібрид набув осмофільності, спиргостійкості і властивості інтенсивно зброджувати концентровані розчини меляси 24-26% СР з накопиченням спирту в бражці до 10,5 об.% і отриманням пресованих дріжджів підвищеної якості [4]. Величина клітин дводобової культури на солодовому суслі концентрацією 8% сухих речовин (СР) 6,5-7,0 x 8,0-8,2 мкм. Об'єм клітин 221,17 мкм³. Форма клітин переважає яйцевидна, вегетативне розмноження — брунькуванням. Дріжджі засвоюють глюкозу, галактозу, сахарозу, мальтозу, етанол, гліцерин, оцтову і молочну кислоти. Штам *Saccharomyces cerevisiae* У-563 використовують при виробництві біоетанолу з цукровмісної сировини [9].

Обробленню постійним магнітним полем піддавали пробірки з 20 см³ добової культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* У-563, яку культивували за температури 30 °С впродовж 24 год. на стерильному мелясному суслі з масовою часткою СР 24 % з додаванням 5% сивушного масла.

Пробірки з добовою культурою дріжджів поміщали у камеру, де підтримували постійне магнітне поле, напруженість якого змінювали від 20 до 100 кА/м. Тривалість перебування пробірок з дріжджовими клітинами у постійному магнітному полі становила від 5 до 30 хв. Контролем були пробірки з дріжджами, що вирощували на аналогічному мелясному середовищі з додаванням сивушного масла, які не піддавали дії постійного магнітного поля.

Для вирощування дріжджів і подальшого спиртового зброджування як сировину використовували цукробурякову мелясу, яка мала показники, що

відповідають вимогам ДСТУ 3696-98 [2]. З меляси готували сусло з масовою часткою СР 24 %, підкислювали його сірчаною кислотою до величини рН на рівні 5,2 та збагачували азотним і фосфорним живленням, за нормами прийнятими в спиртовій галузі. Дослідження здійснювали в лабораторних умовах за методом «бродильної проби» [3]. Кількість засівних дріжджів була однаковою для усіх варіантів і становила 20 %. Досліди для кожного варіанту оброблення дріжджів проводили в трьох повторностях. Зброджування сусла, яке засівали дріжджами за різними варіантами оброблення, проводили впродовж 72 год. за температури 30 °С.

Показники дозрілої бражки визначали за методиками, що використовуються у практиці спиртового виробництва [1,3], а саме: видиму густину сухих речовин (СР) — ареометричним методом, величину рН — потенціометричним методом, величину кислотності — електрометричним титруванням, кількість незбродженого цукру — за колориметричним методом з резорцином [7], біомасу дріжджів ваговим методом з перерахунком на 75 % вологість [1]. В бражних дистилатах визначали концентрацію етилового спирту ареометричним методом [9]. Вміст сивушного масла в бражних дистилатах визначали за реакцією з розчином парадиметил-амінобензальдегіду в сірчаній кислоті [3].

Показники дозрілої бражки, одержаної при зброджуванні дріжджами, які було оброблено магнітним полем напруженістю 1,5·10⁵ А/м впродовж 5, 10, 20 та 30 хв. у порівнянні з контролем, наведено у таблиці.

Показники дозрілої бражки одержаної після зброджування дріжджами, обробленими постійним магнітним полем

Показники	Контроль без обробки	Варіанти оброблення дріжджів магнітним полем			
		5 хв.	10 хв.	20 хв.	30 хв.
Видима густина, % СР	6,6	6,6	6,5	6,4	6,5
рН середовища	5,02	5,01	5,02	5,03	5,01
Кислотність, град	0,65	0,66	0,65	0,66	0,68
Концентрація спирту, об. %	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
Вміст незброджених цукрів, %	0,218	0,216	0,213	0,211	0,212
Біомаса дріжджів 75% вологості, г/дм ³	24,6	24,8	25,3	28,8	28,6
Вміст сивушного масла, г/дм ³ а.а.	5,14	5,28	5,82	6,38	6,32

З одержаних даних видно, що при використанні для зброджування мелясного сусла дріжджів, які було оброблено магнітним полем, у дозрілій бражці спостерігається пряма залежність накопичення сивушного масла від тривалості оброблення. При збільшенні тривалості обробки до 20 хв. та 30 хв. кількість сивушного масла зростає, відповідно, до

6,38 та 6,32 г/дм³ а.а. (при цьому у контролі кількість сивушного масла становить 5,14 г/дм³ а.а.). Зміна напрямку метаболізму дріжджів, які піддавали обробленню магнітним полем впродовж 20 та 30 хв., на утворення сивушного масла, підтверджується і збільшенням накопичення біомаси дріжджів до 28,8 та 28,6 г/дм³, відповідно, що на 16,3 — 17,1 % більше, ніж в контролі. При цьому усі інші показники дозрілої бражки: видима густина, значення рН, кислотність, концентрація етилового спирту, вміст незброджених цукрів, знаходяться на рівні контрольного варіанту.

З метою встановлення збереження придбаних властивостей накопичення сивушного масла дріжджами, які піддавали дії постійного магнітного поля впродовж 20 та 30 хв., було проведено п'ять послідовних пасажувань дріжджів з наступним зброжуванням та визначанням вмісту сивушного масла у дозрілій бражці. Результати проведених досліджень наведено на рисунку 1.

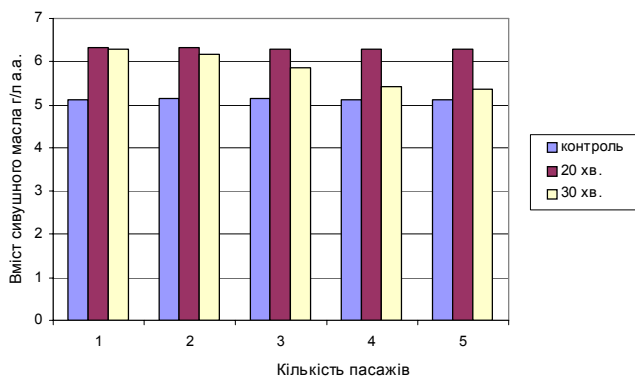


Рис. 1. Динаміка накопичення сивушного масла від кількості пасажів дріжджів

У результаті проведених досліджень визначено, що дріжджі, які було оброблено магнітним полем впродовж 20 хв., і після п'яти пасажувань зберігали здатність накопичувати збільшену кількість сивушного масла у порівнянні з контрольною культурою дріжджів, яку не піддавали дії постійного магнітного поля. Також встановлено, що у дріжджів, які було оброблено магнітним полем впродовж 30 хв., уже після 3-го пасажування кількість сивушного масла у дозрілій бражці зменшувалась майже до значень контрольного варіанту.

Таким чином, експериментально встановлено оптимальні значення постійного магнітного поля (напруженість $1,5 \cdot 10^5$ А/м при тривалості 20 хв.), на штамі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* У-563, за якими досягається максимальний ефект збільшення накопичення сивушного масла на 17 % ніж у контрольному варіанті. Досягнутий ефект зберігається впродовж п'яти послідовних пасажувань дріжджів. Зміну напрямку метаболізму дріжджів у бік збільшення накопичення сивушного масла можна пояснити тим, що під час дії постійного магнітного поля збільшується активність ферментних систем

дріжджів. Подальше збільшення тривалості оброблення до 30 хв., мабуть, призводять до більш глибоких змін у дріжджовій клітині, що призводить до погіршення біохімічної активності дріжджів, хоча продуктивність їх за накопиченням біомаси залишається на рівні контролю.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлено, що оброблення штаму спиртових дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* У-563 постійним магнітним полем напруженістю $1,5 \cdot 10^5$ А/м впродовж 20 хв., дає можливість збільшити накопичення сивушного масла на 17 % у порівнянні з вихідною культурою. При цьому усі інші показники дозрілої бражки, крім біомаси дріжджів, залишаються на рівні контролю.

Встановлено, що за оптимального значення дії постійного магнітного поля, здатність даного штаму дріжджів накопичувати збільшену кількість сивушного масла зберігається впродовж п'яти пасажувань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Великая Е.М., Суходол В.Ф. Лабораторный практикум по общей технологии бродильных производств. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. — 312с.
2. ДСТУ 3696-98 (ГОСТ 30561-98). Меляса бурякова. Технічні умови. — Київ: Держстандарт України. — 21 с.
3. Инструкция по химико-технологическому и микробиологическому контролю комплексной переработки мелассы на спирт и другие продукты. — М.: Агропромиздат, 1986. — 220с.
4. Коновалов С.А. Биохимия дрожжей. — М.: Пищевая пром-ть, 1980. — С.271.
5. Лавров Є. Паливо майбутнього // Харчова і переробна промисловість. — 2004. — №12. — С.4–6.
6. Онощенко С.Н. Применение оксигенатов при производстве перспективных автомобильных бензинов. — К.: Техника, 2003. — С.63.
7. СОУ15.9-37-240:2005. Сировина цукровмісна для виробництва спирту етилового зброджена. Метод визначення незброджених цукрів, що не зброжені.
8. Технологія спирту / Під ред. проф. В.О. Маринченко. — Вінниця: Поділля. — 2000. — 2003. — С.496.
9. Типовий технологічний регламент одержання мелясно-спиртової бражки і пресованих хлібопекарських дріжджів: ТТР № 000 32744-3508-2005; Затв. Держ деп. Продовольства 20.09.05. — К., 2005. — 245 с.

Одержана редколегією 31.03.09 р.

УДК 665

В.И. БУЧЕК, здобувач**В.К. ТИМЧЕНКО**, кандидат технічних наук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГІДРОГЕНІЗАЦІЇ ПАЛЬМОВОЇ ОЛІЇ ТА ПАЛЬМОВОГО ОЛЕЇНУ

Запропоновано технологію гідрогенізації пальмової олії, пальмового олеїну та їх сумішей в умовах вітчизняного виробництва

Ключові слова: гідрування, пальмова олія, пальмовий олеїн, метод насичення, технологічні параметри, активність каталізатору, харчові саломаси

Предложена технология гидрогенизации пальмового масла, пальмового олеина, их смесей в условиях отечественного производства

Ключевые слова: гидрирование, пальмовое масло, пальмовый олеин, метод насыщения, технологические параметры, активность катализатора, пищевые саломасы.

Об'єкт дослідження — процес гідрування пальмової олії та пальмового олеїну.

Предмет дослідження — пальмова олія; пальмовий олеїн; технологічні параметри гідрування; фізико-механічні властивості та структурні особливості гідрованих жирів (саломасів).

Світове виробництво пальмової олії почало бурхливо зростати в кінці 60-х років минулого століття та помітно збільшувалось за останні 35-40 років у середньому на 8% за рік. У теперішній час пальмова олія посідає друге місце у світі за обсягами виробництва та перше — за обсягами продаж. Темпі зростання виробництва пальмової олії і зараз перевищують аналогічні показники інших рослинних олій. Протягом 2000-2004 р.р. імпорт пальмової олії в Україну зріс на 400%, тому вона є другою за рівнем споживання після соняшникової олії [1].

На цей час ціна на сиру пальмову олію складає приблизно 7000 грн./т, пальмового олеїну та пальмового стеарину — 7200-7300 грн./т. Аналітики прогнозують подальший зріст цін на пальмову олію та її фракції у зв'язку зі збільшенням вивозу олій до Китаю, який є найкрупнішим світовим імпортером рослинних олій.

Пальмова олія імпортується в Україну в сирому вигляді (3%), як рідкі фракції (пальмовий олеїн та суперолеїн) — 71% та тверді фракції (пальмовий стеарин та стеарин м'який — «середня» фракція — 26% [2].

Якісні показники цих продуктів підпорядковані дії національних стандартів України — ДСТУ 4306, ДСТУ 4438, ДСТУ 4439. [3,4,5].

Сучасні дослідження в галузі харчування, акцентовані на шкідливості транс-ізомерів жирних кислот (ТІЖК) для здоров'я людини та недовіра спо-

живачів до генетично модифікованих організмів (ГМО) виявили нові, досить суттєві переваги пальмової олії. Так, теоретично можливо виробляти маргарин та шортенінги (кондитерські жири) без ТІЖК з пальмової олії шляхом «глибокої» (повної) гідрогенізації та наступної переетерифікації її з рослинними оліями.

У США зараз здійснюються масштабні наукові дослідження з метою виробництва гідрованих рослинних олій з низьким вмістом транс-ізомерів. Основний метод передбачає використання високого тиску та благородних металів як каталізаторів. Проте поки що цей метод є дуже затратним і неефективним. Також у США досліджується ще один революційний процес гідрогенізації але його досі не запатентовано, тому відповідних публікацій практично немає [1].

Таким чином, наукові дослідження, спрямовані на виявлення закономірностей гідрування пальмової олії та пальмового олеїну з метою одержання вітчизняних харчових саломасів широкого спектру призначення є актуальною науково-технічною задачею.

Передові підприємства олієжирової галузі України — Одеський ОЖК, Запорізький ОЖК та Вінницький ОЖК, завод модифікованих жирів (м. Кіровоград) в різній мірі оподатковували процес переробки пальмової олії та її фракцій. Паралельно з цим процесом у заводських лабораторіях, які добре улаштовані сучасними приладами, здійснюються наукові дослідження процесів гідрогенізації та переетерифікації.

Слід відмітити, що на відміну від традиційної для вітчизняних гідрозаводів технологічної схеми гідрування рослинних олій із зовнішньою циркуляцією водню, на зазначених вище підприємствах,

© В.И. Бучек, В.К. Тимченко, 2009 р.

експлуатується схема насичення під тиском водню [6,7].

Особливості складу та фізико-хімічних властивостей пальмової олії та пальмового олеїну, а саме — низьке йодне число, незначний вміст поліненасичених жирних кислот, висока точки плавлення (для пальмової олії) ускладнюють процес гідрогенізації і обмежують можливості створення всього асортименту марок харчових саломасів, передбачених діючим нормативним документом [8].

Так, під час виробництва саломасів марок (М5-М6) як з пальмової олії, так і з пальмового олеїну не виникає жодних проблем. У промислових експериментах гідрування проводилось за таких умов: початкова температура 175-190 °С, тиск водню 0,15-0,3 МПа, кількість каталізатору — 0,4% від маси сировини. Як каталізатори використовували високоактивні нікелеві каталізатори Pricat 9908, Nissosel N-222 або їх суміш. Гідровані жири (саломаси) оцінювали за температурою плавлення ($T_{пл}$, °С), твердістю за Камінським та вмістом твердого жиру за температури 20 °С (ТГЦ, %). Результати виконаних експериментальних досліджень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні та структурні властивості початкової сировини та гідрованих жирів марок М5-М6

Початкова сировина			Гідрований жир			
Вид	Тпл., °С	ТГЦ при 200 °С, %	Марка саломасу	Тпл., °С	ТГЦ при 20 °С, %	Твердість, г/см
Пальмовий олеїн	21,0	0,75	М5	44,5	77,88	більше 800
	21,0	0,75	М5	45,0	75,51	більше 800
	21,0	0,75	М5	44,5	77,50	більше 800
	20,5	0,73	М6	53,0	97,91	більше 800
	20,5	0,73	М6	53,2	98,29	більше 800
	20,5	0,73	М6	53,5	98,84	більше 800
Пальмова олія	34,0	19,51	М5	42,5	78,68	більше 800
	34,5	19,72	М5	43,0	79,41	більше 800
	34,0	19,38	М5	42,5	78,52	більше 800
	35,0	20,51	М6	54,0	99,77	більше 800
	35,0	20,48	М6	53,2	98,29	більше 800
	35,0	20,12	М6	53,0	97,88	більше 800

Слід також відмітити, що аналогічних результатів можна досягнути і у випадку гідрування за старою схемою з циркуляційною подачею водню. Але в даному випадку витрата водню для досягнення бажаних показників саломасів є значно меншою, тому продукт гідрування пальмової олії чи пальмового олеїну має меншу виробничу вартість.

Під час виробництва саломасів М1-М3 з пальмової олії чи пальмового олеїну виникає ряд труднощів. З-за невеликої кількості водню, необхідного для збільшення температури плавлення з 20-24 °С (початкова сировина) до 32-36 °С та відносно малої швидкості ізомеризації олеїнової кислоти процес

гідрогенізації потрібно проводити з визначеною невеликою швидкістю та достатньо точним контролем водню, що приєднується.

Дослідженнями Всеросійського науково-дослідного інституту жирів [9], виявлено, що оскільки в пальмовій олії та пальмовому олеїні незначний вміст лінолевої кислоти (9,0-11,0 та 10,0-13,0% відповідно), то кількість транс-ізомерів буде невеликою. Для підвищення твердості такого саломасу без суттєвої зміни вмісту насичених кислот процес гідрогенізації потрібно здійснювати за участю малоактивних каталізаторів.

В наших дослідженнях саломаси марок М1-М2 були одержані з пальмового олеїну (температура плавлення 19,5-21,5 °С) при використанні пасивованих сіркою каталізаторів типу SP-10 або Pricat 9908. Концентрація каталізаторів (по нікелю) складала 0,02-0,05%, початкова температура процесу 170-190 °С, тиск водню 0,05-0,15 МПа, швидкість подачі водню 20-35 м³/год, термін процесу — 2-2,5 год. процес гідрогенізації закінчували так званім «водневим голоданням» за умови зниженої інтенсивності перемішування протягом останніх 0,5-1 год.

Характеристику початкової сировини (пальмового олеїну) та гідрованих жирів (саломасів М1-М2) наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-механічні та структурні властивості пальмового олеїна та саломасів марок М1-М2

Початкова сировина			Гідрований жир			
Вид	Тпл., °С	ТГЦ при 20 °С, %	Марка саломасу	Тпл., °С	ТГЦ при 20 °С, %	Твердість, г/см
Пальмовий олеїн	21,0	0,39	М1	32,5	33,15	230
	21,5	0,74	М1	33,0	34,84	235
	20,0	0,92	М1	32,5	35,38	245
	20,0	0,73	М2	35	44,25	340
	21,0	0,75	М2	35	44,11	340
	19,5	0,85	М2	34,5	43,35	320

Для одержання саломасів М3-1 та М3-2 використовували пальмовий олеїн або його суміш з пальмовою олією. Температура початку реакції гідрогенізації повинна бути не меншою ніж 185-190 °С, концентрація каталізатору Pricat 9908 не вище 0,1-0,2% (за масою), причому доцільно використати оборотний багаторазовий каталізатор. Термін процесу гідрогенізації в цьому випадку збільшується до 3-3,5 год, швидкість регулюється інтенсивністю перемішування. Результати виробничого експерименту наведено в табл. 3.

Саломаси марок М1-М3 з різними фізико-механічними та структурними властивостями, а значить широкого спектру застосування ще краще одержувати шляхом гідрування суміші пальмової олії (пальмового олеїну) з соєю, соняшниковою та іншими рослинними оліями, що містять значні

кількості ацилгліцеринів лінолевої та ліноленової кислот [9]. Це підтверджено низкою експериментів, результати яких наведено в табл.4.

Таблиця 3

**Фізико-механічні та структурні властивості
початкової сировини та саломасів
марок М3-1, М3-2**

Початкова сировина			Гідрований жир			
Вид	Тпл., °С	ТГЦ при 20 °С, %	Марка саломасу	Тпл., °С	ТГЦ при 20 °С, %	твердість, г/см
Пальмовий олеїн	20,0	0,92	М3-1	36,5	62,30	700
	19,5	0,85	М3-1	36,0	61,92	700
	20,0	0,95	М3-1	36,3	62,00	700
	20,0	0,73	М3-2	35,5	48,20	410
	19,5	0,73	М3-2	35,5	30,60	400
	20,5	0,70	М3-2	35,0	35,70	400
Пальмова олія: паль- мовий олеїн (20:80)	29,6	9,52	М3-2	36,0	52,87	430
	29,5	9,40	М3-2	36,0	53,11	430
	29,1	9,31	М3-2	35,5	52,75	410
	29,0	8,81,	М2	35,8	44,20	350
	29,0	8,78	М2	35,5	43,78	320
	29,4	9,02	М2	35,0	45,15	370
Пальмова олія: паль- мовий олеїн (10:90)	18,0	4,71	М3-2	36,5	49,98	380
	18,0	4,75	М3-2	36,5	55,48	450
	18,0	4,82	М3-2	36,0	46,48	420

Таблиця 4

**Фізико-механічні та структурні властивості
саломасів при гідруванні сумішей пальмової олії
(пальмового олеїну) із соняшниковою олією**

Початкова сировина			Гідрований жир			
Вид	Тпл., °С	ТГЦ при 20 °С, %	Марка саломасу	Тпл., °С	ТГЦ при 20 °С, %	твердість, г/см
Пальмова олія: соняш- никова олія (30:70)	24,0	9,50	М3-2	36,5	58,69	490
	24,0	9,62	М3-2	36,5	60,44	550
	24,0	9,75	М3-2	36,0	59,71	500
Пальмовий олеїн: соняш- никова олія (50:50)	16,0	4,51	М1	34,0	32,50	180
	16,0	4,62	М1	31,5	30,20	160
	16,0	4,50	М1	32,5	31,50	170
	16,0	4,68	М2	35,0	43,30	300
	16,0	4,60	М2	35,0	44,10	330
	16,0	4,58	М2	34,5	42,50	310

Технологічні параметри наведеного експерименту такі: початкова температура гідрування — 180-190 °С; кількість каталізатору — 0,48-0,56% від маси початкової суміші, тиск водню — 0,15-0,25 МПа. Для гідрування суміші пальмової та соняшникової олії використано суміш каталізаторів Pricat 9908 (0,4%) та Nissosel N222 (0,12%). Під час одержання саломасу марки М1 з суміші пальмовий олеїн: соняшниково олія (50:50) як каталізатор використано суміш SP-10 (0,4%) та Nissosel N222 (0,16%), для саломасу марки М2 задіяно ті ж каталізатори, але кількість Nissosel N222 була знижена до 0,08%.

Висновки. На підставі узагальнення теоретичних положень та результатів наукових досліджень вирішено важливу науково-технічну задачу одержання харчових саломасів різних марок з пальмового олії та пальмового олеїну в умовах вітчизняного виробництва. Виявлено, що високотитрові саломаси марок М5-М6 (температури плавлення відповідно 42-45 і не нижче 53 °С) одержують з пальмової олії (пальмового олеїну) за таких технологічних параметрів: початкова температура гідрування — 175-190 °С, тиск водню 0,15-0,3 МПа, кількість високоактивного нікелевого каталізатору (Pricat 9908, Nissosel N222) — 0,4%. Встановлено, що низькоплавкі саломаси (T_{пл.} = 32-36 °С) марок М1-М2 доцільно одержувати з пальмового олеїну у м'яких умовах гідрування: початкова температура 170-190 °С, тиск водню 0,05-0,15 МПа при контрольованій не великій швидкості його подачі не вище 20-35 м³/год та досить тривалому терміні — 2-2,5 год. в умовах «водневого» голодання наприкінці процесу; каталізатор малоактивний — пасивований сіркою нікелевий каталізатор типу SP-10 або Pricat 9908. Виявлено, що середньоплавкі саломаси (температура плавлення 35-37 °С) марок М3-1 та М3-2 доцільно одержувати при гідруванні пальмового олеїну або його суміші з пальмовою олією за умов підвищення початкової температури гідрування (не менше 185-190 °С), незначної витрати оборотного каталізатору Pricat 9908 (0,1-0,2%) та збільшеному до 3-3,5 год. терміні процесу. Встановлено, що низькоплавкі та середньоплавкі саломаси із заданими фізико-хімічними властивостями (T_{пл.}, твердість за Камінським) та структурними особливостями (вміст твердого жиру при 20 °С) слід одержувати шляхом гідрування сумішей пальмової олії (пальмового олеїні) із соняшниковою олією.

ЛІТЕРАТУРА

1. Франк Панзарис. Свойства и возможности использования пальмового масла: сб. докладов 3-ей междунар. конф. [«Масложировая промышленность: состояние, перспектива, технологии», (Киев, 23-24 ноября 2004г.)] — Киев, 2004. — С.79-82.
2. Г. Садовничий. Пальмовое масло. Особенности его применения в масложировой промышленности Украины: сб. докладов 2-ой междунар. конф. [«Масложировая промышленность Украины: перспективы, инвестиции, технологии»], (Киев, ноябрь, 2003г. — Киев, 2003. — С.51-54.
3. ДСТУ 4306 : 2004 Олія пальмова. Загальні технічні умови. — Київ : Держспоживстандарт України, 2005. — 13 с.
4. ДСТУ 4438 : 2005. Олії пальмові. Загальні технічні умови. — Київ, Держспоживстандарт України, 2006. — 17 с.
5. ДСТУ 4439 : 2005. Стеарин пальмовий. Загальні технічні умови. — Київ : Держспоживстандарт України, 2006. — 26 с.
6. Технология переработки жиров: учебник для вузов / [Н.С. Арутюнян, Е.П. Корнева, Л.И. Янова и др.]: под ред. Н.С. Арутюняна. — [2-е изд.] — М.: Пищепромиздат, 1998. — 452 с.
7. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / Под ред. А.Г. Сергеева,

Н.Л.Меламуда, Р.Л.Перкеля и др. — Л.: ВНИИЖ, 1985. — т.3. кн.1. — 286с.

8.СОУ 15.4-37-209 : 2004. Саломаси нерафіновані та рафіновані. Технічні умови. — Київ: Мінагрополітики України, 2004. — 25 с.

9. Рабинович Л.М. Химическая модификация пальмового масла /Леонид Рабинович. — СПб: ГИОРД, 2002. — 205с.

Одержано редколегією 23.05.09

УДК 664:006.032ISO;006.034

Ф.В. ГРИЩЕНКО, кандидат військових наук
Державне підприємство «Український науково-дослідний
і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості»

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ: ЗОВНІШНЄ ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ РОЗВИТКУ НАЦІОНАЛЬНОЇ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ

Проведено порівняння кількісних показників розвитку національної нормативної бази у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості із аналогічними показниками міжнародної, виявлено основні її відмінності, сформульовано висновки та визначено практичні пропозиції стосовно прискорення гармонізації національної нормативної бази із міжнародною.

Ключові слова: харчова промисловість, технологічний процес, нормативна база, нормативний документ, стандарт, безпечність харчових продуктів, система управління безпечністю харчових продуктів.

Выполнено сравнение количественных показателей развития национальной нормативной базы в области технологические процессы в пищевой промышленности с аналогичными показателями международной, выявлено основные ее отличия, сформулированы выводы и определены практические предложения относительно ускорения гармонизации национальной нормативной базы с международной.

Ключевые слова: пищевая промышленность, технологический процесс, нормативная база, нормативный документ, стандарт, безопасность пищевых продуктов, система менеджмента безопасности пищевых продуктов.

Розв'язання ключової проблеми гармонізації національної нормативної бази у сфері стандартизації із міжнародною [1–2], зокрема у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості, неможливе без критичного кількісного аналізу міжнародної і національної нормативних баз та порівняння показників їхнього розвитку.

У статті [3] проаналізовано міжнародну і національну нормативні бази у сфері технологія виробництва харчових продуктів на рівні груп нормативних документів (НД), порівняно їхній сучасний стан, сформульовано висновки та визначено перспективи подальших досліджень у цьому напрямі. Однак зовнішнього порівняльного аналізу розвитку національної нормативної бази у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості, як однієї із найважливіших складових частин нормативної бази з технології виробництва харчових продуктів, із міжнародною до цих пір не було проведено.

Мета статті — за використанням запропонованих кількісних показників порівняти сучасний стан розвитку національної нормативної бази у

сфері технології виробництва харчових продуктів із міжнародною, виявити основні її відмінності, сформулювати висновки та визначити практичні пропозиції стосовно прискорення гармонізації національної нормативної бази із міжнародною.

Аналіз чинних міжнародних нормативних документів. Станом на 01.01.2009 р. група 67.020 «Технологічні процеси в харчовій промисловості» (*Processes in the food industry*) класу 67 «Технологія виробництва харчових продуктів» (*Food technology*) містить дев'ять чинних міжнародних НД (табл. 1), із них [4]:

— стандартів Міжнародної організації зі стандартизації (*International Organization for Standardization, ISO*) — 4;

— стандартів *ISO/Американське товариство з випробовувань і матеріалів* (*American Society for Testing and Materials, ASTM*) — 3;

— технічних умов, *ТУ* (*Technical Specification, TS*) — 2.

Усі зазначені НД розроблені трьома міжнародними технічними комітетами (*Technical committee, TC*):

Таблиця 1

Чинні міжнародні нормативні документи

Позначка та назва НД	Поточна стадія	Номер ТС
ISO 8086:2004. Dairy plant — Hygiene conditions — General guidance on inspection and sampling procedures Молочний завод — Гігієнічні умови — Загальні керівні вказівки стосовно процедур інспекції та відбору проб (зразків)	90.93 Підтверджено чинність міжнародного стандарту	ТС 34/SC 5
ISO 15161:2001. Guidelines on the application of ISO 9001:2000 for the food and drink industry Керівні принципи стосовно застосування ISO 9001:2000 в харчовій промисловості та напоях	Те ж	ТС 34
ISO 21469:2006. Safety of machinery — Lubricants with incidental product contact — Hygiene requirements Безпека машинного устаткування — Мاستила у випадковому контакті з продуктом — Гігієнічні вимоги	90.20 Міжнародний стандарт перевіряється	ТС 199
ISO 22000:2005. Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain Системи управління безпечністю харчових продуктів — Вимоги до організації у ланцюзі постачання харчових продуктів	90.60 Відправлено підсумки перевірки	ТС 34
ISO 22000:2005/Cor 1:2006	60.60 Міжнародний стандарт опубліковано	ТС 34
ISO/TS 22003:2007. Food safety management systems — Requirements for bodies providing audit and certification of food safety management systems Системи управління безпечністю харчових продуктів — Вимоги до органів, що виконують аудит і сертифікацію систем управління безпечністю харчових продуктів	Те ж	ТС 34
ISO/TS 22004:2005. Food safety management systems — Guidance on the application of ISO 22000:2005 Системи управління безпечністю харчових продуктів — Настава щодо застосування ISO 22000:2005	90.60 Відправлено підсумки перевірки	ТС 34
ISO/ASTM 51204:2004. Practice for dosimetry in gamma irradiation facilities for food processing Практика стосовно дозиметрії у гамма випромінюваному устаткуванні для харчової і переробної промисловості	Те ж	ТС 85
ISO/ASTM 51431:2005. Practice for dosimetry in electron beam and X-ray (bremsstrahlung) irradiation facilities for food processing Практика стосовно дозиметрії у електронно-променевому та рентгенодіагностичному (гальмувальному) випромінюваному устаткуванні для харчової і переробної промисловості	Те ж	ТС 85
ISO/ASTM 51900:2002. Guide for dosimetry in radiation research on food and agricultural products Настава стосовно дозиметрії у радіаційних дослідженнях щодо продовольчої та сільськогосподарської продукції	90.92 Міжнародний стандарт підлягає перегляду	ТС 85

Скорочення: *Cor* (Technical Corrigendum) — технічна поправка к НД, *SC* (Subcommittee) — міжнародний підкомітет

ТС 34 «Харчові продукти» (*Food products*), ТС 85 «Ядерна енергія» (*Nuclear energy*) і ТС 199 «Безпека машинного устаткування» (*Safety of machinery*).

Аналізуючи дані про чинні міжнародні НД за 2001—2008 роки (див. табл. 1), можна відзначити, що:

- шість з дев'яти НД розроблено *ISO* самостійно, а решта — *ISO* та *ASTM* спільно;
- упродовж двох років (2003 р. і 2008 р.) не було опубліковано жодного нового міжнародного НД;
- базисний абсолютний приріст (збільшення або зменшення загальної кількості НД за певний період часу) складає дев'ять НД, а середній абсолютний приріст (відношення базисного абсолютного приросту до загальної кількості років — середньоарифметичне значення) приблизно — 1,13 НД;
- коефіцієнт оновлення (відношення кількості НД, прийнятих за певний період часу, до їх за-

гальної кількості на кінець періоду) міжнародних НД за 2006—2008 роки приблизно становить 0,22;

— коефіцієнт скасування міжнародних НД (відношення кількості НД, скасованих за певний період часу, до їхньої загальної кількості на кінець періоду) дорівнює 0 [4];

— частка НД *ISO* серії 22000 (3 шт.) від загальної кількості міжнародних НД (9 шт.) приблизно становить 33,3 %;

— частка міжнародних НД (6 шт.), які підлягають перевірці (чи перегляданню) або перебувають у цьому процесі, від загальної кількості міжнародних НД (9 шт.) приблизно складає 66,7 %;

— частка ТУ (2 шт.) від загальної кількості міжнародних НД (9 шт.) приблизно становить 22,2 %.

Аналіз чинних національних стандартів України. Станом на 01.01.2009 р. група 67.020 «Тех-

нологічні процеси в харчовій промисловості» класу 67 «Технологія виробництва харчових продуктів» містить 21 чинний національний стандарт України [5] (табл. 2), із них:

Таблиця 2

Чинні національні стандарти України

Позначка	Назва
ДСТУ 1451—96	Камінь вапняковий для цукрової промисловості. Технічні умови. — На заміну РСТ УССР 1451-90
РСТ УССР 1922—82	Яблука свіжі. Технологія зберігання в контейнерах
ДСТУ 2079—92	Соління і квашення. Технологічні процеси. Терміни та визначення
ДСТУ 2120—93	Хлібопекарське виробництво. Терміни та визначення
ДСТУ 2163—93	Виноробство. Терміни та визначення (в частині термінів 11, 25, 169, 170, 171, 175, 176, 179, 182, 187, 188, 189, 190, 202, 206 замінено на ДСТУ ISO 3835-1:2006, ДСТУ ISO 3835-2:2006, ДСТУ ISO 3835-3:2006, ДСТУ ISO 3835-4:2006)
ДСТУ 2208—93	Чайна промисловість. Терміни та визначення
ДСТУ 2333—93	Гідрогенізація рослинних олій, жирів та жирних кислот. Терміни та визначення
ДСТУ 2423—94	Олії рослинні. Виробництво. Терміни та визначення
ДСТУ 2630:2007	Технологічні процеси в кондитерській промисловості. Терміни та визначення понять. — На заміну ДСТУ 2630-94
ДСТУ 2849—94	Яблука свіжі. Технологія зберігання у холодильних камерах
ДСТУ 3001—95	Виробництво маргарину. Терміни та визначення
ДСТУ 3139—95	Пивоварство. Терміни та визначення
ДСТУ 3296—95	Виробництво етилового спирту з харчової сировини. Терміни та визначення
ДСТУ 3297—95	Лікєро-горілка промисловість. Терміни та визначення понять
ДСТУ 3747—98	Сіль кухонна. Виробництво. Терміни та визначення
ДСТУ 4161—2003	Системи управління безпекою харчових продуктів. Вимоги
ДСТУ 4422:2005	Молочна промисловість. Виробництво масла. Терміни та визначення понять
ДСТУ 4424:2005	М'ясна промисловість. Виробництво м'ясних продуктів. Терміни та визначення понять
ДСТУ 4657:2006	Дріжджі хлібопекарські. Виробництво. Терміни та визначення понять
ДСТУ 5072:2008	Сировина цукровмісна для спиртового виробництва. Біологічний метод визначення цукру
ДСТУ ISO 22000:2005	Системи управління безпекою харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга (ISO 22000:2005, IDT)

– ДСТУ, національні стандарти, затверджені Держспоживстандартом України — 19;

– РСТ УССР, республіканські стандарти колишньої УССР, затверджені Держпланом чи Міністерством економіки України до 1 серпня 1991 р. — 1;

– ДСТУ ISO, національні стандарти, через які впроваджено стандарти ISO — 1.

Перелічені вище національні стандарти України розроблено суб'єктами стандартизації, що мають для цього відповідний науково-технічний потенціал, зокрема Міністерством сільського господарства та продовольства України, Інститутом винограду і вина «Магарач», Державним науково-промисловим підприємством «Плодвинконсерв», Українським науково-дослідним інститутом напоїв, Українським науково-дослідним інститутом спирту і біотехнології продовольчих товарів тощо. (Примітка. Назви суб'єктів стандартизації взято із чинних національних стандартів без зміни).

Аналізування національних стандартів буде проводити за той же проміжок часу і за ті ж самими кількісними показниками, які використовувалися під час аналізування міжнародних НД. Це дасть змогу коректно провести порівняльний аналіз кількісних показників розвитку національної нормативної бази із аналогічними показниками розвитку міжнародної.

Аналіз даних про чинні національні стандарти, котрі було опубліковано протягом 2001—2008 років (див. табл. 2), свідчить, що:

– шість з семи чинних національних стандартів розроблено українськими суб'єктами стандартизації, сфера діяльності яких стосується технологічних процесів в харчовій промисловості, самостійно, а один — Українським науково-дослідним інститутом олій та жирів і Державним підприємством «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів» (ДП «Укрметр-тестстандарт») на підставі чинного міжнародного стандарту *ISO 22000:2005*;

– упродовж трьох років (2001—2002 рр. і 2004 р.) не було опубліковано жодного нового національного стандарту;

– базисний абсолютний приріст (збільшення або зменшення загальної кількості національних стандартів за певний період часу) складає сім національних стандартів, а середній абсолютний приріст (відношення базисного абсолютного приросту до загальної кількості років — середньоарифметичне значення) приблизно — 0,88 національного стандарту;

– коефіцієнт оновлення (відношення кількості національних стандартів, прийнятих за певний період часу, до їх загальної кількості на кінець періоду) національних стандартів за 2006—2008 роки приблизно становить 0,43;

– коефіцієнт скасування національних стандартів (відношення кількості національних стандартів, скасованих за певний період часу, до їхньої загальної кількості на кінець періоду) дорівнює 0,14;

– коефіцієнт згармонізованості національних стандартів (відношення загальної кількості згармонізованих національних стандартів до загальної

кількості національних стандартів) *приблизно становить 0,14*;

– частка національних стандартів на системи управління безпечністю харчових продуктів, СУБХП від загальної кількості національних стандартів приблизно становить 28,6 %;

– частка національних стандартів, які підлягають перевірці (чи перегляданню) або перебувають у цьому процесі, від загальної кількості національних стандартів дорівнює 0;

– частка стандартів ДСТУ ISO серії 22000 від загальної кількості національних стандартів приблизно становить 14,3 %.

Зовнішній порівняльний аналіз кількісних показників розвитку національної нормативної бази. Розраховані вище кількісні показники розвитку міжнародної і національної нормативних баз у сфері технологічних процесів в харчовій промисловості за 2001—2008 роки зведено у табл. 3.

Таблиця 3

Показники розвитку міжнародної і національної нормативних баз за 2001—2008 роки

Назва показника	Значення показника розвитку нормативної бази	
	міжнародної	національної
I. Абсолютний показник		
Базисний абсолютний приріст міжнародних НД/ національних стандартів, шт.	9	7
Середній абсолютний приріст міжнародних НД/ національних стандартів, шт.	1,13	0,88
II. Відносний показник		
Коефіцієнт оновлення міжнародних НД/ національних стандартів, б/р	0,22	0,43
Коефіцієнт скасування міжнародних НД/ національних стандартів, б/р	0	0,14
Коефіцієнт згармонізованості національних стандартів, б/р	—	0,14
Частка чинних міжнародних НД/ національних стандартів на СУБХП, %	33,3	28,6
Частка чинних міжнародних НД/ національних стандартів, які підлягають перевірці (чи перегляданню) або перебувають у цьому процесі, %	66,7	0

Скорочення: б/р — безрозмірна

Порівняння значень абсолютних і відносних показників розвитку національної нормативної бази зі значеннями аналогічних показників міжнародної (див. табл. 3) показує, що:

– базисний абсолютний приріст національних стандартів менше аналогічного показника міжнародних НД на два національні стандарти;

– середній абсолютний приріст національних стандартів менше аналогічного показника міжнародних НД на 0,25 національного стандарту;

– коефіцієнт оновлення національних стандартів за 2006—2008 роки більше аналогічного показника міжнародних НД на 0,21;

– коефіцієнт скасування національних стандартів більше аналогічного показника міжнародних НД на 0,14;

– частка чинних національних стандартів на СУБХП менше аналогічного показника міжнародних НД на 4,7 %;

– частка чинних національних стандартів, які підлягають перевірці (чи перегляданню) або перебувають у цьому процесі, менше аналогічного показника міжнародних НД на 66,7 %.

Одержані різниці значень шести показників визначають кількісні відмінності розвитку національної нормативної бази відносно розвитку міжнародною і вказують напрям, величину та швидкість таких відмінностей. Сьомий відносний показник — коефіцієнт згармонізованості національних стандартів — навпаки встановлює подібність розвитку національної нормативної бази порівняно з розвитком міжнародної. Цєю подібністю (загальною рисою, ознакою) є наявність у національній нормативній базі одного згармонізованого національного стандарту (ДСТУ ISO 22000:2005 — див. табл. 2), який є ідентичним за технічним змістом, структурою і викладом (він є тотожний переклад) із міжнародним (ISO 22000:2005 — див. табл. 1).

Таблиця 4

Майбутні міжнародні стандарти

Позначка та назва проекту	Поточна стадія	Номер ТС
ISO/DIS 22006. Quality management systems — Guidelines for the application of ISO 9001:2000 in crop production Системи управління якістю — Керівні вказівки стосовно застосування ISO 9001:2000 у сільськогосподарських культурах	40.60 Відправлено підсумки голосування з DIS	ТС 34
ISO/CD 22008. Food irradiation — Good processing practices for the irradiation of foods intended for human consumption Харчове випромінювання — Добра практика оброблення випромінюванням продуктів харчування, призначених для споживання людиною	30.20 Почато вивчення голосування з CD	ТС 34
ISO/ASTM DIS 51900. Guide for dosimetry in radiation research on food and agricultural products Настанова стосовно дозиметрії у радіаційних дослідженнях щодо продовольчої та сільськогосподарської продукції	40.60 Відправлено підсумки голосування з DIS	ТС 85

Скорочення:

CD (Committee Draft) — проект на стадії комітету

DIS (Draft International Standard) — проект міжнародного стандарту

Майбутні міжнародні стандарти. Станом на 01.01.2009 р. в рамках ISO міжнародні технічні комітети ТС 34 «Харчові продукти» і ТС 85 «Ядерна енергія» створюють три майбутні міжнародні стандарти з технологічних процесів в харчовій промисловості (табл. 4) [4]. Аналіз даних про ці стандарти (див. табл. 4) показує, що:

розроблюються два нових стандарти (ISO 22006, ISO 22008) і переглядається один чинний стандарт (ISO/ASTM 51900);

опублікування стандартів ISO 22006 і ISO/ASTM 51900 очікується у другому півріччі 2009 року, а стандарту ISO 22008 — у другому півріччі 2010 року.

Висновки. Станом на 01.01.2009 р. міжнародна нормативна база у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості, як і за станом на 01.06.2007 р. [3], нараховує дев'ять НД двох категорій — стандарти *ISO* і *ISO/ASTM* та *ISO/TS*. Очікується, що наприкінці 2009 р. загальна кількість міжнародних НД збільшиться до 10, а наприкінці 2010 р. і такою вона залишиться до кінця 2011 р — до 11 за рахунок опублікування нових стандартів *ISO 22006* і *ISO 22008* відповідно (див. табл. 4).

Низькі значення абсолютних показників зростання міжнародних НД, зокрема середнього абсолютного приросту (1,13 НД), дають підставу вважати, що міжнародна нормативна база у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості протягом 2001—2008 років розвивалася повільно. Аналіз показує, що протягом 2009—2011 років вона так само буде розвиватися повільно.

Нормативні документи *ISO* серії 22000 — це НД з СУБХП, які є визначальними не тільки в системі НД у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості, а й в системі НД у сфері технологія виробництва харчових продуктів. Наразі частка НД з СУБХП (*ISO 22000:2005*, *ISO/TS 22003:2007*, *ISO/TS 22004: 2005* — див. табл. 1) від загальної кількості міжнародних НД становить 33,3 %. Наприкінці 2011 р. ця частка вже складатиме 45,5 % (за рахунок видання двох нових стандартів *ISO 22006* і *ISO 22008*), тобто вона збільшиться майже у 1,4 рази. Це ще раз підкреслює вагу НД з СУБХП в системі НД у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості.

Національна нормативна база у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості порівняно зі станом на 01.06.2007 р. [3] збільшилася на один національний стандарт (ДСТУ 5072:2008 — див. табл. 2) і станом на 01.01.2009 р. налічує 21 національний стандарт, позначення яких мають такі індекси: ДСТУ, РСТ УССР, ДСТУ ISO. Тобто наразі загальна кількість національних стандартів України більша загальної кількості міжнародних НД на 12 національних стандартів, що відповідно становить 57,1 %.

Порівняльний аналіз кількісних показників показує, що розвиток національної нормативної бази у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості протягом 2001—2008 роки значно відрізняється від міжнародної. Менше значення середнього абсолютного приросту на 0,25 національного стандарту порівняно з аналогічним міжнародним показником дає підставу вважати, що загалом національна нормативна база розвивалася трохи повільніше, ніж міжнародна. Проте за темпами оновлення і скасування національних стандартів національна нормативна база майже вдвічі випереджає міжнародну.

На сьогодні основними недоліками розвитку національної нормативної бази є такі: 1) низький рівень згармонізованості національних стандартів (0,14), який не відповідає вимогам програми (0,8) [1]; 2) жоден чинний національний стандарт не перевіряється і не переглядається.

Запропоновані сім абсолютних і відносних показників дозволяють всебічно оцінювати розвиток міжнародної і національної нормативних баз не тільки у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості, а й в інших сферах стандартизації, а також дозволяють виявляти між ними відмінності та їх загальні риси (ознаки). Вони взаємопов'язані між собою та доповнюють один одного. Основними з них доцільно вважати середній абсолютний приріст і коефіцієнт згармонізованості національних стандартів.

На підставі одержаних результатів і сформульованих висновків можна визначити наступні практичні пропозиції стосовно прискорення гармонізації національної нормативної бази у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості із міжнародною.

Розмістити на вебсайтах українських суб'єктів стандартизації, сфера діяльності яких стосується технологічних процесів в харчовій промисловості, табл. 1 і 2 із відповідними коментарями для спрощення доступу вітчизняних та іноземних користувачів до цієї структурованої інформації.

Відобразити запропоновані абсолютні та відносні показники у вигляді математичних виразів (розрахункових формул), використання яких дозволить проводити зовнішній порівняльний кількісний аналіз розвитку національної нормативної бази у будь-якій сфері стандартизації.

Перевірити 13 національних стандартів (ДСТУ 1451—96, ДСТУ 2079—92, ДСТУ 2120—93, ДСТУ 2163—93, ДСТУ 2208—93, ДСТУ 2333—93, ДСТУ 2423—94, ДСТУ 2849—94, ДСТУ 3001—95, ДСТУ 3139—95, ДСТУ 3296—95, ДСТУ 3297—95, ДСТУ 3747—98 — див. табл. 2) на відповідність їх чинному законодавству України, потребам споживачів і держави, рівневі розвитку науки й техніки та іншим НД у сфері стандартизації відповідно до вимоги національного стандарту [6] щодо регулярного перевірення національних НД через п'ять років після їхнього розроблення, перегляду чи останнього перевірення.

Визначити з урахуванням особливостей національної економіки України потребу розроблення нових згармонізованих національних стандартів (ДСТУ ISO) на підставі шести чинних міжнародних НД (див. табл. 1): *ISO 8086:2004*, *ISO 15161:2001*, *ISO 21469:2006*, *ISO/ASTM 51204:2004*, *ISO/ASTM 51431:2005*, *ISO/ASTM 51900:2002*.

Розпочати переглядання ДСТУ 4161—2003 з метою прийняття рішення щодо його чинності у зв'язку з опублікуванням в 2007 році ДСТУ ISO 22000.

Організувати розроблення нових національних стандартів на підставі двох чинних міжнародних

ТУ з СУБХП (ISO/TS 22003:2007 і ISO/TS 22004:2005 — див. табл. 1).

Активізувати участь українських фахівців у технічній роботі ISO/TC 34 «Харчові продукти» (*Food products*), ISO/TC 85 «Ядерна енергія» (*Nuclear energy*) і ISO/TC 199 «Безпека машинного устаткування» (*Safety of machinery*).

Відстежувати розвиток міжнародної нормативної бази у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості і щорічно аналізувати її для встановлення можливості подальшої гармонізації національної нормативної бази у цій сфері.

Достовірність одержаних наукових результатів підтверджується використанням у цій праці даних офіційних електронного міжнародного Каталогу [4] і друкованого національного Каталогу [5], достовірність яких поза сумнів, а також збігом цих результатів з окремими результатами у статті [3].

Практичне значення отриманих наукових результатів визначається тим, що їх можна використати:

– під час щорічного уточнення Державної програми [7] і розроблення щорічних планів національної стандартизації та під час перевіряння (переглядання) чинних НД і розроблення нових національних стандартів у сфері технологічні процеси в харчовій промисловості;

– у навчальному процесі вищих навчальних закладів, під час написання підручників, навчальних

посібників і наукових статей та підготовки доповідей на науково-практичних конференціях тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Програма інтеграції України до Європейського Союзу / Схвалено Указом Президента від 14.09.2000 № 1072/2000 // Офіційний веб-портал Верховної Ради України (URL:<http://zakon1.rada.gov.ua>).

2. Зелена книга «Про політику адаптації національного законодавства у сфері технічного регулювання та споживчої політики до європейських норм». — К.: Держспоживстандарт України, 2006. — 88 с. // Офіційний веб-портал Держспоживстандарту України (URL:<http://www.dssu.gov.ua>).

3. Грищенко Ф.В. Технологія виробництва харчових продуктів: порівняльний аналіз міжнародної та національної нормативних баз // Харчова промисловість. — 2008. — № 7. — С. 5–7.

4. ISO Catalogue (Каталог ISO) / Он-лайнний веб-сайт ISO (URL: <http://www.iso.org>).

5. Каталог нормативних документів 2009: в 3 т. / [уклад. Мельникова В.П., Муштенко Н.Г., Стеценко І.В.]. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2009. — Т. 1. — 2009. — 510 с.

6. Правила розроблення національних нормативних документів: ДСТУ 1.2:2003. — [Чинний від 2003–07–01]. — К.: Держспоживстандарту України, 2003. — 16 с. — (Національний стандарт України).

7. Державна програма стандартизації на 2006–2010 роки, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 01.03.2006 р. № 229 // Офіційний веб-портал Верховної ради України (URL:<http://zakon1.rada.gov.ua>).

Одержана редакцією 22.04.09 р.

УДК 612.39

С.І. АНІСІМОВА, магістрант

О.С. ВОЛОШИНА, канд.біол.наук

М.М. АНТОНЮК, канд.техн.наук

Національний університет харчових технологій

ОЖИРІННЯ ТА МЕТОДИ ЙОГО ЛІКУВАННЯ

Проведено огляд сучасної літератури щодо висвітлення медико-соціальної проблеми ожиріння. Виділено причини та фактори, що призводять до розвитку ожиріння у різних вікових категоріях. Показано спосіб підрахунку ступеню ожиріння та ризику розвитку захворювань, пов'язані з ним. Представлено методи лікування захворювання.

Ключові слова: ожиріння, вісцеральна жирова тканина, індекс маси тіла, харчування, супутні захворювання.

Проведен обзор литературы относительно освещения медико-социальной проблемы ожирения. Выделены причины и факторы, что приводят к развитию ожирения у разных возрастных категорий. Показано способ подсчета степени ожирения и риски развития заболеваний, что связаны с ним. Представлено методы лечения заболевания.

Ключевые слова: ожирение, висцеральная жировая ткань, индекс массы тела, питание, сопутствующие заболевания.

На межі ХХ-ХХІ ст. ожиріння було охарактеризовано Всесвітньою організацією охорони здоров'я як неінфекційна епідемія. За останньою

оцінкою Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), більше мільярда людей на планеті мають зайву вагу. Люди у віці від 25 до 35 років, які страж-

дають морбідним ожирінням, помирають у 12 разів частіше, ніж їх ровесники, а у віці від 35 до 45 років — у 6 разів частіше. Збільшення маси тіла лише на 0,4 кг підвищує ризик смертності на 2% у людей віком від 50 до 62 років. У людей, що мають 40% зайвої ваги, у 2 рази підвищується ймовірність передчасної смерті, порівняно з людиною середньої ваги [1].

Ожиріння є серйозною медико-соціальною та економічною проблемою сучасного суспільства. У промислово розвинених країнах ця проблема торкнулась усіх шарів населення незалежно від соціальної та професійної приналежності, віку, місця проживання та статі. Повсюдно спостерігається значне зростання розвитку ожиріння у дітей та підлітків.

У розвинених країнах на лікування цього захворювання припадає 8-9% від усіх річних витрат на охорону здоров'я [1].

Розвиток захворювання може починатися у будь-який період життя людини. Часто цьому передують зміна професії, припинення занять спортом, вагітність та роди, початок менопаузи, тривала малорухливість, ендокринні захворювання. Будь-яке збільшення споживання їжі, а також зниження фізичної активності призводить до розвитку ожиріння. У силу цих особливостей лікування ожиріння не може зводитися до малотривалих заходів. Позбавлення від зайвої ваги тіла повинно передбачати радикальну зміну способу життя в бік зниження споживання їжі, з однієї сторони, та збільшення витрат енергії за рахунок фізичної активності — з іншої.

Причиною розвитку ожиріння можуть бути безліч факторів, у тому числі генетична схильність, індивідуальні особливості обміну речовин тощо. Важливе значення мають неправильні звички харчування, а також малорухливий спосіб життя. Відомо, що вживання висококалорійних, рафінованих продуктів, переїдання, споживання їжі у значних кількостях на ніч шкідливо і, навіть, небезпечно. Наукові дослідження свідчать, що раціональне харчування зі значною кількістю жирних, м'ясних і молочних продуктів та недостатньою кількістю овочів і фруктів сприяють розвитку серцево-судинних, деяких онкологічних захворювань, діабету та ожиріння. Зокрема, ожиріння розвивається тільки тоді, коли кількість поживних речовин, що потрапляють в організм, перевищує його потреби з урахуванням енерговитрат [2]. Надлишкова, зайва їжа утилізується організмом і відкладається "про запас" у жирових депо, що призводить до збільшення кількості жиру в організмі, тобто до розвитку ожиріння.

Хронічне переїдання веде до порушень у роботі центру апетиту в головному мозку, і, при цьому, нормальна кількість з'їденої їжі вже не може задовольнити відчуття голоду. За низької фізичної активності навіть достатня кількість прийнятої їжі є

надлишковою, оскільки калорії, що утворилися, не спалюються в процесі фізичних навантажень, а перетворюються в жирові відкладення. Чим менше ми рухаємося, тим менше повинні їсти. Згідно з нормами фізіологічних потреб в основних харчових речовинах та енергії, кількість поживних речовин у добовому раціоні людини повинна залежати від статі, віку та фізичної активності.

Причин, що змушують людину переїдати, дуже багато. Сильні хвилювання можуть знизити чутливість центру насичення в головному мозку і людина в стані занепокоєння починає непомітно для себе приймати більше їжі, зловживати їжею з високим вмістом ліпідів та вуглеводів. Аналогічна ситуація може бути наслідком цілого ряду психоемоційних факторів, таких як почуття самотності, тривоги, туги, а також у людей, що страждають неврозом типу невротенія. У цих випадках їжа ніби замінює позитивні емоції. Багато людей їдять перед сном, сидячи біля телевізора, що також сприяє ожирінню.

У розвитку переїдання та ожиріння, надзвичайно важливе значення має вигляд і запах їжі: красиво оформлена, ароматна їжа змушує людину, переборюючи почуття ситості, продовжувати їсти [2].

Істотне значення в розвитку ожиріння має вік, саме тому виділяють особливий тип ожиріння — віковий. Цей тип ожиріння пов'язаний з віковими порушеннями діяльності цілого ряду специфічних центрів головного мозку, в тому числі й центра апетиту. З віком для пригнічення почуття голоду організм потребує більшої кількості їжі. Тому, непомітно для себе, багато людей з роками починають їсти більше, переїдати. Крім того, важливе значення в розвитку вікового ожиріння має зниження діяльності щитовидної залози, яка виробляє гормони, що приймають участь в обміні речовин.

Соціальні фактори можуть стати причиною ожиріння. Економічний стан країни відіграє значну роль у поширенні надлишкової маси тіла та ожиріння у популяції. Для країн із високим рівнем життя, який зумовлений переважно розвитком високих технологій, характерне зниження фізичної активності населення при достатній кількості продуктів харчування, що споживаються за межами дому. За статистичними даними, у більшості економічно розвинених країн світу ожиріння перетворилося в одну з найактуальніших соціальних проблем.

Фактор спадковості також може бути вагомою причиною розвитку надлишкової маси. Припускається, що ожиріння на 25-40% обумовлено генетичними факторами. Ген, який називається «Ob» (від англійського «obesity», що означає «ожиріння»), контролює вироблення лептину у клітинах жирової тканини. Генетичні причини ожиріння, можливо, включають нечутливість гіпоталамуса до лептину і/або функціональні дефекти останнього [1].

Важливу роль у розвитку ожиріння відіграє ефективність метаболізму. Енергетично зменшений тип обміну речовин призводить до ожиріння і, навпаки, ефективний — сприяє стабілізації маси тіла за зниженої фізичної активності. В організмі людини відбуваються паралельно два процеси: утворення жиру (ліпогенез) і використання жиру (ліполіз). Підтримання організмом постійної маси тіла свідчить, що рівень ліпогенезу відповідає рівню ліполізу. Якщо домінує ліпогенез, організм набирає зайву вагу, якщо превалює ліполіз — втрачає її.

У процесі розвитку ожиріння важливе місце посідає співвідношення між коричневою і жовтою жировою тканиною організму. Різниця між цими тканинами полягає в тому, що жовта жирова тканина накопичує жир, а коричнева продукує тепло. Цим пояснюється той факт, що деякі люди здатні споживати дуже велику кількість їжі і не набирати зайвої ваги, оскільки зберігають у своєму тілі значну кількість коричневої жирової тканини. Значні запаси цієї тканини є у новонароджених дітей і в осіб, що адаптовані до холоду. У чоловіків та жінок однакова кількість жирових клітин, але головна відмінність між ними полягає в різному механізмі функціонування ферментів та розмірі цих клітин. Жіночий організм має велику активність жирутворюючих ферментів, що сприяє накопиченню жиру, і більші жирові клітини. У чоловіків, навпаки, активніші ферменти, що спалюють жир, і менші жирові клітини [3].

В останні роки для оцінки ваги та наявності ожиріння у дорослих використовується розрахунок індексу маси тіла (ІМТ), що визначається як відношення показника маси тіла (у кілограмах) до квадрату показника зросту (в метрах). Ідеальним вважається ІМТ, що дорівнює 19-24 кг/м у жінок та 19-25 кг/м — у чоловіків (табл. 1).

Таблиця 1

Визначення ступеню ожиріння

Індекс маси тіла, кг/м		Характеристика стану
чоловіки	жінки	
19	19	норма
26	25	надлишкова вага
30	30	I ступінь ожиріння
35	35	II ступінь ожиріння
40 і більше	40 і більше	III ступінь ожиріння

Якщо при розрахунку ІМТ виявився менше 19 кг/м, це свідчить про дефіцит ваги, що нерідко буває в молодих та струнких дівчат. Для юнаків такий ІМТ є показником того, що вони мало займаються спортом і мають слаборозвинені м'язи. І навпаки, чоловіки, що займаються силовими видами спорту, важкою атлетикою, боротьбою, мають підвищені показники ІМТ, але надлишок маси тіла пов'язаний не з ожирінням, а з добре розвиненими м'язами [1].

Метод оцінки кількості жиру в тілі людини розроблений американськими лікарями Р. Шмідтом і

Г. Тевсом в 1895р. Для цього за допомогою інструмента, що називається каліпер, вимірюють товщину шкіряних складок у чотирьох анатомічних областях тіла. Отримані дані потім обробляють й одержують відсоток (%) жиру в організмі (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка ожиріння у відсотковому співвідношенні жирової тканини в організмі

Стан	Чоловіки	Жінки
худий	<10%	<20%
нормальний	10-20%	20-30%
повний	20-25%	30-35%
гладкий	25-30%	35-40%
дуже гладкий	>30%	>40%

Для визначення жирових відкладень, що з максимальною точністю характеризує відсоткове співвідношення та загальну кількість жиру в тілі людини, застосовують також прилад, принцип роботи якого оснований на аналізі біоелектричного опору. Даний метод аналізує електричний опір тканин, пропускаючи через тіло гранично малий струм. Оскільки жирова тканина має електропровідність близьку до нуля, неважко визначити співвідношення між жировою й іншими тканинами організму [4].

Крім ризику розвитку асоційованих з ожирінням захворювань та передчасної смерті, існують й інші фактори, які можуть впливати на цю залежність:

- розподіл жирової тканини в організмі;
- значне збільшення маси тіла в молодому віці;
- рівень фізичного розвитку;
- етнічна приналежність [5].

Ще 50 років тому було визначено, що розподілення жирової тканини в організмі впливає на здоров'я. Встановлено, що люди, які мають фенотип "яблука" з переважним накопиченням жирової тканини в області живота (підшкірно-жирової клітковини та вісцеральної жирової тканини), мають більш високий ризик виникнення діабету, артеріальної гіпертензії, ішемічної хвороби серця, порівняно з тими, в кого є жирові накопичення в області сідниць та стегон (фенотип "груші"). Безпосереднє виявлення наявності жирової тканини в області живота і внутрішніх органів (так званий, абдомінальний тип ожиріння) потребує використання дорогих радіологічних (візуалізуючих) методів. Тому частіше на практиці використовують спрощений метод виміру окружності талії, який достатньо точно відображає кількість жирової тканини в абдомінальній області. Експертна комісія з виявлення, оцінки, лікування зайвої ваги та ожиріння у дорослих розробила рекомендації, згідно яких слід вважати, що у чоловіків з окружністю талії більше 102 см і у жінок з окружністю талії більше 88 см є високий ризик виникнення захворювань, пов'я-

заних із метаболічними процесами в організмі. Дані рекомендації ґрунтуються на серйозних епідеміологічних дослідженнях і роботах, присвячених вивченню метаболізму, встановлюють певні рамки, в межах яких реалізується взаємовідношення між цифровим значенням окружності талії та ризиком розвитку метаболічних порушень [4].

Надлишок маси тіла в молодому віці є додатковим фактором ризику виникнення різних захворювань. Дані епідеміологічних досліджень показали, що при збільшенні маси тіла на 5 кг і більше у віці 18-20 років зростає ризик розвитку жовчокам'яної хвороби, діабету, артеріальної гіпертензії та ішемічної хвороби серця як у чоловіків, так і у жінок. Більш того, наявність зайвої ваги у цьому віці підвищує імовірність передчасної смерті.

Більша частина населення страждає абдомінальним ожирінням і знаходиться у групі ризику розвитку кардіоваскулярних захворювань. Основна загроза для здоров'я при цьому пов'язана зі збільшенням вісцерального жиру, що призводить до розвитку інсулінової резистентності, дисліпідемії, метаболічного синдрому, діабету II-го типу і атеросклерозу, інфаркту міокарда та фібриляції передсердя.

Межі значення індексу маси тіла, що показують взаємозв'язок з виникненням тих чи інших захворювань, можуть змінюватися залежно від етнічної приналежності індивідуума. Так, при однакових значеннях індексу маси тіла, люди південно-азійської національності мають більш високий ризик розвитку діабету та серцево-судинної патології, ніж люди білої раси. В той же час, при тих самих значеннях індексу маси тіла полінезійці, порівняно з білими людьми, мають більш виражену м'язову масу при меншому розвитку жирової тканини [5].

Ожиріння, як надлишкове відкладення жиру в організмі, може бути самостійним захворюванням або синдромом, що розвивається при інших хворобах. В останньому випадку ожиріння може бути усунуте після лікування основного захворювання. Практично всі захворювання, включаючи грип, запалення легенів, гострі респіраторні захворювання, протікають у хворих на ожиріння складніше, вимагають більш тривалого лікування, мають великий відсоток ускладнень.

Методи лікування ожиріння

У таблиці 3 наведено класифікацію ступенів ожиріння та поради щодо його лікування.

Останнім часом значну увагу для боротьби з надлишковою масою тіла привертають комплексні натуральні препарати, що містять рослинні компоненти, вітаміни, амінокислоти та мінерали. Вони здатні ефективно знижувати масу тіла, поліпшувати загальний стан і при цьому не викликати побічних ефектів та звикання [6].

Існують препарати, прийом яких, особливо тривалій, впливає на збільшення маси тіла. Це пероральні гіпоглікемічні засоби — препарати сульфо-

нілсечовини, тiazолідиндіони (глітазони); антидепресанти — трициклічні, міртазапін, інгібітори моноаміноксидази; протисудомні засоби — натрія вальпроат, габапентин, вігабатрин; антипсихотичні засоби — особливо атипічні антипсихотики; глюкокортикоїди; заміщуюча гормонотерапія; α -адреноблокатори; пізотифен [3].

Таблиця 3

Характеристика ступенів ожиріння

Ступінь ожиріння	Відхилення від нормальної ваги, кг	Характеристика та поради щодо лікування
Недостатня	<18,5	Немає проблем із зайвою вагою
Нормальна	18,5-24,9	Немає проблем із зайвою вагою
Надлишкова	25,0-29,9	Загроза для здоров'я невелика, але необхідний самоконтроль. Введення обмежень на споживання висококалорійних продуктів, зміна режиму харчування, підвищення фізичної активності.
Ожиріння	30,0-34,9	Зайва маса тіла передбачає небезпечність для здоров'я. Змінити спосіб життя та звички харчування. Проконсультуватися з дієтологом та ендокринологом.
Виражене ожиріння	35,0-39,9	Небезпека для здоров'я очевидна. Необхідна допомога лікаря. Можливе хірургічне втручання.
Морбідне ожиріння	>40	Маса тіла являє загрозу не тільки для здоров'я, але й для життя. Хірургічне втручання, оперативне лікування.
Надмірне ожиріння	>50	Ризик передчасної смерті дуже великий. Ймовірність досягнення ефекту зниження ваги без хірургічного втручання мінімальна. При високому ризику необхідна передопераційна підготовка.

Метою медикаментозної терапії при ожирінні є підвищення ефективності методів лікування: зниження маси тіла, попередження рецидивів, покращання метаболічних показників, збільшення схильності хворих до лікування. За даними Національного інституту Здоров'я США, клінічно значимим є зниження маси тіла на 5-10% від початкового значення протягом 4-6 місяців. Рішення щодо застосування медикаментозного лікування ожиріння приймається у тому випадку, якщо індекс маси тіла (відношення показника маси тіла у кілограмах до квадрату показника зросту у метрах) перевищує 27.

За механізмом дії препарати для лікування ожиріння поділяються на такі, що:

1) знижують апетит (психостимулятори, антидепресанти);

2) стимулюють процеси обміну, так звані "спалювачі жиру";

3) зменшують всмоктування жирів у шлунково-кишковому тракті. Ці препарати поділяються

на такі, що блокують ліпазу та такі, що зв'язують жири [4].

Зменшення вісцерального жиру — ключ до зниження ризику розвитку метаболічних розладів і кардіоваскулярних захворювань. Вісцеральний жир не інертний. Викид жирних кислот із тригліцеридів у порталний і системний кровоток може бути значним, що призводить до розвитку інсулінової резистентності. Вільні жирні кислоти стимулюють печінку до продукування атерогенних ліпопротеїдів. Більш того, сигнальні молекули жирової тканини (адипокіни) ускладнюють ендотеліальну дисфункцію. Рівень адипокінів зростає відповідно зі збільшенням вісцерального жиру.

У зв'язку із зростанням частоти захворюваності на ожиріння в усьому світі, існує висока потреба в ефективних та безпечних при тривалому застосуванні медикаментозних засобах. Тому пошук нових препаратів для зниження ваги є актуальним. Такі препарати обов'язково повинні мати вивчений механізм дії, їх прийом повинен супроводжуватись лише слабкими, скороминучими побічними ефектами.

Велику надію покладають фармакологи на речовини — блокатори специфічних рецепторів ендоканабіноїдної системи (ЕКС). ЕКС — нейрорегуляторна система, яка впливає на продукування гормонів та нейромедіаторів і відповідальна за баланс між апетитом й почуттям насичення. ЕКС контролює енергетичний гомеостаз шляхом регуляції кількості спожитих, збережених та витрачених жирів. Цей процес включає в себе гіпоталамічний контроль апетиту та метаболізм ліпідів.

На сьогоднішній день широко використовуються немедикаментозні методи лікування ожиріння: зміна способу життя, низькокалорійні та знежиренні дієти, інтенсивні фізичні навантаження. Однак, часто такі методи не є успішними для підтримання тривалого ефекту.

Хірургічне лікування ожиріння проводиться хворим у віці 16-65 років з ІМТ > 35 — 40 кг/м², що не вживають алкоголь, за умови, що побутова та медикаментозна терапія не призвели до бажаних наслідків.

Застосування гастропластики знижує масу тіла на 25%, а шлункове шунтування — на 30% [4]. Зниження маси тіла при цьому супроводжується значним покращанням стану здоров'я (знижується рівень глікемії, артеріального тиску, покращується якість життя).

Шлункове шунтування призводить до зниження надлишкової ваги на 50-60%, що приблизно дорівнює зниженню загальної маси тіла на 30%. Таке зниження ваги тримається не менше 14 років. Коротко- та довготривале зниження маси тіла в результаті такого оперативного втручання переважає за ефективністю гастропластику.

Висновки. У медиків існує такий вираз: "Людина сама рие собі могилу зубами". Його суть полягає

в тому, що неправильне харчування значної частини населення веде до розвитку більшості хвороб та передчасного старіння. Ожиріння знижує працездатність людини, ускладнює інтелектуальну й фізичну діяльність, призводить до інвалідності в ранньому віці, передчасного старіння і скорочення тривалості життя, тому є медико-соціальною проблемою. На щастя, бажаючих вести здоровий спосіб життя стає дедалі більше. Безумовно, першим кроком у напрямі збереження здоров'я та привабливої зовнішності є правильне харчування.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Избыточная масса тела и ожирение. Лекция // Украинський медичний вісник: Therapia. — 2008. — №4. — С.19-28.*
2. *Бутрова С.А. Сибутрамин (Меридиа) в лечении ожирения: опыт применения в России// Клиническая фармакология и терапия. — 2001. — Т. 10, №2. — С. 55-58.*
3. *Козарін І.П. Дієтопрофілактика ожиріння// Медична газета «Здоров'я України». — 2005. — №18. — С. 36-37.*
4. *Широкова Е.Н. Современные подходы к лечению ожирения// Материалы X Российского национального конгресса «Человек и лекарство»/ Лекции для практикующих врачей: диагностика и терапия в клинике внутренних болезней. — М. — 2004. — С. 260-269.*
5. <http://obesity.eurodoctor.ru/hronicdeseaseadiposity/evolutionsickness/>
6. *Бутрова С.А., Плохая А.А. Лечение ожирения: современные аспекты. — http://www.medlinks.ru/article.php*

Одержана редколегіє 25.05.2009

В.В. ЦИРУЛЬНІКОВА, аспірант кафедри технології цукру та полісахаридів
О.Б. ВОЙТОВИЧ, магістр кафедри технології цукру та полісахаридів
С.П. ОЛЯНСЬКА, кандидат технічних наук
М.П. КУПЧИК, доктор технічних наук
Національний університет харчових технологій

ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ФІЛЬТРОПЕРЛІТУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЧИЩЕНОГО СОКУ

Досліджено ефективність додаткового очищення соку II сатурації з використанням фільтроперліту. Доведено, що найкращі показники очищеного соку спостерігаються при додаванні 0,2% фільтроперліту в нефільтрований сік II сатурації: чистота соку II сатурації підвищується в середньому на 1,7%, зменшується вміст солей кальцію на 12,7%, кольоровість соку — на 19,2%.

Ключові слова: очищення соку, нефільтрований сік II сатурації, нецукри, чистота соку, вміст солей кальцію, кольоровість, фільтрувальні порошки, фільтроперліт, вихід цукру.

Исследовано эффективность дополнительной очистки сока II сатурации с использованием фильтроперлита. Доказано, что наилучшие показатели очищенного сока наблюдаются при добавлении фильтроперлита в количестве 0,2% к массе сока в нефильтрованный сок II сатурации: чистота сока повышается в среднем на 1,7ед., уменьшается содержание солей кальция на 12,7%, а цветность сока — на 19,2%.

Ключевые слова: очистка сока, нефильтрованный сок II сатурации, несахара, чистота соку, содержание солей кальция, цветность, фильтровальные порошки, фильтроперлит, выход сахара.

Адсорбція на поверхні твердих тіл є основою багатьох фізико-хімічних процесів. Поряд із активним вугіллем останнім часом як адсорбенти широко застосовуються природні дисперсні мінерали [1]. Завдяки пористій структурі та високо-розвиненій поверхні такі мінеральні сорбенти здатні селективно вилучати з водних розчинів різні речовини, а їхня нетоксичність дає можливість використовувати ці речовини для потреб різних галузей харчової промисловості та для очищення питної води [2].

Важливою проблемою для цукрової промисловості України в зв'язку з вступом України до СОТ є вдосконалення існуючої технологічної схеми для зменшення кольоровості та вмісту зольних нецукрів у очищеному соку і у кристалічному цукрі. За вимогами до споживчого цукру, які діють у країнах ЄС кристалічний цукор першої категорії (екстра) повинен мати кольоровість не більше 22,5 одиниць ICUMSA, масову частку золи не більше 0,011%; цукор другої категорії — кольоровість не більше 45 одиниць ICUMSA, масову частку золи не більше 0,027%.

Для підвищення якості очищеного соку і сиропу використовували фільтроперліт, кізельгур, діатоміт, волокнисті інертні матеріали, карборафін, керамзитовий піл [3, 4, 5, 6]. Дослідження Кравця Я.О. [3, 5] показали, що фільтрувальний порошок фільтроперліт може бути використаний також для зняття ступеня пересичення карбонату каль-

цію внаслідок кристалізації CaCO_3 на розвинутій поверхні часточок перліту. За даними [5] більш доцільно вводити фільтроперліт у сік II сатурації або у відстійник соку, використовувати дискові фільтри з наміванням перліту. Для зменшення вмісту солей кальцію в сиропі автор рекомендує проходження соку-перлітної суспензії по тракту: підігрівники соку перед випарною установкою → випарні апарати → підігрівники сиропу з клеровкою → фільтри сиропу з клеровкою [5]. При застосуванні фільтроперліту має місце ефект механічного очищення поверхні теплообміну абразивними часточками перліту.

Дослідження [7] показали доцільність комбінованого введення фільтроперліту в кількості 0,2% безпосередньо в дифузійний сік та 0,1% у зону з рН 9,0 на попередню дефекацію, що дозволяє підвищити повноту осадження ВМС білково-пектинового комплексу і чистоту очищеного соку на 1%.

Україна має унікальні природні запаси перлітової сировини в Закарпатті, які складають біля 120 млн. тонн. До складу перлітової породи входить до 75% SiO_2 , 11–16% Al_2O_3 , 3–10% Na_2O і K_2O , 0,5–0,6% Fe_2O_3 .

Згідно з ДСТУ 3665-97 в Україні виробляють пісок перлітовий фільтрувальний груп А, Б і В, які відрізняються між собою насипною густиною і масовою долею часточок, що спливають у воді. У наших дослідженнях максимальний загальний

ефект очищення соку було отримано при використанні перліту групи А, який і використовували для подальших експериментів.

У промислових умовах ВАТ «Райз-цукор» (Лохвицький цукровий завод) було проведено серію досліджень для виявлення оптимальної точки введення фільтроперліту в контрольний ящик II сатурації і після відстійників-дозрівачів. Кращими виявилися показники при введенні фільтроперліту в нефільтрований сік II сатурації.

У табл. 1 наведені результати визначення впливу добавок різних кількостей фільтроперліту в нефільтрований сік II сатурації при температурі 85...90 °С з періодичним перемішуванням протягом 15 хв на чистоту соку II сатурації, вміст солей кальцію і кольоровість соку.

Найкращі показники очищеного соку спостерігаються при додаванні 0,2% фільтроперліту в нефільтрований сік II сатурації: чистота соку II сатурації підвищується в середньому на 1,7%, зменшується вміст солей кальцію на 12,7%, кольоровість соку — на 19,2%.

Додатково були проведенні дослідження впливу фільтрувального порошку на процес осадження ВМС. При витратах фільтроперліту 0,2 % до маси нефільтрованого соку вміст ВМС у соку II сатурації в дослідях 1 — 4 складав 0,481; 0,369; 0,340; 0,275 % порівняно з вмістом ВМС у соку II сатурації без використання фільтроперліту відповідно 0,978; 0,794; 0,720; 0,682 %. Таким чином, за рахунок введення фільтроперліту вміст ВМС у соку зменшується вдвічі, ступінь додаткового видалення ВМС із очищеного соку досягає 54,1 %, що сприятиме зменшенню в'язкості соку і сиропу, покращенню кристалізаційної здатності продуктів та якості цукру.

Таблиця 1.

Вплив додавання фільтроперліту на технологічні показники соку II сатурації

№ досліду	Технологічні показники соку II сатурації	Витрати перліту, % до маси соку				Контр. проба
		0,05	0,10	0,20	0,30	
1.	Чистота соку, %	88,5	88,9	90,0	89,9	88,0
	Вміст солей кальцію, г на 100 г СР	0,270	0,262	0,257	0,261	0,288
	Кольоровість, од. ICUMSA/100 г СР	215,3	192,3	192,69	186,56	245,3
2.	Чистота соку, %	89,2	89,8	90,5	90,35	88,8
	Вміст солей кальцію, г на 100 г СР	0,212	0,205	0,190	0,216	0,220
	Кольоровість, од. ICUMSA/100 г СР	224,37	198,72	187,49	197,74	230,4
3.	Чистота соку, %	90,3	90,6	91,12	90,9	89,6
	Вміст солей кальцію, г на 100 г СР	0,160	0,152	0,144	0,146	0,168
	Кольоровість, од. ICUMSA/100 г СР	171,94	188,07	166,71	188,1	211,3
4.	Чистота соку, %	90,7	91,5	92,2	92,1	90,5
	Вміст солей кальцію, г на 100 г СР	0,130	0,124	0,118	0,120	0,136
	Кольоровість, од. ICUMSA/100 г СР	132,3	130,94	127,1	128,74	147,06

Таке покращення якості соку можна пояснити [6, 7] тим, що в системі «фільтроперліт — 10 % розчин цукрози» протягом 10 хв має місце суттєве підвищення вмісту розчиненого кремнію, особливо в зонах pH>9, де спостерігається значний перехід у розчин кремнезему фільтроперліту. Окрім монокремневої кислоти Si(OH)₄ у розчині додатково утворюються силікат-іони: HSiO₃⁻, SiO₃²⁻. Частина розчиненого кремнезему (до 10 % від його загальної кількості) при введенні фільтроперліту у сік II сатурації буде знаходитись у полімерній формі, що сприятиме підвищенню видалення ВМС, солей кальцію та інших нецукрів.

Метою наших досліджень було встановлення оптимальних витрат фільтроперліту з урахуванням чистоти нефільтрованого соку II сатурації, які б забезпечили максимальний приріст чистоти соку, мінімальний вміст солей кальцію та мінімальну кольоровість.

Використавши масив отриманих експериментально даних, апроксимували їх в пакеті прикладних програм MathCAD Professional 2000 за допомогою регресійного аналізу:

- отримали рівняння локальних критеріїв оптимізації (в натуральній формі значень);
- знайшли для кожного рівняння середньоквадратичні відносні похибки;
- перевели значення локальних критеріїв у безрозмірну форму (за допомогою методу Харрінгтона);
- звели всі локальні критерії до узагальненого критерію оптимізації.

Розроблення математичної моделі

За допомогою методу найменших квадратів були отримані рівняння для визначення:

приросту чистоти соку II сатурації

$$\Delta\text{Ч}_{\text{соку II сатурації}} = 18714,91 + 48,86 \cdot G - 625,01 \cdot \text{Ч}_{\text{II}} - 0,45 \cdot G \cdot \text{Ч}_{\text{II}} + 25,80 \cdot G^2 + 6,96 \cdot \text{Ч}_{\text{II}}^2 - 119,28 \cdot G^3 - 0,03 \cdot \text{Ч}_{\text{II}}^3.$$

де G — витрати перліту, % до маси соку; Ч_{II} — початкова чистота соку II сатурації, %;

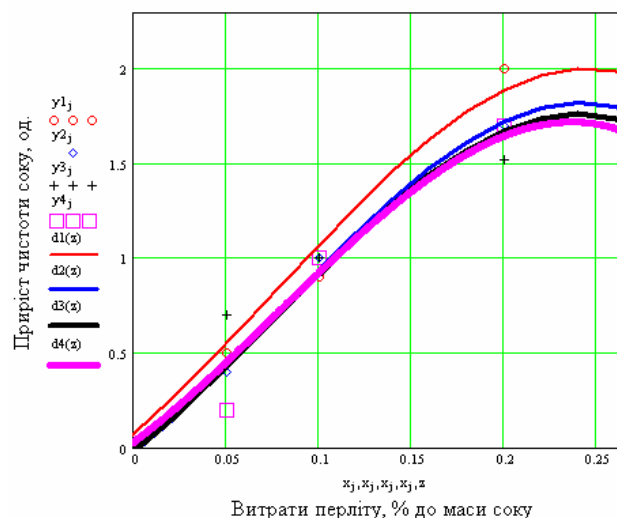


Рис. 1. Залежність приросту чистоти соку II сатурації від витрат перліту при різних чистотах соку (88,0, 88,8, 89,6, 90,5 %)

Середньоквадратична відносна похибка даного рівняння:

$$\delta = 0,128$$

- вмісту солей кальцію в соку II сатурації

$$\text{Соли}_{\text{Ca}^{2+}\text{соку II сатурації}} = -5031,58 - 0,49 \cdot G + 170,45 \cdot \text{Ч}_{\text{II}} + 0,003 \cdot G \cdot \text{Ч}_{\text{II}} + 0,13 \cdot G^2 - 1,92 \cdot \text{Ч}_{\text{II}}^2 + 1,15 \cdot G^3 + 0,007 \cdot \text{Ч}_{\text{II}}^3.$$

Середньоквадратична відносна похибка даного рівняння:

$$\delta = 0,004$$

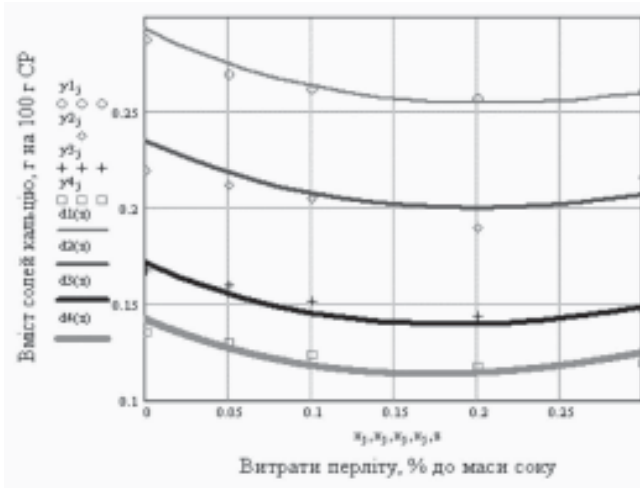


Рис. 2. Залежність вмісту солей кальцію соку II сатурації від витрат перліту при різних чистотах соку (88,0, 88,8, 89,6, 90,5 %)

- кольоровості соку II сатурації

$$\text{К}_{\text{соку II сатурації}} = -85926,87 - 5073,26 \cdot G + 1380,41 \cdot \text{Ч}_{\text{II}} + 51,32 \cdot G \cdot \text{Ч}_{\text{II}} + 1945,23 \cdot G^2 + 1,91 \cdot \text{Ч}_{\text{II}}^2 - 2238,95 \cdot G^3 - 0,07 \cdot \text{Ч}_{\text{II}}^3.$$

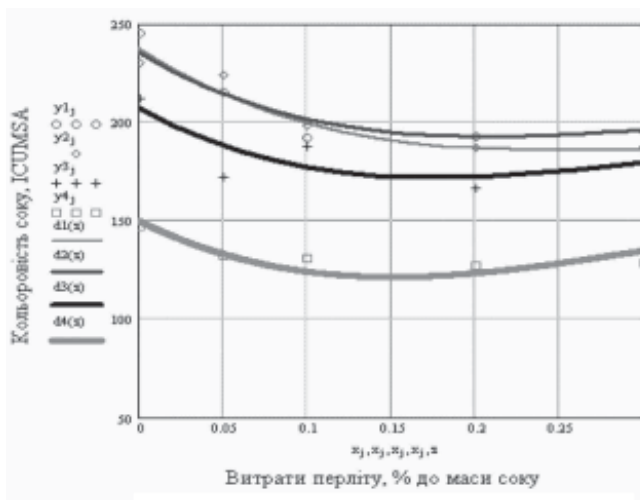


Рис. 3. Залежність кольоровості соку II сатурації від витрат перліту при різних чистотах соку (88,0, 88,8, 89,6, 90,5 %)

Оптимізація очищеного соку II сатурації по узагальненому критерію

У загальному вигляді багатокритеріальна задача оптимізації із загальним (адитивним) критерієм оптимізації має 3 складових (локальних критеріїв — вихідних параметрів процесу):

$$F(x_1, x_2) = ff_1(x_1, x_2)^{\lambda_1} ff_2(x_1, x_2)^{\lambda_2} \times ff_3(x_1, x_2)^{\lambda_3} \rightarrow \max,$$

де $ff_1(x_1, x_2)$ — приріст чистоти соку II сатурації, од; $ff_2(x_1, x_2)$ — вміст солей кальцію в соку II сатурації, г на 100 г СР; $ff_3(x_1, x_2)$ — кольоровості соку II сатурації, од. ICUMSA/100 г СР; x_1 — витрати перліту, % до маси соку; x_2 — початкова чистота соку II сатурації, %; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ — вагові коефіцієнти відповідних локальних критеріїв, для яких $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$.

Оскільки локальні критерії оптимальності — величини різного порядку, то для знаходження узагальненого критерію оптимізації необхідно перевести їх в безрозмірну форму, використавши метод Харрінгтона.

За значеннями локальних параметрів у натуральній формі, відповідно до таблиці бажаностей (табл. 2), з використанням методу лінійної інтерполяції знаходяться значення проміжних параметрів за формулою:

$$fp \leftarrow FP_1 + \frac{(fn - FN) \cdot (FP_{i+1} - FP_1)}{FN_{i+1} - FN}$$

де i — ті значення локального критерію оптимальності в натуральній формі й проміжного параметра, що беруться з табл. 2 ($i = 1, 2, \dots, 6$).

Використання узагальненої функції бажаності вимагає перетворення локальних критеріїв оптимізації з натуральної форми в безрозмірну через значення проміжних параметрів fp за допомогою функції бажаності:

$$fb \leftarrow e^{-fp}$$

Таблиця 2

Інтервали бажаностей локальних критеріїв оптимальності для процесу очищення соку II сатурації із застосуванням фільтроперліту

Локальні критерії оптимальності	Значення бажаностей					
	дуже погано	погано	задовільно	добре	дуже добре	
	0,01	0,20	0,37	0,63	0,80	0,99
$ff_1(x_1, x_2)$, %	0,2	0,56	0,92	1,28	1,64	2,0
$ff_2(x_1, x_2)$, г на 100 г СР	0,288	0,254	0,220	0,186	0,152	0,118
$ff_3(x_1, x_2)$, од. ICUMSA	245,3	221,66	198,02	174,38	150,74	127,10

Оптимальне значення параметрів оптимізації — витрат перліту і чистоти соку II сатурації знаходимо за допомогою максимального значення цільової

функції, використовуючи метод сіток, при рівних значеннях вагових коефіцієнтів $\ddot{\epsilon}_i = 0,33; 0,33; 0,33$ та при $\ddot{\epsilon}_i = 0,5; 0,4; 0,1$, враховуючи важливість факторів: приросту чистоти соку і вмісту солей кальцію.

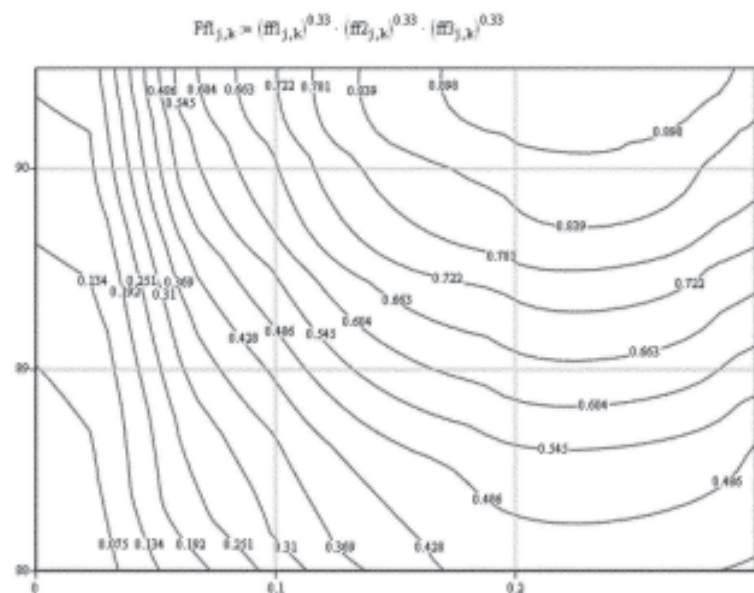


Рис. 4. Лінії рівня узагальненого критерію оптимізації G—Чп

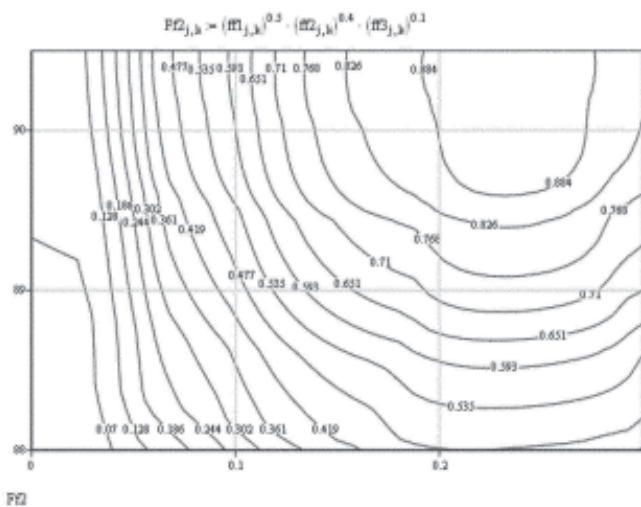


Рис. 5. Лінії рівня узагальненого критерію оптимізації G—Чп

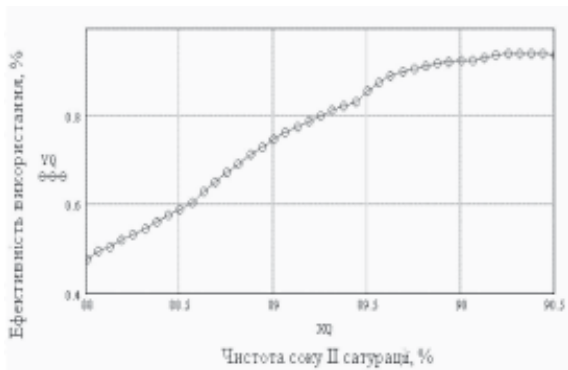


Рис. 6. Визначення еуктивності використання перліту залежності від чистоти соку II сатурації

Лінії рівня узагальненого критерію оптимальності показано на рис. 4 і 5.

Із рис. 4 і 5 видно, що оптимальні витрати перліту при очищенні соку II сатурації складають 0,2 — 0,3 % до маси соку.

На рис. 6 отримана ефективність використання перліту при різних чистотах соку II сатурації (88,0, 88,8, 89,3, 90,5).

Із рис. 6 видно, що фільтроперліт доцільно використовувати при очищенні соку середньої якості.

Висновки. Використання фільтроперліту як додаткового природного реагенту в кількості 0,2% до маси соку дає можливість підвищити чистоту очищеного соку II сатурації в середньому на 1,7% за рахунок збільшення повноти осадження високомолекулярних сполук на 54,1%, солей кальцію на 12,7% та кольоровості на 19,2%, що сприятиме зменшенню в'язкості соку і сиропу, покращенню кристалізаційної здатності продуктів, підвищенню виходу цукру на 0,36% і його якісних показників.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рева Л.П., Щербатюк О.С. Застосування природних дисперсних мінералів при очищенні дифузійного соку // Наукові праці УДУХТ. — 2001. — №10. — С. 26 — 27.
2. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. — К.: Наук. Думка, 1981. — 208 с.
3. Новое в фильтровании сахарных сиропов //Обзор информ. / ЦНИИТЭИ пищепром. — 1984. — Вып. 10.
4. Савостин А.В. Разработка способов снижения накипеобразования при выпаривании соков свеклосахарного производства: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.18.05 / Московская. Госуд. Академия пищ. производств. — М., 1993. — 19 с.
5. Кравец Я.О. Новый эффективный способ умягчения соков и сиропов сахарного производства // Цукор України. — 2007. — № 3. — С. 19 — 20.
6. Лосева В.А. Интенсификация очистки соков и сиропов в сахарном производстве. — Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. — 173 с.
7. Рева Л.П., Пушанко Н.М., Замура С.А. Підвищення ефективності очищення дифузійного соку обробленням його фільтроперлітом // Цукор України. — 2007. — № 5 — 6. — С. 18 — 21.

Одержана редколлегією 18.05.2009 р.

Г.В. СМІРНОВА

О.О. МАЗУРЕНКО

О.Г. МАЗУРЕНКО, доктор технічних наук

В.С. СМІРНОВ, доктор технічних наук

Національний університет харчових технологій

АЧХ-ТЕСТИ ДЛЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

Розглянуто метод контролю технологічних середовищ: електролітів, мікробних сумішей, напоїв тощо для їх стандартизації та оперативної ідентифікації. Тестування використовує амплітудно-частотні характеристики дослідних продуктів і ґрунтується на теоретичних основах електротехніки.

Ключові слова: амплітудно-частотні характеристики, резонанс напруги, ідентифікація.

Рассмотрен метод контроля технологических сред: электролитов, микробных смесей, напитков и др. для их стандартизации и оперативной идентификации. Тестирование использует амплитудно-частотные характеристики исследуемых продуктов и основывается на теоретических основах электротехники

Ключевые слова: амплитудно-частотные характеристики, резонанс напряжений, идентификация.

Харчові продукти виготовляють за технологіями, які гарантують відповідність його якісних характеристик стандарту. Не відповідність — є його фальсифікацією, а в деяких випадках небезпечною для споживачів. На підприємствах та в службах державного контролю передбачається вибірковий лабораторний контроль продукту із партії (серії), що є недостатнім. Оскільки на ринках збуту присутня велика кількість продуктів різного походження, розглядаються можливості організації моніторингу їх якості, який буде доступний як споживачам, так і персоналу, що обслуговує технологічні процеси. Певні переваги для створення такого контролю має електротехнічний. Для його здійснення використовують методи, які передбачають безпосереднє вимірювання електропровідності або діелектричної проникності дослідного продукту [1, 2], але їх реалізація ускладнюється труднощами пов'язаними зі складністю апаратури контролю та нестійкістю молекулярної структури рідини. Можна вважати аксіомою, що стандартний продукт характеризується областю стандартних електропровідностей (χ) та діелектричних проникностей (ϵ) — 1, а не стандартний — областю їх не стандартних значень — 2. Области представляють n-вимірний простір електротехнічних характеристик, який однозначно характеризує вид рідинного продукту (РП). В цьому випадку об'єкт контролю є відображенням у цьому просторі параметрів. Електротехнічна стандартизація РП прийнятна якщо області 1 та 2 не співпадають, не перехрещуються, а засоби вимірювання електричних параметрів здатні їх розрізнити.

Мета роботи: дослідити кінцеву множину амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) РП з заданими фізико-хімічними характеристиками та виявити пріоритетні показники для її ідентифікації та стандартизації.

Апробацію АЧХ-тестів здійснювали на базі іонної схеми, яка містить задаючий генератор (ЗГ) частоти — джерело живлення, підключений до послідовного кола з обмежуючим резистором, котушкою індуктивності та електролітичною коміркою (ЕК) з дослідною рідиною. При налагоджуванні іонної схеми випробували ЕК з різним співвідношенням довжини (l) до діаметру (d), для $l = d$ одержали $\chi = r_{ЕК}$, $\epsilon = C$, де $r_{ЕК}$, C — відповідно невідомі активний опір та ємність ЕК. ґрунтуючись на теоретичних положеннях електротехніки, можна вважати, що електропровідність та діелектрична проникність однозначно зв'язані з активною та реактивною (ємнісною) складовою повного опору РП [3], а спад напруги на елементах іонного кола є їх побічними характеристиками. Реактивні опори котушки

$x_1 = j \omega L$, ЕК $x_{ЕК} = -j / \omega C$. Повний опір спрощеної електричної схеми

$$z(\omega) = (r_0 + r_k + r_{ЕК}) + j(\omega L - 1 / \omega C), \quad (1)$$

$$\omega = 2 \pi f,$$

де $r_0 = 2,7$ кОМ — обмежуючий опір; $r_k = 332$ Ом — активний опір котушки; $L = 0,32$ Гн; f — частота електричного сигналу. Опори обмежуючого резистору та котушки підбирали в залежності від виду РП за умовою $x_1 < x_{ЕК}$. В процесі досліджень частоту ЗГ змінювали у межах 20...2000 Гц та вольтметром контролювали спад напруги U на елементах схеми. За результатами вимірювань одержували залеж-

ності $U(f)$. Особливу увагу звернули на залежність $U_{ЕК}(f)$ та пріоритетні показники f_0, U_0 , які характеризують досягнення в іонній схемі резонансного режиму ($x_L = x_{ЕК}$). В деяких випадках перевіряли функціональний зв'язок напруг АЧХ з якісними показниками продукту та оцінювали його електропровідність $\chi = r_{ЕК} \times s / l$ і діелектричну проникність $\epsilon = l / (\omega_0^2 Ls)$, де s — переріз електродів ЕК. Принципи ідентифікації базуються на використанні АЧХ РП в заданій rL -ЕК схемі, зрівноваженні відомих r — L параметрів з невідомими $r_{ЕК}$ — C шляхом створення примусового резонансу, в даному випадку, напруг. Значення f_0, U_0 розглянули як варіант стандартної характеристики РП. Параметри r_0 — r_k обмежують формат площини АЧХ по вертикалі, rL — по горизонталі. Діапазон частот ЗГ підбирають по співвідношенню опорів x_1 та $x_{ЕК}$.

Досліджували АЧХ електролітів з p, d, s іонами металів, концентрація яких $\Gamma / л$. Надаються результати для іонів цинку, свинцю, кадмію, заліза, магнію, алюмінію, а також композиції кадмію з свинцем, залізом, цинком, натрієм, масові частки (МЧ) компонентів однакові. Результати електротехнічного тестування іонів (ЕТІ) надані в таблицях 1, 2.

Таблиця 1

Вплив іонів на спад напруги на резонансній частоті

Вид іону	Zn	Pl	Mg	Al	Cd	Fe
U_0 , мВ	80	19	8	24	13	70
f_0 , кГц	6.5	8	8	7	7.5	7

Таблиця 2

Вплив композицій іонів на спад напруги в ЕК на резонансній частоті

Вид іону	Cd — Zn	Cd — Pl	Cd — Na	Cd — Fe
U_0 , В	4.2	4	3.5	3
f_0 , кГц	14.8	15	14.5	16

Показники ЕТІ — діапазон напруг та частот для однорідних систем $8 \leq U_0 \leq 80, 6500 \leq f_0 \leq 8000$. Аналіз результатів експериментів показує, що за величиною напруги розглянуті електроліти доцільно поділити на підгрупи 8 і 13, 19 і 24, 70 і 80, кожна підгрупа характеризується відносно близькими електропровідностями, але за частотою, яка функціонально зв'язана з діелектричною проникністю, вони складають одну групу. В композиційних системах кадмій створює одну групу електролітів як за напругою, так і за частотою. Звертає увагу, що ЕТІ базових композицій кадмію суттєво відрізняються від ЕТІ окремих одномірних складових. За даними таблиці 1 показники ЕТІ в групі одномірних композицій є однією із ознак виду іону: частота характеризує належність дослідного зразка електроліту до заданої групи, а напруга — до підгрупи. Результати електротехнічного тестування олій (ЕТО) виробничих марок: 1 — Чумак, 2 — з базару (для по-

рівняння), 3 — Славоля, 4 — Щедрий дар, 5 — Олейна представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Електротехнічні характеристики олій

№ Олії	1	2	3	4	5
U_0 мВ	93	88	105	97	95
f_0 кГц	5.05	5	5.3	5.15	5.07

Показники ЕТО $88 \leq U_0 \leq 105, 5000 \leq f_0 \leq 5300$. Мінімальні значення напруги та частоти має олія з базару. Максимальні — у марки (технології) Славоля. Зміна двох складових індексів синхронна. Якщо припустити, що якісні показники олії з базару найгірші, в цьому випадку зробили припущення, що більш високі значення напруги та частоти можуть свідчити про кращу якість. Аналіз індексів ЕТО показує — реактивний опір олій значно більший ніж активний. Як бачимо в групі з п'яти зразків, з нашого погляду, показники ЕТО за частотою характеризують вид продукту, а за напругою його марку або технологію.

На замовлення виробничників досліджували АЧХ ординарних коньячних виробів — п'ять зірочок (1), чотири (2), три (3), а також два сфальсифікованих зразка (4, 5). За ДСТУ для кожного їх виду задаються вимоги до органолептичних та фізико-хімічних показників, серед яких: міцність, концентрації цукру, метилового спирту, міді та заліза. Окремі результати досліджень представлені в таблиці 4.

Таблиця 4

Електротехнічні ознаки дослідних коньяків

Марка коньяку	1	2	3	4	5
U_0 мВ	480	310	245	740	520
f_0 кГц	2	2	2	2	2

Аналіз результатів попередніх досліджень показує, що ординарні коньяки можна відобразити на площині АЧХ в діапазоні $245 \leq U \leq 480$ та $f \leq 2000$ Гц. Оскільки показники напруг дослідних зразків суттєво відрізняються, вони є однією із ознак їх відповідності ДСТУ.

Досліджували АЧХ харчових спиртів. Якість спирту регламентується ДСТУ, в якій п'ятнадцять позицій. Наведено дані для чотирьох — альдегідів (А), сивушного масла (С), естерів (Е) та міцності (М), які мають наступні значення (МЧ мг/дм³ для А, С, Е) відповідно: 2, 2, 2, 4; 2, 2, 3, 4; 1.5, 2, 3, 5; 96.3, 96.3, 96.3, 96. Результати досліджень представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Вплив фізико-хімічних характеристик спиртів на спад напруги в ЕК

Марка коньяку	1	2	3	4	5
U_0 мВ	480	310	245	740	520
f_0 кГц	2	2	2	2	2

Враховуючи особливості ДСТУ, для обґрунтування використання показників ЕТС перевірили наявність функціонального зв'язку електротехнічних показників з наведеними вище фізико-хімічними. Виконували факторні експерименти, будували та досліджували системну модель

$$\sum_{j=1}^8 a_{j1} + a_{j2} A_j + a_{j3} C_j + a_{j4} E_j + a_{j5} M_j = U_{fj}, \quad (2)$$

де a_{ij} — невідомі коефіцієнти, значення U відповідає частотам 8...10 кГц.

Виявлення впливу якісних показників спирту на АЧХ здійснювали за розробленою програмою на ПК. Вирішували задачу — максимально ототожнити об'єкт дослідження з обраною математичною моделлю. За результатами моделювання (2) одержано

$$U(A, C, E, M) = 1.23 - 1.32 A - 9.53 C + 0.38 E + 18.2 M, \quad (3)$$

з коефіцієнтами кореляції 0.987, точністю 12 %.

З (3) можна зробити висновок, що основний вплив на напругу АЧХ здійснюють міцність (найбільший) та сивушне масло. За результатами експериментів показники ЕТС — $3.6 \leq U_0 \leq 4.3$, $16.9 \leq f_0 \leq 17.2$. Мінімальні значення напруги та частоти має перший тип, максимальні — четвертий. Зміна двох складових індексів синхронна. Аналіз результатів експериментів показує, що реактивний опір спиртів значно більший ніж активний, функціональний зв'язок показників ЕТС з розглянутими МЧ спирту встановлений з точністю 12%, що для процедур тестування може бути прийнятним. Показники ЕТС для досліджуваних зразків спирту характеризують його площину на АЧХ, але для оцінки прийнятності тестів необхідно врахувати повний комплект даних ДСТУ, а також вплив відповідних домішок. На замовлення виробників досліджували харчові спирти з домішками етилен глюकोлю (ЕГ) та пропілового спирту (ПС). Спільно з проф. П. Л. Шияном та доц. Т.О. Мудрак оцінювали можливості їх виявлення. МЧ домішок в дослідних зразках задавали відповідно 0.5, 2 (1), 1, 1.5 (2), 1.5, 1 (3), 2, 0.5 (4). Результати досліджень представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

**Вплив домішок ЕГ та ПС
в спирті на спад напруги в ЕК**

№ зразку	1	2	3	4
U_0 В	3.4	3.5	3.7	4.4
f_0 кГц	17.5	17.8	18	18

Результати експериментів показують, що напруги харчового спирту з домішками ЕГ та ПС практично створюють одну групу з "чистими" спиртами. Перевіряли достовірність цього впливу шляхом математичного моделювання результатів факторного експерименту. Одержали рівняння регресії

$U = 1.2EG + 1.78PS$ з точністю 5.7% з коефіцієнтом кореляції 0.99, що показує чутливість АЧХ тестів до цих домішок. З нашого погляду показник f_0 в загальному випадку характеризує вид продукту. Приблизну ідентифікацію харчового спирту потрібно виконувати в комплексі — за двома показниками, а для вимірювань використовувати чутливі цифрові прилади.

Спільно з проф. Т.П. Пирог досліджували АЧХ-тести бактеріальних середовищ (БС). Наводимо наступні: Bac. Subtilis (1), Micrococcus albus (2), Clostridium butisricum (3). Розглянули їх характеристики — рухливість та геометричні розміри у відносних одиницях відповідно 0.5, 0.01, 1, та 2, 12, 0.03. Результати ЕТБС та їх композицій 1 і 2 (4) та 1 і 3 (5) з МЧ 0.7 та 0.3 представлені в таблиці 7.

Таблиця 7

Відображення дослідних БС у площині напруг на резонансній частоті

№ БС	1	2	3	4	5
U_0 мВ	720	9,8	290	100	700
f_0 Гц	14,2	12,4	14,8	14,6	14,8

Показники ЕТБС — для однорідних БС $9.8 \leq U_0 \leq 720$, $12400 \leq f_0 \leq 14800$. Аналіз результатів експериментів показує, що однорідні БС за індексами напруги суттєво відрізняються, що є певною їх ознакою, але за частотою вони складають одну групу. В неоднорідних композиціях спостерігається не пропорційне реагування загального індексу напруг на складові 2 та 3. Резистивну складову повного опору ЕК представляли у вигляді двох нелінійних паралельно з'єднаних елементів, які характеризують МЧ БС 1 і 2 та 1 і 3. Попередні результати експериментів вказують, що електротехнічні вимірювання — АЧХ-тести для певних РП дають можливість їх ідентифікувати та одержати електротехнічні стандарти. Кількість ознак для процедури АЧХ-тестів залежить від вимог до ідентифікації, кількості контролюємих параметрів за ДСТУ, складу дослідного продукту тощо.

Висновки. Для стандартизації та оперативної ідентифікації запропоновані процедури АЧХ-тестів та їх апаратурна реалізація, що дає можливість виявити електротехнічні особливості видів РП та оцінювати дослідні зразки по відповідності фактичних електричних показників заданим.

ЛІТЕРАТУРА

1. Смірнов В. Електрометричне тестування якісних характеристик молока і молочних виробів // Зб.наук. пр. — К.: Український державний університет харчових технологій. — 1998. — №4. — С.48-49.

2. Смірнов В.С. Електричні характеристики як об'єкти ідентифікації рідин з солями металів. Харчова промисловість № 4. — 2005. — С.95-97.

З. Ашуева Т., Кирнос Л., Суржик Т., Смирнов В.
Эффективная электрическая проводимость и диэлектрическая проницаемость гетерогенных сред в переменном поле /

/ Праці Інституту електродинаміки НАН України. — К. : — 1999 — С. 13-17.

Одержана редколлегією 27.05.09 р.

УДК 519.863

А.А. ПАЛАШ, інженер,
С.А. БУТ, кандидат технічних наук,
В.М. ТАРАН, доктор технічних наук
Національний університет харчових технологій

ТЕРМОДИНАМІКА І МАСООБМІН В ПРОЦЕСАХ АЕРАЦІЇ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ

Виконано аналіз і оцінку впливів змінних тисків над культуральними середовищами у мікробіологічних виробництвах з метою інтенсифікації процесів масообміну.

Ключові слова: газорідинні середовища, аерація, масообмін, гідродинаміка.

Виполнен анализ и оценка влияния изменяющегося давления над культуральными средами в микробиологических производствах с целью интенсификации процессов массообмена.

Ключевые слова: газожидкостные среды, аерация, массообмен, гидродинамика.

В значній кількості випадків харчові і мікробіологічні технології ґрунтуються на використанні однофазних або кількофазних систем. Перші з них відносяться до гомогенних, а другі є гетерогенними системами. При цьому фазою називають частину системи, відокремлену від її інших частин поверхнею поділу, перехід через яку супроводжується стрибкоподібною зміною властивостей. Утворення водопарових або водогазових гетерогенних систем у більшості пов'язано зі зміною їх енергетичних потенціалів, а тому зміна останніх за рахунок зовнішніх впливів або за рахунок зміни окремих термодинамічних параметрів приводить до перебігу їх до нових станів рівноваги.

Наслідком останніх є помітна інтенсифікація процесів тепло- і масообміну на поверхні поділу фаз, що знаходить використання, наприклад, в дискретно-імпульсних технологіях, процесах аерації рідинних середовищ або навпаки в режимах їх деаерації (дегазації) тощо.

До числа важливих чинників гетерогенних систем відносяться тиски, від діапазону зміни яких можливо досягти або навпаки ліквідувати режими фазових переходів, що характеризуються інтенсифікацією процесів тепло- та масообміну. Проте і у випадках значно менших змін тисків досягаються помітні впливи на перебіг вказаних процесів [1-4].

Метою цього дослідження визначено оцінку впливів змін тиску в гетерогенній системі на ефективність аерації культуральних середовищ для ви-

рощування мікроорганізмів. При цьому вважаємо, що введення повітряної фази в рідинну досягається за рахунок барботажних газорозподільчих елементів, а інтенсифікація масообміну — за рахунок змінних тисків у газовій фазі над газорідинним середовищем.

За вказаних умов прискорення масообміну пояснюється трансформацією диспергованої газової фази, в якій має місце як зміна поверхні масопередавання S , так і впливи на коефіцієнт масопередавання k_m та на рушійний фактор процесу через сталу насичення c_n рідинної фази відповідним газом.

При цьому маємо залежність, що визначає швидкість розчинення, наприклад, кисню

$$\frac{dM_{O_2}}{dt} = k_m S (c_n - c_\tau), \quad \text{кг/с}, \quad (1)$$

де c_0 — плинна концентрація розчиненого газу, кг/м^3 .

Кисень відноситься до малорозчинних газів, що визначає головний опір масопередаванню у такій складовій, як рідинна плівка навколо газової бульбашки. Оскільки рідинна плівка за деформації бульбашок оновлюється як за збільшення так і за зменшення останніх, це означає позитивний з точки зору інтересів масообміну вплив. Разом з тим вплив на параметри S та c_n має подвійний характер, оскільки перший з них за зростання тиску зменшується, а другий — зростає. Окрім того, відгуком диспергованої газової фази на зміну тиску в системі має бути зміна температури. При цьому можуть мати

місце два крайніх режими, а саме ізотермічний та адіабатний, які відповідають граничним впливам. Очевидно, що ізотермічному стисканню газових бульбашок відповідають відносно повільні зміни тисків, а адіабатним режимам — швидкоплинна зміна останніх.

В ізотермічному процесі тиски P і об'єми V диспергованої газової фази пов'язані залежністю

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}, \quad (2)$$

а у адіабатному маємо

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^k, \quad (3)$$

де $k = 1,4$ — показник адіабати.

Відносні зміни окремих газових бульбашок сферичної форми можливо розповсюдити на весь їх масив, що знаходиться у рідинній фазі. У зв'язку з цим визначимося з такими змінами.

Об'єм і поверхня окремої бульбашки визначаються формулами:

$$V_6 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3; \quad S_6 = 4\pi r^2 = \pi d^2, \quad (4)$$

де d — діаметр бульбашки.

Якщо позначити об'єми бульбашок до деформації V_{61} , а після — V_{62} , то в умовах ізотермічного процесу одержуємо

$$V_{62} = \frac{P_1 V_{61}}{P_2}. \quad (5)$$

Підстановкою умови (4) в умову (5) приходимо до форми

$$\frac{1}{6}\pi d_2^3 = \frac{\pi P_1 d_1^3}{6P_2}; \quad d_2 = d_1 \sqrt[3]{\frac{P_1}{P_2}}. \quad (6)$$

При цьому відношення поверхонь складає:

$$\frac{S_{62}}{S_{61}} = \left(\sqrt[3]{\frac{P_1}{P_2}}\right)^2 = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{0,667}. \quad (7)$$

Відповідно для адіабатного процесу маємо

$$V_{62} = V_{61} \sqrt[k]{\frac{P_1}{P_2}}; \quad (8)$$

$$\frac{S_{62}}{S_{61}} = \left(\sqrt[k]{\frac{P_1}{P_2}}\right)^2 = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{0,333}, \quad (9)$$

Результати розрахунків за формулою (7) стосовно ізотермічного процесу та за формулою (9) для адіабатного процесу наведені у табл. 1 та на рис. 1. Як видно з наведених даних співвідношенню $P_2 > P_1$ відповідає значніше збільшення S_{62}/S_{61} в ізотермічному процесі порівняно з адіабатним і зворотній результат має місце при $P_2 < P_1$. Очевидно, що сукупності політропних процесів відповідають заштриховані зони між вказаними гілками залежностей на рис. 1. Як бачимо, глибина відгуку систем за показником відносної поверхні контакту фаз залежить від того, якому процесу відповідає режим зміни тиску P_2 .

У зв'язку з останнім можливо зробити висновок про те, що з метою одержання збільшених значень S_{62} нарощування тиску P_2 слід обирати з такою швидкістю, яка відповідає ізотермічному стисканню газової фази. Разом з тим зниженню тиску має відповідати швидкоплинний процес, який забезпечить наближення до адіабатних умов його перебігу.

На рівень доцільності використання адіабатних або ізотермічних процесів у впливах на дисперговану газову фазу вказують порівняльні оцінки. Так збільшення співвідношення S_{62}/S_{61} у ізотермічному процесі порівняно з адіабатним при значення $P_1/P_2 = 0,2$ складає 34,8 %, а при значення $P_1/P_2 = 2,8$ на 23,9 % переважає адіабатний процес. Це означає, що нарощування тиску доцільніше здійснювати сповільнено, тоді як зниження — прискорено.

Разом з тим зростання тиску в системі підвищує сталу насичення s_n і про-тилежний результат має зниження тиску. Інтегральну оцінку впливам, пов'язаним зі змінами тиску здійсни-

Таблиця 1

Дані розрахунків щодо визначення залежностей $\frac{S_{62}}{S_{61}} = \frac{S_{62}}{S_{61}} \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$ в ізотермічному та адіабатному процесях

P_1/P_2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
Ізотермічний процес S_{62}/S_{61}	0,215	0,342	0,543	0,711	0,862	1,0	1,129	1,252	1,368	1,480	1,588	1,692	1,793	1,891	1,988
Адіабатний процес S_{62}/S_{61}	0,117	0,223	0,425	0,621	0,812	1,0	1,185	1,369	1,550	1,730	1,910	2,086	2,263	2,439	2,613

Таблиця 2

Розрахункові дані щодо оцінки впливів зміни тисків на швидкість розчинення кисню в умовах ізотермічного процесу

$P_{(г)}/P$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
$\frac{dM_{O_2}}{dt}$, кг/с	0,0164	0,0125	0,01	0,0085	0,0075	0,0068	0,0062	0,0057	0,00526	0,00477	0,0043	0,00388	0,00349	0,00312	0,00277

мо на основі рівняння (1). З врахуванням одержаних залежностей, що стосуються поверхонь поділу фаз, запишемо

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_m S_{(n)} \left(\frac{P_{(n)}}{P} \right)^{0,667} \left(c_{n(n)} \frac{P}{P_{(n)}} - c_\tau \right) \quad (10)$$

для ізотермічного процесу, а для адіабатного маємо:

$$\frac{dM_{O_2}}{d\tau} = k_m S_{(n)} \left(\frac{P_{(n)}}{P} \right)^{0,933} \left(c_{n(n)} \frac{P}{P_{(n)}} - c_\tau \right), \quad (11)$$

де доданий індекс (п) означає початковий параметр процесу; P — плинне значення тиску.

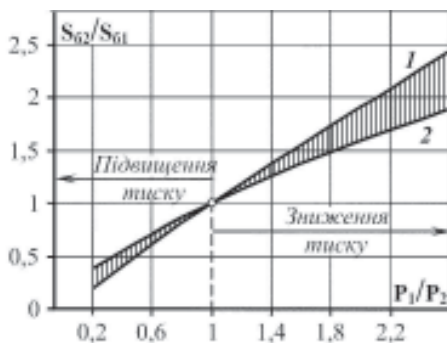


Рис. 1. Залежність співвідношень поверхонь масопередавання від співвідношень тисків в умовах адіабатного (1) та ізотермічного (2) процесів

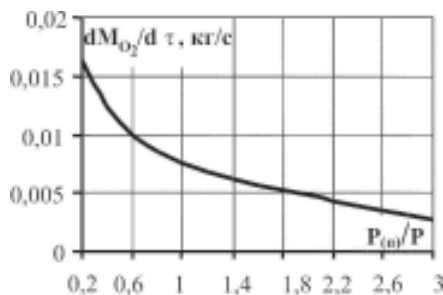


Рис. 2. Залежність швидкості розчинення кисню від співвідношення тисків в системі в умовах ізотермічного процесу

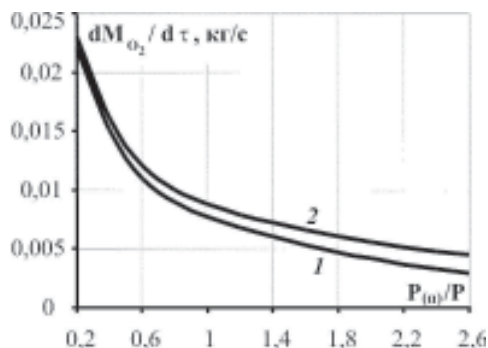


Рис. 3. Залежність швидкості розчинення діоксиду вуглецю від співвідношення тисків: 1 — за плинної концентрації розчиненого кисню $0,002 \text{ кг/м}^3$; 2 — за плинної концентрації $0,001 \text{ кг/м}^3$

У відповідності до запису умов (10) та (11) видно, що зростання плинного тиску P міжфазну поверхню масообміну зменшує, а рушійний фактор збільшує. Для одержання порівняльних характеристик прийmemo одиничні значення $k_m = 1$ та $S_{(n)} = 1$. Приймемо також початкові параметри тиску сталої насичення і плинної концентрації розчиненого O_2 :

$P_{(n)} = 0,12 \text{ МПа}$; $c_{n(n)} = 0,01 \text{ кг/м}^3$; $c_\tau = 0,002 \text{ кг/м}^3$.

Результати розрахунків щодо ізотермічного процесу наведені в табл. 2, та на рис. 2, а стосовно адіабатного — на рис. 3.

Висновки. 1. Як видно з розрахункових даних, зростання тиску в системі через вплив за чинником c_n супроводжується інтенсифікацією масообміну, хоча при цьому за інших рівних умов має місце зменшення поверхні масопередавання. Окрім того підтверджується доцільність вибору геометричних параметрів ізооб'ємних апаратів зі зростанням співвідношення висоти шару рідинної фази до площі перерізу.

2. Гідродинамічний стан газорідинних середовищ визначається співвідношенням в них рідинної і газової фаз. Накладання пульсаційних режимів доцільніше виконувати через зміни тисків в газових об'ємах апаратів, що забезпечить відсутність будь-яких локальних зон без таких впливів. Деформації диспергованої газової фази за зміни тисків приводять до зміни об'ємів газової фази або утримувальної здатності. Наслідком останніх є зміни висоти газорідинного середовища і порушення усталених режимів в циркуляційних контурах. Перехід до неусталених режимів гідродинаміки і масообміну процесів означає можливість інтенсифікації останніх.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарских дрожжей и его аппаратурного оформления. Автореф. дисс. на соиск. ученой степени д.т.н., К.: — 1984. — 31 с.
2. Піддубний В.А. Интенсификация масообміну в апаратах для вирощування мікроорганізмів // Харчова і переробна пром-сть. — № 11. — 2006. — С. 17-19.
3. Соколенко А.І., Піддубний В.А., Українець А.І. та ін. Використання потенціалу масових сил для інтенсифікації масообміну в рідинних і газорідинних потоках // Харчова і переробна пром-сть. — № 3. — 2007. — С. 15-17.
4. Бондар О.А., Костюк В.С. Гідродинаміка аераційних систем аеротенків // Харчова і переробна пром-сть. — № 7. — 2008. — С. 60-63.

Одержано редколегією 20.01.09

О.П. ЛОБОК, кандидат фізико-математичних наук
 Б.М. ГОНЧАРЕНКО, доктор технічних наук
 Національний університет харчових технологій

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНИХ АСИМПТОТИЧНО СТІЙКИХ СПОСТЕРІГАЧІВ НЕПОВНОГО ПОРЯДКУ ДЛЯ ЛІНІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ БАГАТОВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ

В даній роботі розв'язується задача побудови оптимальних спостерігаючих пристроїв неповного порядку у розвиток попередніх робіт стосовно повного порядку. Критерієм оптимальності є функціонал похибок оцінювання вектора стану багатовимірних об'єктів керування. Спостерігачі представлені у вигляді деяких систем звичайних диференціальних рівнянь, порядок яких менший від порядку об'єкта керування.

Ключові слова: оцінка стану, оптимізація, спостерігач неповного порядку, принцип максимуму Понтрягіна, метод множників Лагранжа.

В данной работе решается задача построения оптимальных наблюдающих устройств неполного порядка в развитие предыдущих работ, касавшихся полного порядка. Критерием оптимизации является функционал ошибок оценивания вектора состояния многомерного объекта управления. Эти наблюдатели представлены в виде некоторых систем обыкновенных дифференциальных уравнений, порядок которых меньше порядка объекта управления.

Ключевые слова: оценка состояния, оптимизация, наблюдатель неполного порядка, принцип максимума Понтрягина, метод множителей Лагранжа.

Синтез спостерігаючих пристроїв є однією з важливих задач теорії оптимального керування, від якісного розв'язання якої залежить точність регулювання багатопараметричних об'єктів. Відомі підходи до розв'язання цієї задачі дозволяють будувати асимптотично стійкі спостерігачі повного та неповного порядку, матриці підсилення яких вибираються неоднозначно [1,5,6]. Зауважимо, що задача побудови редукованих, тобто пониженого порядку, спостерігаючих пристроїв розглядалась ще Люенбергером [6], який запропонував конструктивний підхід для їх побудови, причому характеристичні числа спостерігача, що визначають швидкість згасання похибки спостереження, можна було брати довільно. Ці спостерігачі на жаль не є оптимальними.

В даній роботі пропонується алгоритм синтезу оптимальних редукованих спостерігачів, які мінімізують функціонал похибок оцінювання вектора стану об'єкта при скінченному та нескінченному часі спостереження. Тобто, розглядається задача оптимального оцінювання частини невимірюваних координат (параметрів) вектора стану за умови, що інша частина координат доступна для вимірів.

Отже, нехай деякий узагальнений багатопараметричний динамічний об'єкт описується наступною системою звичайних диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = x^0, \end{cases} \quad (1)$$

де $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ — n — вимірний вектор параметрів стану об'єкта, (тут і далі « T » — операція транспонування вектора або матриці), A — матриця розмірності $n \times n$, $u=(u_1, u_2, \dots, u_m)^T$ — m — вимірний вектор керування, B — матриця розмірності $n \times m$, що визначає канали керування, $x^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)^T$ — початковий вектор стану об'єкта, t_0, T — початковий та кінцевий момент часу спостереження за параметрами об'єкта.

Допустимі спостереження за параметрами стану об'єкта опишемо наступною моделлю

$$y(t) = Cx(t), \quad t_0 < t \leq T, \quad (2)$$

де $y=(y_1, y_2, \dots, y_p)^T$ — вектор результатів вимірів (спостереження) за деякими параметрами об'єкта, C — задана матриця спостереження розмірності $p \times n$, яка визначає множину вимірюваних параметрів або їх комбінацію.

Задача полягає в тому, щоб за результатами вимірів (2), відновити всі параметри об'єкта, тобто знайти оцінку $\hat{x}(t)$ вектора стану $x(t)$, яка з плином часу наближалась би до вектора $x(t)$, тобто з умови $\hat{x}(t) \rightarrow x(t)$ при $t \rightarrow \infty$. Для розв'язання цієї задачі можна використати спостерігачі повного порядку [1]. Але приймаючи до уваги те, що частина

параметрів або їх комбінацій вже відомі зі спостережень (2), доцільно будувати оптимальні редуковані спостерігачі, тобто неповного або пониженого порядку. Для цього розглянемо вектор розмірності $(n-p)$ невимірюваних координат або їх комбінацій, який позначимо через $r(t)$ і представимо у вигляді

$$r(t) = Dx(t), \quad (3)$$

де D — відома (задана) матриця, за допомогою якої можна сформулювати вектор $r(t)$ невимірюваних координат вектора стану $x(t)$. Тоді одержимо

$$\begin{pmatrix} y \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C \\ D \end{pmatrix} x, \text{ звідки } x = \begin{pmatrix} C \\ D \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} y \\ r \end{pmatrix} \text{ за припущення, що}$$

матриця $L = \begin{pmatrix} C \\ D \end{pmatrix}^{-1}$ існує.

Позначимо через $L = [L_1 : L_2]$, де L_1, L_2 — блочні прямокутні матриці розмірностей відповідно $p \times r$ та $(n-p) \times r$. Тоді будемо мати

$$x = L \begin{pmatrix} y \\ r \end{pmatrix} = [L_1 : L_2] \begin{pmatrix} y \\ r \end{pmatrix} = L_1 y + L_2 r.$$

Використовуючи останнє співвідношення, а також рівняння (1)-(3), знайдемо рівняння для вектора $r(t)$

$$\frac{dr(t)}{dt} = DAL_1 y(t) + DAL_2 r(t) + DBu(t). \quad (4)$$

Щоб визначити вектор спостереження для системи (4), продиференціюємо рівняння спостереження (2)

$$\frac{dy(t)}{dt} = C \frac{dx(t)}{dt} = CAL_1 y(t) + CAL_2 r(t) + CBu(t). \quad (5)$$

Якщо ввести позначення

$$y_r(t) = \frac{dy(t)}{dt} - CAL_1 y(t) - CBu(t), \quad Cr = CAL_2, \quad (6)$$

то з (5) одержимо

$$y_r(t) = C_r r(t). \quad (7)$$

Спостерігач для вектора $r(t)$ можна побудувати за аналогією з математичною моделлю (4), (7) цього вектора, тобто у вигляді спостерігача повного порядку виду

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{r}(t)}{dt} = DAL_2 \tilde{r}(t) + DAL_1 y(t) + DBu(t) + K(y_r(t) - C_r \tilde{r}(t)), \\ \tilde{r}(t_0) = \tilde{r}^0, \end{cases}$$

де K — матриця підсилення спостерігача розмірності $(n-p) \times p$, \tilde{r}^0 — заданий початковий стан спостерігача.

Враховуючи (6), останнє рівняння можна представити у вигляді

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{r}(t)}{dt} = (D-KC)AL_2 \tilde{r}(t) + (D-KC)AL_1 y(t) + (D-KC)Bu(t) + K \frac{dy(t)}{dt}, \\ \tilde{r}(t_0) = \tilde{r}^0. \end{cases}$$

Щоб уникнути необхідності диференціювання в правій частині останнього рівняння вектора спостереження $y(t)$, зробимо заміну змінних

$z(t) = \tilde{r}(t) - Ky(t)$, після чого одержимо рівняння для $z(t)$

$$\begin{cases} \frac{dz(t)}{dt} = (D-KC)AL_2 z(t) + (D-KC)A(L_1 + L_2 K)y(t) + (D-KC)Bu(t), \\ z(t_0) = \tilde{r}^0 - Ky(t_0). \end{cases} \quad (8)$$

Таким чином, оцінка вектора $r(t)$ має вид

$$\tilde{r}(t) = z(t) + Ky(t), \quad (9)$$

де $z(t)$ — є розв'язком рівняння (8), а оцінка вектора стану об'єкта $x(t)$ буде визначатись за формулою

$$\tilde{x}(t) = L_1 y(t) + L_2 \tilde{r}(t). \quad (10)$$

Використовуючи співвідношення (4), (9) та (8), знайдемо рівняння, якому задовольняє динамічна похибка оцінювання невимірюваних параметрів вектора стану об'єкта $e(t) = r(t) - \tilde{r}(t)$

$$\begin{cases} \frac{de(t)}{dt} = (D-KC)AL_2 e(t), \\ e(t_0) = e^0, \end{cases} \quad (11)$$

де $e^0 = r(t_0) - \tilde{r}(t_0) = Dx(t_0) - \tilde{r}(t_0) = Dx^0 - \tilde{r}^0$.

Матрицю підсилення K зазвичай шукають з умови забезпечення асимптотичної стійкості рівняння похибки оцінювання спостерігача (11). Асимптотична стійкість системи диференціальних рівнянь (11) може бути забезпечена при виборі такої матриці K , при якій матриця $(D-KC)AL_2$ буде мати власні значення з від'ємними дійсними частинами [5,6]. Деякі підходи для визначення матриці K розглянуті в роботах [1,3,5,6].

Для побудови оптимального редукованого спостерігача використаємо наступний критерій — інтегральну квадратичну похибку оцінювання вектора стану $x(t)$

$$I_1(K) = \int_{t_0}^T (x(t) - \tilde{x}(t))^T P_1(t) (x(t) - \tilde{x}(t)) dt + (x(T) - \tilde{x}(T))^T Q_1 (x(T) - \tilde{x}(T)) \quad (12)$$

або функціонал похибки оцінювання вектора невимірюваних параметрів $r(t)$

$$I_2(K) = \int_{t_0}^T (r(t) - \tilde{r}(t))^T P_2(t) (r(t) - \tilde{r}(t)) dt + (r(T) - \tilde{r}(T))^T Q_2 (r(T) - \tilde{r}(T)), \quad (13)$$

де $P_i(t), Q_i, i=1,2$ — задані симетричні додатно визначені вагові матриці відповідних розмірностей.

Неважко показати, що ці функціонали можна представити у вигляді

$$I(K) = \int_{t_0}^T e^T(t) P(t) e(t) dt + e^T(T) Q e(T), \quad (14)$$

де $e(t)$ — розв'язок рівняння (11), матриці $P(t) = P_1(t), Q = Q_1$ розмірності $n \times n$ — для критерія (12), матриці $P(t) = L_2^T P_2(t) L_2, Q = L_2^T Q_2 L_2$ розмірності $(n-p) \times (n-p)$ — для критерія (13).

Таким чином, приходимо до задачі знаходження оптимальної матриці підсилення K_{opt} спостерігача (9), (8), з умови

$$I(K_{opt}) = \min_K I(K) \quad (15)$$

на розв'язках рівняння (11).

Спостерігаючий пристрій (9), (8) з матрицею $K=K_{opt}$ будемо називати оптимальним, якщо матриця підсилення K вибирається з умови (15).

Використовуючи результати роботи [3], можна критерій (14) представити у вигляді

$$I(K) = (e^0)^T H(t_0) e^0, \quad (16)$$

де $H(t)$ — симетрична додатно визначена матриця, яка є розв'язком наступного матричного диференціального рівняння

$$\begin{cases} \frac{dH(t)}{dt} = -L_2^T A^T (D - KC)^T H(t) - H(t) (D - KC) A L_2 - P(t), \\ H(T) = Q. \end{cases} \quad (17)$$

Таким чином, початкова задача синтезу оптимального редукованого спостерігача зводиться до задачі оптимального вибору матриці K з умови мінімізації критерію (16) на розв'язках рівняння (17). Аналіз цієї задачі показує, що $I(K) \rightarrow 0$ при $K \rightarrow \infty$, тобто ця задача є некоректною. У зв'язку з цим, модифікуємо критерій (16), а саме, доповнимо його доданком, який буде відігравати роль обмеження на матрицю K , тобто розглянемо критерій

$$I(K) = (e^0)^T H(t_0) e^0 + \int_{t_0}^T \text{tr} [K^T(t) G(t) K(t)] dt, \quad (18)$$

де $\text{tr}[\dots]$ — слід матриці, тобто сума її діагональних елементів [2], $G(t)$ — задана вагова матриця.

Використовуючи матричний варіант принципу максимуму Понтрягіна [4] і техніку матричного диференціювання [2], одержимо розв'язок оптимізаційної задачі (17), (18) у вигляді

$$K_{opt} = G^{-1} H \Lambda (CAL_2)^T, \quad (19)$$

де симетричні додатно визначені матриці H та Λ є розв'язками наступної системи спряжених матричних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dH}{dt} = -\Psi^T H - H \Psi - P, & H(T) = Q, \\ \frac{d\Lambda}{dt} = \Psi \Lambda + \Lambda \Psi^T, & \Lambda(t_0) = e^0 (e^0)^T, \end{cases} \quad (20)$$

в якій матриця $\Psi = (D - G^{-1} H \Lambda (CAL_2)^T C) A L_2$.

Зауваження. Якщо в якості вагової матриці G покласти $G=H$, то $K_{opt} = \Lambda (CAL_2)^T$, де $\Lambda = \Lambda(t)$ — розв'язок матричного диференціального рівняння типу Ріккати

$$\begin{cases} \frac{d\Lambda(t)}{dt} = (DAL_2) \Lambda(t) + \Lambda(t) (DAL_2)^T - \Lambda(t) (CAL_2)^T (CAL_2) \Lambda(t), \\ \Lambda(t_0) = e^0 (e^0)^T. \end{cases} \quad (21)$$

Можна показати [3], що розв'язок останнього рівняння (21) можна представити у вигляді, $\Lambda = l(t) l^T(t)$ де $l(t)$ задовольняє наступній векторній системі звичайних диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dl(t)}{dt} = \left(D - \frac{1}{2} l(t) l^T(t) (CAL_2)^T C \right) A L_2 l(t), \\ l(t_0) = e^0. \end{cases} \quad (22)$$

Розглянемо тепер випадок нескінченного часу спостереження, тобто коли $T \rightarrow \infty$ і вагова матриця $Q=0$. Можна показати, що $H(t) \equiv H = \text{const}$, причому H задовольняє наступному матричному алгебраїчному рівнянню

$$L_2^T A^T (D - KC)^T H + H (D - KC) A L_2 + P = 0, \quad (23)$$

а критерій (14) набуває вигляду

$$I(K) = (e^0)^T H e^0. \quad (24)$$

Оптимізаційна задача з критерієм (24) та з обмеженнями (23) також є некоректною. Тому розглянемо такий критерій якості оцінювання вектора стану об'єкта

$$I(K) = (e^0)^T H e^0 + \text{tr} [K^T G K], \quad (25)$$

який обмежує нескінченне зростання коефіцієнтів матриці підсилення K , де G — відома вагова матриця.

Оптимізаційна задача (25), (23) відноситься до класу задач нелінійного програмування з обмеженнями-рівностями. Використовуючи для її розв'язання метод множників Лагранжа, необхідні та достатні умови екстремуму функції багатьох змінних і матричний апарат диференціювання [2], одержимо шукану оптимальну матрицю підсилення спостерігача K у вигляді $K_{opt} = G^{-1} H \Lambda (CAL_2)^T$, де матриці H і Λ є розв'язками наступної системи матричних алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} \Psi^T H + H \Psi + P = 0, \\ \Psi \Lambda + \Lambda \Psi^T + e^0 (e^0)^T = 0, \end{cases} \quad (26)$$

в якій $\Psi = (D - G^{-1} H \Lambda (CAL_2)^T C) A L_2$.

Зауваження. Якщо покласти $G=H$, то $K_{opt} = \Lambda (CAL_2)^T$, де Λ — симетрична додатно визначена матриця — розв'язок матричного алгебраїчного рівняння типу Ріккати виду

$$\begin{aligned} & (DAL_2) \Lambda + \Lambda (DAL_2)^T - \\ & - \Lambda (CAL_2)^T (CAL_2) \Lambda + e^0 (e^0)^T = 0. \end{aligned} \quad (20)$$

За допомогою математичного пакету MatLab проводилась числова реалізація побудованих оптимальних спостерігачів неповного порядку та обчислювальні експерименти з ними при наступних даних:

$$A = \begin{pmatrix} 0.6431 & 1.9466 & 5.5803 \\ -1.4277 & -1.2137 & -7.6787 \\ -1.7138 & 4.8931 & 0.1606 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \end{pmatrix},$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}^T, \quad x^0 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ -1.5 \end{pmatrix}, \quad \tilde{r}^0 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$D = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$, тобто невимірюваними є компоненти $x_2(t)$ та $x_3(t)$ вектора стану $x(t)$, $P = \text{diag}(1, 1)$ —

одинична матриця, $Q = \text{diag}(0, 0)$ — нульова матриця, $u(t) = 0, 2$, $t_0 = 0$, $T = 10$, $y(t) = x_1(t)$, тобто спостерігається тільки перший параметр об'єкта (а інші параметри — недосяжні для вимірів).

Обчислення проводились для скінченного та нескінченного часу спостереження. Для скінченного часу

спостереження одержали таке мінімальне значення критерію (18) $I_{\min} = 0,5037$ при оптимальній вектор-функції підсилення спостерігача K_{opt} , графіки компонент якого зображені на рис. 1.

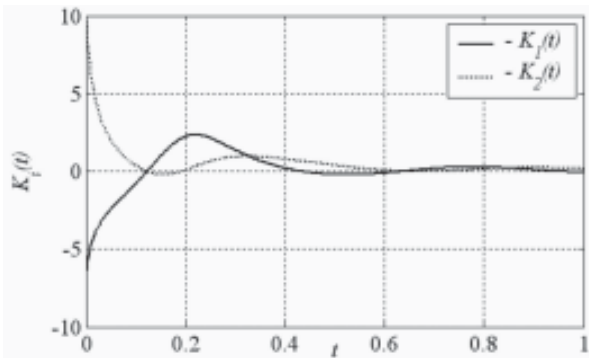
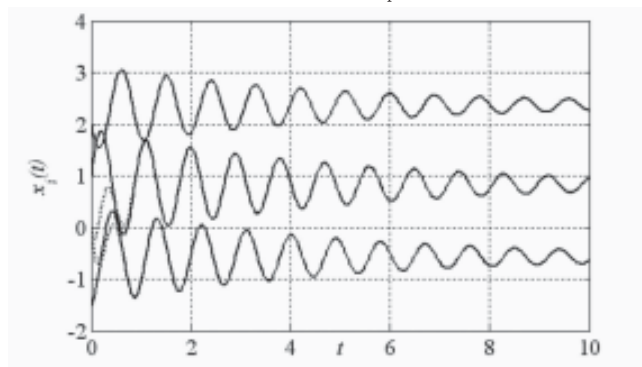
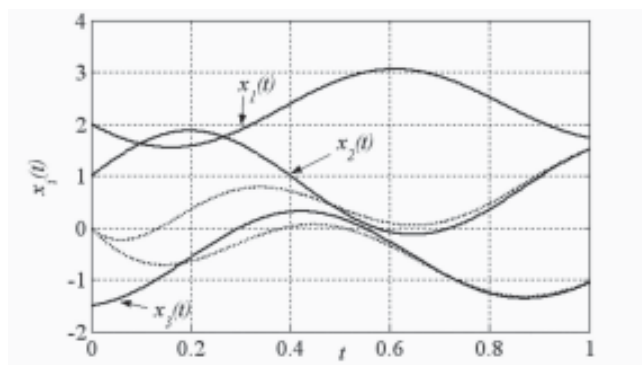


Рис. 1. Графіки компонент оптимального вектора підсилення редукованого спостерігача при скінченому часі спостереження

Для нескінченного часу спостереження мінімальне значення критерію (25) дорівнює $I_{\min} = 1,0747$ і одержане при оптимальному векторі підсилення спостерігаючого пристрою $K_{\text{opt}} = (0,9401; 1,0459)^T$.



(а)



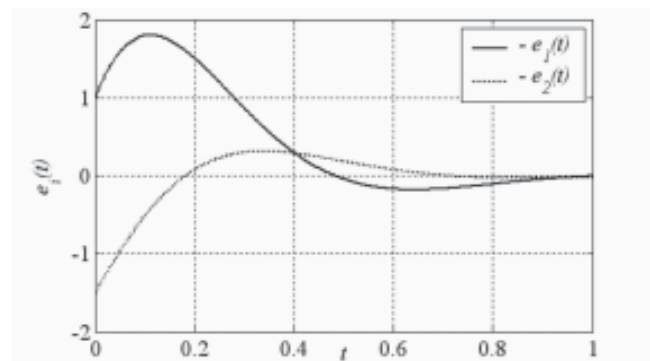
(б)

Рис. 2. Графіки параметрів стану об'єкта (суцільна лінія) та їх оцінки (пунктирна лінія) на всьому (а) та на початковому (б) часовому проміжку при нескінченому часі спостереження

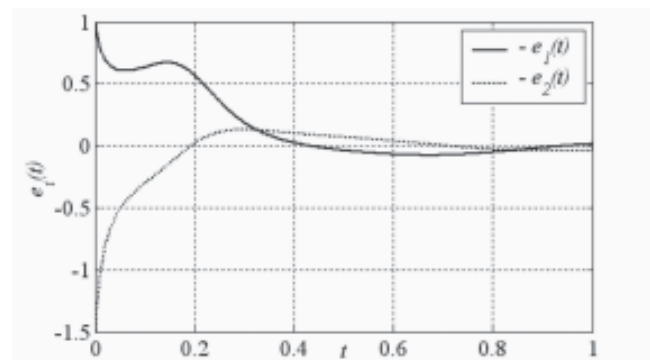
Нижче наведені графіки компонентів вектору стану $x(t)$, їх оцінки $\hat{x}(t)$ (Рис. 2) та динамічні похибки $e(t)$ оцінювання вектору стану (Рис. 3) при скінченому та нескінченому часі спостереження.

Обчислювальні експерименти показали суттєву перевагу оптимальних редукованих спостерігачів при скінченому часі спостереження у порівнянні з

редукованими спостерігачами при нескінченому часі спостереження.



(а)



(б)

Рис. 3. Графіки динамічних похибок оцінювання параметрів стану для нескінченного (а) та скінченного (б) часу спостереження

Висновки. Побудовані оптимальні редуковані спостерігачі (особливо із скінченим часом спостереження) дозволяють забезпечити швидке згасання динамічної похибки оцінювання вектору стану об'єкта і можуть бути використані для побудови регуляторів, які в свою чергу забезпечують бажані якісні показники перехідних процесів параметрів об'єкта керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. — М.: Высшая школа, 1989. — 263 с.
2. Бард Й. Нелинейное оценивание параметров. — М.: Статистика, 1979. — 349 с.
3. Гончаренко Б.М., Лобок О.П. Синтез оптимальных спостерігачів повного порядку для багатовимірних об'єктів. — К.: НУХТ, Харч. пром-сть. 2008.
4. Кириченко Н.Ф. Введение в теорию стабилизации движения. — К.: Выща школа, 1978. — 184 с.
5. Рей У. Методы управления технологическими процессами. — М.: Мир, 1983. — 368 с.
6. Тютюнник А.Г. Оптимальні і адаптивні системи автоматичного керування. — Житомир.: ЖІТІ, 1998. — 512 с.

Одержана редколлегією 07.06.08 р.

М.М. ШИНКАРИК, кандидат технічних наук

В.Я. ВОРОЩУК

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

Г.О. ЄРЕСЬКО, доктор технічних наук

С.І. КИМАЧИНСЬКИЙ, старший науковий співробітник

Технологічний інститут молока і м'яса Української академії аграрних наук

ВИТРАТИ ЕНЕРГІЇ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ ПРОДУКТІВ В ЕМУЛЬСОРАХ РОТОРНО-ВИХРОВОГО ТИПУ

Представлені теоретичні і експериментальні дослідження процесів обробки композиційних продуктів на базі сиру домашнього. Встановлена критеріальна залежність для визначення потужності на привід роторно-вихрового емульсора для десертних мас на основі сиру домашнього. Встановлено оптимальні режими роботи емульсора.

Ключові слова: ротор, статор, роторно-вихровий емульсор, потужність.

Представлены теоретические и экспериментальные исследования процессов обработки композиционных продуктов на базе творога. Установлена критериальная зависимость для определения мощности на привод роторно-вихревого емульсора для десертных масс на основе творога. Установлены оптимальные режимы работы емульсора.

Ключевые слова: ротор, статор, роторно-вихревой емульсор, мощность.

В сучасних умовах харчування населення все більшої важливості набувають молочнокислі продукти, в тому числі цілий ряд композиційних продуктів на базі сиру домашнього. Наявність молочнокислої мікрофлори, а також кальцію, вітамінів і мікроелементів сприяють покращенню процесу травлення, профілактиці і лікуванню хвороб шлунково-кишкового тракту.

Віднедавня широке застосування для виробництва композиційних продуктів одержали роторно-вихрові емульсори, які на ряду з тепловою обробкою проводять механічну обробку продукту.

Процес механічної обробки сирної маси в роторно-вихровому емульсорі можна розглядати як два незалежних процеси:

механічна обробка при термічній обробці в ємності;
механічна обробка в парі ротор статор.

Основна механічна обробка продукту проходить в парі ротор-статор, що забезпечує диспергування, інтенсивне змішування компонентів і циркуляцію продукту по замкнутому контурі.

В досліджуваному емульсорі пара ротор-статор представляє собою конусоподібну турбінку з пазами, розміщеними під кутом; статор являє собою конус з ребрами-відбивачами. Зазор між ротором і статором змінюється від 5 мм до 0,4 мм. Таку, чи подібну конструкцію мають роторно-вихрові емульсори різних фірм, які застосовуються для термомеханічної обробки різних харчових продуктів (десертні маси, кетчупи, майонези). [1,2,6]

Не дивлячись на це не створено відповідної теоретичної і експериментальної бази для їх розробки. Розгляд такого процесу як звичайної роботи мішалки в обмеженому просторі або як роботи вихрового насосу буде значно спрощеним. Загально прийняті в таких випадках критеріальні рівняння, які встановлюють залежність між критерієм Ейлера (критерій потужності), критерієм Рейнольдса і Фруда не відповідають в повній мірі процесам, які проходять.[3] Очевидно, критерій Фруда на цей процес впливати не буде, оскільки вплив гравітації буде не суттєвим. Харчові продукти, що піддаються обробці, в основному відносяться до неньютонівських рідин, а багато з них включають тверді частинки[4]. Запропонований критерій Хенстрема [5] для в'язких рідин можна використати для перемішування, а процес обробки характеризується також структуроутворенням. Значна частина енергії витрачається не тільки на переміщення маси, а також на її диспергування.

Метою теоретичних і експериментальних досліджень було встановлення критеріальних залежностей для визначення потужності в апаратах типу роторно-вихрових емульсорів, а також одержання відповідних залежностей для десертних мас на основі сиру домашнього.

Для проведення теоретичних досліджень було вибрано метод розмірностей. Враховуючи те, що при швидкості біля 3000 об/хв виникають великі градієнти швидкості, що призводить до виникнення вели-

ких напруг зсуву, значно більших від напруження на зріз багатьох продуктів, вважали, що руйнування структури проходить по всій висоті турбінки.

Параметри, які впливають на роботу турбінки, можна представити в такому вигляді:

Фізичні параметри: густина ρ , кг/м³; ефективна в'язкість η , (Па·с); напруження зсуву τ , Н/м².

Кінематичні параметри роботи ротора: число обертів n , 1/с; осьова швидкість руху продукту v , м/с.

Геометричні параметри: діаметр турбінки d , м; ширина пазів b , м;

кількість пазів k ; кут нахилу твірної турбінки α ; кут нахилу паза турбінки β .

Для спрощення поставленої задачі для розгляду приймали тільки діаметр турбінки, всі інші геометричні параметри можна враховувати відповідними симплексами, або коефіцієнтами.

Тоді потужність для приводу турбінки доцільно представити у вигляді:

$$N = C \cdot n^a \cdot \rho^b \cdot \eta^c \cdot d^f \cdot v^h \cdot \tau^j \quad (1)$$

де C — коефіцієнт, який враховує геометрію ротора.

Використовуючи метод аналізу розмірностей, одержимо:

$$\left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3} \right] = C \cdot \left[\frac{1}{\text{с}} \right]^a \cdot \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]^b \cdot \left[\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}} \right]^c \cdot [\text{м}]^f \cdot \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \right]^h \cdot \left[\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}^2} \right]^j \quad (2)$$

Привіряємо показники степеня при однакових одиницях вимірювань:

$$1 = b + c + j \quad (3)$$

$$2 = -3b - c + f + h - j \quad (4)$$

$$-3 = -a - c - h - 2j \quad (5)$$

Визначимо з рівняння (3) величину b і підставимо в рівняння (4):

$$b = 1 - c - j \quad (6)$$

$$f = 5 - 2c - 2j - h \quad (7)$$

З рівняння (5) визначаємо a :

$$a = 3 - c - h - 2j \quad (8)$$

Підставимо одержані коефіцієнти в рівняння (1):

$$N = C \cdot n^{3-c-h-2j} \cdot \rho^{1-c-j} \cdot \eta^c \cdot d^{5-2c-2j-h} \cdot v^h \cdot \tau^j$$

Згрупувавши величини з однаковими показниками степеня, отримаємо:

$$\frac{N}{\gamma \cdot n^3 \cdot d^5} = \left(\frac{\eta}{n \cdot \rho \cdot d^2} \right)^c \cdot \left(\frac{v}{n \cdot d} \right)^h \cdot \left(\frac{\tau}{n^2 \cdot \rho \cdot d^2} \right)^j \quad (9)$$

$\frac{N}{n^3 \cdot d^5 \rho} = Eu_m$ — представляє собою модифікований критерій Ейлера (критерій потужності);

$$\frac{\eta}{n \cdot \gamma \cdot d^2} = Re_m^{-1} \quad (10)$$

модифікований критерій Рейнольдса для обертового руху.

$$\frac{v}{n \cdot d} = K_v \quad (11)$$

комплекс швидкості — співвідношення між коловою і лінійною швидкістю руху, що характеризує час обробки продукту в даному циклі.

$$\frac{\tau}{n^2 \cdot \rho \cdot d^2} = K_F \quad (12)$$

комплекс напруг — співвідношення між напругою зсуву і відцентровим зусиллям в турбіні.

Швидкість руху продукту вздовж поверхні турбінки визначається її конструктивними особливостями, зокрема кутом нахилу пазів, кутом твірної турбінки, мінімальним зазором між ротором і статором, а також швидкість однозначно визначає продуктивність емульсора даної конструкції.

При продуктивності емульсора Q , кг/с швидкість (середня) руху продукту буде становити:

$$v = \frac{Q}{\rho \cdot F}$$

де F — площа поперечного січення (перерізу) вихідного каналу турбіни.

Конструктивно

$$F = F_3 + F_k$$

де F_3 — площа поперечного перерізу, яка створюється зазором між ротором і статором. F_k — площа поперечного січення, яка створюється каналами в турбіні.

Особливості конструкції роторно-вихрових емульсорів різного типу доцільно враховувати в коефіцієнті C .

Тому критеріальне рівняння для роторно-вихрових емульсорів більш широкого спектру може бути запропоноване в вигляді

$$Eu_m = f(Re_m, K_F, K_v) = C \cdot Re_m^h \cdot K_v^h \cdot K_F^j \quad (13)$$

Для знаходження коефіцієнтів і показників степеня в рівнянні (13) проведені експериментальні дослідження.

Схема експериментальної установки представлена на рисунку 1. Основними елементами установки є: робоча місткість з сорочкою 4, ротор (турбінка) 2 зі статором 3, циркуляційний трубопровід 6 і трилопатева скребкова мішалка 5 з індивідуальним приводом. Теплова обробка продукту здійснюється в робочій місткості 1 через теплообмінну сорочку 4. Для запобігання пригару продукту використовується скребкова мішалка 5.

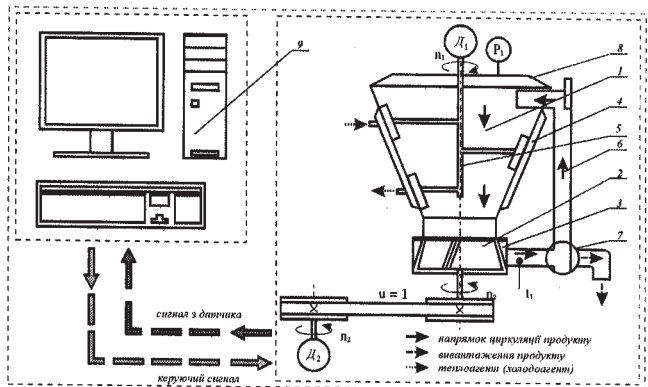


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

1 — робоча місткість; 2 — ротор; 3 — статор; 4 — сорочка; 5 — скребкова мішалка; 6 — циркуляційний трубопровід; 7 — трилопатевий кран; 8 — кришка; 9 — комп'ютерна система керування.

Ротор виконано у виді конічної шестерні із числом зубів 12, розміщених під кутом.

Для забезпечення ефекту перетирання і транспортування продукту в статорі також передбачено 12 коаксіальних пазів.

Привід здійснювався від електродвигуна з регульованим числом обертів. Для керування приводом і вимірювання потужності використовували комп'ютеризовану систему 9 на базі контрольно-управляючої системи фірми Lenze, підключеної до електродвигуна приводу ротора.

Дослідження проводили для продукту «Десерт кисломолочний солоний» (ТУ У 46.39.ГО.002-94) та «Продукт кисломолочний з фруктово-ягідними і смаковими наповнювачами» (ТУ 49 832-81).

Дослідження виконувались наступним чином. На керуючому приладі встановлювалась необхідна частота обертання ротора, після чого вмикався привід роторно-вихрового механізму і здійснювався замір витраченої потужності при роботі без навантаження. Далі в робочу місткість завантажували рецептурну суміш, яка включала сир домашній, воду, пектин (желатин, крохмаль), цукор і наповнювачі, які представляють окремі фракції, не зв'язані між собою.

Заміри потужності і контроль частоти обертання ротора емульсора проводились в процесі нагрівання, витримання і охолодження продукту при заданому числі обертів ротора. Також здійснювався контроль температури суміші.

Продукт, охолоджений до температури 50 °С, вивантажувався з установки. Дослідження проводились при зміні частоти обертання ротора емульсора від 1000 об/хв. до 3000 об/хв.

Для оцінки витрат потужності застосовували вимірювання затраченого крутного моменту.

Зміна крутного моменту в процесі роботи представлена на рис.2. Максимальні витрати крутного моменту спостерігаються в початковий момент часу, далі потужність падає і починає зростати при желюванні загущувача для всього досліджуваного діапазону зміни числа обертів.

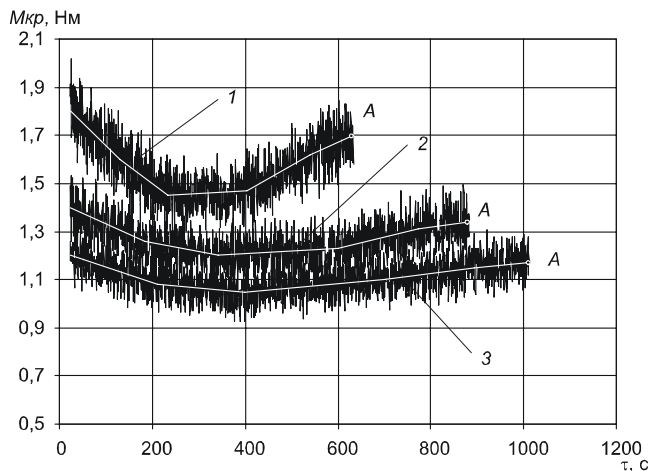


Рис. 2. Залежність крутного моменту від часу при різних значеннях числа обертів ротора:

1 — при частоті обертання ротора 3000 об/хв; 2 — при частоті обертання ротора 2500 об/хв; 3 — при частоті обертання ротора 2000 об/хв; А — завершення процесу обробки.

Роботу апарата як мішалки характеризує модифікований критерій Рейнольдса:

$$Re_m = \frac{n \cdot \rho \cdot d^2}{\eta}$$

Для даного продукту, який є неньютонівською рідиною, модифікований критерій Рейнольдса буде залежати не тільки від числа обертів турбінки, а також від зміни в'язкості продукту в процесі обробки, яку можна представити як ефективну в'язкість [7].

З врахуванням цього залежність модифікованого критерія потужності Ейлера (Eu_m) від модифікованого критерія Рейнольдса (Re_m) представлена на рис. 3, а також від комплексів швидкості і напруг відповідно рис. 4 і рис. 5.

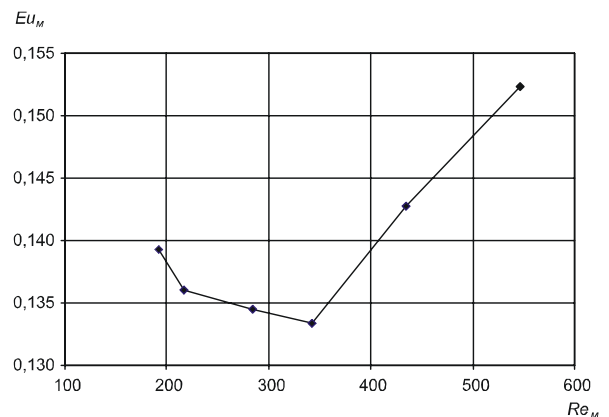


Рис. 3. Залежність модифікованого критерію Ейлера від модифікованого критерію Рейнольдса

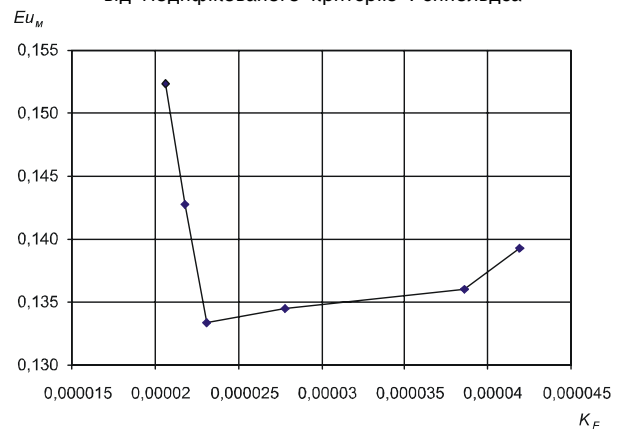


Рис. 4. Залежність модифікованого критерію Ейлера від комплексу напруг.

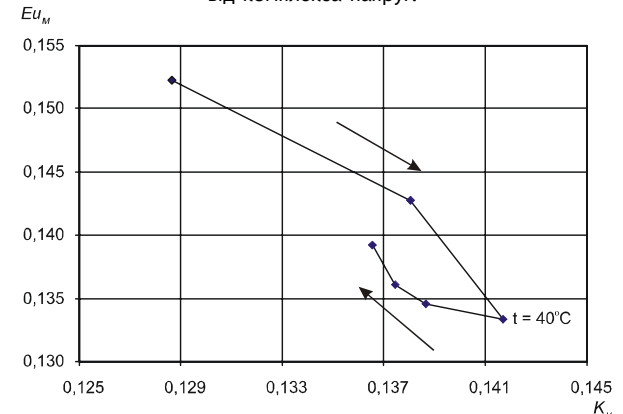


Рис. 5. Залежність модифікованого критерію Ейлера від комплексу швидкості.

Графічну залежність $E_u=f(Re)$ називають кривою потужності. В кожному конкретному випадку критерій потужності характеризує тільки вибрану конструкцію апарата, проте її вид не залежить від розмірів системи. Таким чином, крива потужності може бути використана для кореляційної оцінки даних про потужність двигуна в модельних і натуральних апаратах при умові геометричної подібності цих апаратів [8].

Отримаємо значення при усереднених результатах вимірювань для всіх складників рівняння і зведемо їх в табл. 1.

Для встановлення величин числових коефіцієнтів застосуємо метод лінійної регресії. До лінійного вигляду рівняння (13) приведемо, прологарифмувавши його.

Після логарифмування отримаємо наступне рівняння:

$$\ln(Eu_m) = \ln(C) + e \cdot \ln\left(\frac{1}{Re_m}\right) + h \cdot \ln\left(\frac{v}{n \cdot d}\right) + j \cdot \ln\left(\frac{\tau}{n^2 \cdot \rho \cdot d^2}\right). \quad (14)$$

Таблиця 1

Розрахункові значення критеріїв і комплексів.

$\frac{1}{Re_m}$	$\frac{v}{n \cdot d}$	$\frac{\tau}{n^2 \cdot \rho \cdot d^2}$	E_{u_m}
0,012626263	0,109232315	2,73524E-05	0,16528
0,001830808	0,128651394	2,06421E-05	0,15230
0,00229798	0,13805751	2,17921E-05	0,14279
0,002916667	0,141698587	2,30848E-05	0,13333
0,003522727	0,138664356	2,77724E-05	0,13452
0,004608586	0,137450663	0,0000386	0,13603
0,00520202	0,136540394	4,19152E-05	0,13925

Побудуємо таблицю значень логарифмів комплексів, які входять в рівняння (14) і використовуємо функцію «ЛИНЕЙН» пакету прикладних програм MS Excel, виконаємо розрахунки лінійної регресії для випадків, коли $\ln(C)=0$ і $\ln(C)=m$.

Отримані значення числових коефіцієнтів занесемо в табл. 2.

Таблиця 2

Значення числових коефіцієнтів критеріального рівняння потужності

	m	e	h	j
$\ln(C)=0$	0	-0,010540476	-0,37448626	0,262953
m	-4,22663501	-0,063473771	-1,13914098	0,035625

З метою встановлення найбільш близьких до дійсності параметрів рівняння (13), виконаємо відповідні розрахунки, підставивши в нього отримані значення степеней і зведемо отримані результати в таблицю.

Таблиця 3

Результати перевірок розрахунків числових коефіцієнтів критеріального рівняння потужності.

E_{u_m}	$E_{u_{mC=exp(m)}}$	ϵ	$E_{u_{mC=1}}$	$\epsilon_{C=1}$
0,16528	0,165125	0,092137	0,15145448	8,36346
0,15230	0,153369	0,703746	0,135009922	11,35116
0,14279	0,139766	2,117445	0,133057772	6,81561
0,13333	0,133919	0,443901	0,133443122	0,086717
0,13452	0,136524	1,492722	0,140949659	4,783059
0,13603	0,137165	0,834262	0,153765596	13,03775
0,13925	0,137552	1,216863	0,157323932	12,9824

Як бачимо, введення числового коефіцієнта C в рівняння для визначення модифікованого критерію E_{u_m} дає змогу отримати на порядок точніші результати, а тому зупинимось саме на такій формі представлення даного рівняння.

Після підстановки отриманих числових значень залежність (13) набуде вигляду:

$$E_{u_m} = \exp(-4,23) \cdot Re_m^{0,064} \cdot \left(\frac{v}{n \cdot d}\right)^{-1,14} \cdot \left(\frac{\tau}{n^2 \cdot \rho \cdot d^2}\right)^{0,036} \quad (15)$$

Визначаючи область використання даного рівняння необхідно зауважити наступне:

рівняння можна використовувати в межах зміни ефективної в'язкості продукту η , або напруги на зріз $1 < \tau < 2$ -Па.

число обертів ротора $2000 < n < 3000$, тобто від моменту забезпечення для такого продукту руху по каналах до появи явищ кавітації

інші конструктивні особливості, які в явному виді не входять в критерії і симплекси апарату доцільно враховувати в першому коефіцієнті рівняння для роторно-вихрових емульсорів інших конструкцій.

Висновки. Встановлена критеріальна залежність потужності приводу роторно-вихрового емульсора від режимів роботи і фізико-хімічних властивостей оброблюваного продукту, а також встановлене критеріальне рівняння для десертних мас на основі сиру домашнього дозволяє створити методику розрахунків для даного типу апаратів.

Оптимальні числа обертів ротора роторно-вихрового емульсора знаходяться в межах $2000 < n < 3000$ об/хв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бродский Ю.А., Будрик Г.В., Базиков В.И. Создание и исследование оборудования разработанного во ВНИМИ для производства молока, молочных продуктов и продуктов со смешанным сырьевым составом // Молоко. Молочные продукты и продукты со смешанным сырьевым составом: Сборник докладов 5 международной конференции. — Москва, 2002.

2. Єресько Г., Шинкарик М., Ворошук В. Технологічне обладнання молочних виробництв. — Київ: Фірма «Інокс», Центр навчальної літератури, 2007. — 344с.

3. Касаткин А.Г.. Основные процессы и аппараты химической технологии. — М., 1970. — 784 с.

4. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 216 с.

5. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Польша, 1971. Пер. с польск. под ред. Щупляка И.А.Л., «Химия», 1975. 384 стр.

6. Харитонов В.Д., Богдановский В.Б., Бродский Ю.А., Будрик Г.В. Измельчитель-смеситель для продуктов на молочной основе. — Молочная промышленность — 1999 г. — №1 — 1999 г. С.25-26.

7. Шинкарик М., Ворожук В. Дослідження реологічних характеристик композиційних білкових продуктів на

базі сиру домашнього при обробці уроторно-вихровому емульсорі. — Наукові праці національного університету харчових технологій — 2007р. — №20. С28-31.

8. Шинкарик М., Ворожук В. Особливості механічної обробки десертних сиркових мас у роторно-вихрових емульсорах. — Матеріали одинадцятої науково-технічної конференції ТДТУ «Прогресивні матеріали, технології та обладнання в машино- і приладобудуванні», Тернопіль. — 2007, С.188.

Одержана редколегією 18.11.08 р.

УДК 663.62

В.А. ПІДДУБНИЙ, доктор технічних наук

О.А. БІЛИК, кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МАСООБМІНИХ ПРОЦЕСІВ В ГАЗОРІДИННИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Виконано аналіз сучасних методів інтенсифікації масообміну в газорідних системах, наведено схеми-класифікації впливів на середовища.

Ключові слова: інтенсифікація, масообмін, процеси, середовища, сорбція, коаліценсія.

Выполнен анализ современных методов интенсификации массообмена в газожидкостных системах, приведены схемы-классификации воздействий на среды.

Ключевые слова: интенсификация, массообмен, процессы, среды, сорбция, коалиценсия.

Завданням цього дослідження обрано аналіз сучасних методів інтенсифікації масообмінних процесів в газорідних середовищах, характерних для харчової, мікробіологічної і фармацевтичної промисловостей [1-5].

Газорідні системи у значній кількості технологій складають основну частину культуральних середовищ. В кінцевому результаті швидкості реакцій життєвих процесів залежать від швидкості подавання живильних речовин у сполученні зі швидкістю видалення продуктів життєдіяльності мікроорганізмів. Важливим чинником таких процесів є кисень і гази приймають участь в процесах синтезу лише у випадку, коли вони присутні в розчиненому стані у водному розчині.

Щодо існування біологічних систем слід відзначити важливість форм системи вторинного обміну і системи циркуляції, які визначають наявність різниці концентрацій речовин в різних точках організму і системи. В якійсь мірі аналогічні явища мають місце при вирощуванні культур клітин, в умовах мікробіологічного синтезу одноклітинних мікроорганізмів в середовищах низької в'язкості тощо.

Деякі процеси промислового бродіння відбуваються виключно в анаеробних умовах, однак відношення до кисню з боку мікроорганізмів суттєво

змінюється на різних стадіях процесів. Так на ранніх стадіях спиртового виробництва аерація має позитивні впливи, оскільки сприяє швидкому нарощуванню біомаси, аналогічно аерація пивного суслу на початку бродіння суттєво скорочує лаг-фазу. До речі, це єдиний випадок в технології виробництва пива, у якому дозволеною і бажаною є присутність кисню. На більш пізніх стадіях з метою уникнення зайвого окислення субстрату аерація припиняється, на поверхні середовища утворюється газова подушка з діоксиду вуглецю.

В умовах анаеробного бродіння синтезований CO₂ утворює газові бульбашки, які приймають участь у створенні циркуляційних потоків і забезпечують вирівнювання концентрацій речовин і мікроорганізмів у об'ємі апарата. Очевидно, що швидкість зброджування визначається фізіологічними властивостями мікрофлори і параметрами середовища, а спроби інтенсифікувати такі процеси за рахунок механічного перемішування успіху не мали. Головною причиною цієї невдачі є відсутність аналізу щодо лімітуючих факторів масообміну в системі середовище — клітина. З невдалих спроб інтенсифікації прирощування біомаси слід зробити висновок про те, що не масообмін на межі середовище — клітина є тому причиною.

Розповсюдженою є гіпотеза про те, що причиною невдачі є малі розміри клітин і питома вага, яка мало відрізняється від такого ж показника середовища. В результаті не вдається збільшити швидкості відносного руху клітин і середовища. Переміщення рідини у мікрзоні має головним чином ламінарний характер, який не вдається змінити шляхом помірної зміни швидкості.

Звичайно в робочих умовах бродильне середовище вміщує по кілька мільйонів клітин у одному мілілітрі, а тому відстань між молекулами субстрату дуже мала, а адсорбувальна поверхня клітин порівняно велика.

Розвиток аеробної ферментації, виробництво хлібопекарських і кормових дріжджів, очищення стічних вод, розвиток рибного господарства тощо обумовили використання повітря для створення газорідних систем з інтенсивним масообміном. У більшості випадків використовують повітря з початковим тиском, близьким до атмосферного. Проте існують вказівки і на те, що підвищена концентрація розчиненого кисню може бути токсичною для мікроорганізмів.

Крім того, азот і невикористаний кисень відіграють важливу роль у десорбції CO_2 , що попереджує його накопичення в межах концентрацій інгібування.

Перехід від анаеробних до аеробних умов культивування мікроорганізмів вимагає точного технічного забезпечення засобів контролю, оскільки обмеження газообміну може змінити умови нарощування біомаси багатьох мікроорганізмів і зробити їх анаеробами і навпаки. Саме це викликає труднощі масштабних переходів на промислові зразки обладнання і ці труднощі стосуються процесів аерації, оцінки їх інтенсивності і ефективності, інтенсифікації тощо.

Оцінка придатності систем, очевидно, повинна ґрунтуватися на балансі доставки кисню в розчиненому вигляді у культуральні середовища і споживання його біомасою мікроорганізмів.

Накопичені дані щодо розчинності газів в основному стосуються води, проте існує можливість введення певних поправок на особливості культуральних середовищ.

Розчинені речовини також знижують розчинність кисню. Так для морської води з вмістом солей 3,4 % розчинність кисню складає біля 80 % розчинності у чистій воді. Інші речовини дають подібні ефекти, а моделювання їх впливів здійснюється на молярній основі.

Окрім чисто хімічних впливів на розчинність кисню слід врахувати також зростання осмотичних тисків солевмістких, а також цукровмістких розчинів, хоча їх дія швидше зорієнтована на мікроорганізми. У зв'язку з необхідністю обмеження впливів на розчинність газів і осмотичних стресів щодо мікроорганізмів у промисловості відмовляються від завантаження живильних речовин у середовище на

весь цикл роботи і переходять на «приточне» живлення, розраховане у відповідності з динамікою приросту біомаси.

Відомо, що стосовно процесів ферментації існує критична концентрація лімітуючого субстрату, яка часто має незначну величину. Це ж положення стосується і кисню.

Абсорбційні властивості води і її розчинів визначаються дипольною будовою молекул першої, завдяки якій вона має унікальну здатність утворювати багатомолекулярні сполуки, що нагадують рідкі кристали. Різні структури утворюються завдяки і в залежності від наявності у природній воді певної кількості молекул з короткими диполями. В разі дії на воду змінних електричних і магнітних полів або радіоактивних випромінювань має місце руйнування короткодипольних молекул води, внаслідок чого змінюється її структура і деякі властивості на мікрорівні.

Електромагнітне та іонізуюче оброблення води можуть сприяти інтенсифікації сорбційних процесів. Проте руйнування короткодипольних молекул перетворює воду у «мертву» і шкідливу для біологічних систем.

На сорбційні властивості води, в тому числі і на розчинність в ній газів, впливають її лужно-кислотні характеристики. За абсорбції водою малорозчинних газів відношення кількості молекул газу до кількості молекул води невелика і молекули газу розміщуються переважно на межах структурних утворень води без проникнення всередину і руйнування останніх. Такий процес нагадує адсорбцію.

На відміну від цього молекули добре розчинних газів проникають всередину молекулярних структур води, перебудовують їх і створюють нові комплекси із слабкими хімічними зв'язками.

Для динамічних газорідних систем важливою складовою впливу є явища коаліценсії бульбашок, оскільки вони можуть помітно впливати на величину міжфазної поверхні. У зв'язку з цим існує умовний поділ середовищ і до групи А відносять рідини, у яких бульбашки мало коалісцують. До таких рідин відносяться чисті органічні речовини, прості ефіри, тетрахлорциклогексан, водні розчини гідрофільних з'єднань, зокрема спирти, в'язкі рідини, концентровані сольові розчини. В рідинах групи В бульбашки газів легко коалісцують. До них відносяться дистильована і водопровідна вода, розбавлені сольові розчини.

З точки зору інтересів рівня дисперсності газової фази у рідинному середовищі має швидкість введення їх у контактування за барботажного режиму.

В значній кількості досліджень, що стосуються інтенсифікації розчинення кисню, наводяться дані щодо пошуків взаємозв'язків між геометрією барботерів, отворів, швидкостями підведеної газової фази, рівнем диспергування останньої, та щодо моделювання процесів аерації.

Спроби використання барботажних елементів з кераміки, металокераміки, на основі спечених матеріалів тощо привели до висновку про недоцільність організації аераційних систем промислових апаратів на їх основі. Подібний висновок ґрунтується на тому, що для таких локальних аераційних елементів складно забезпечити задані режими подавання повітря і рекомендовані швидкості введення в контакт газової і рідинної фаз.

Після утворення поверхні поділу фаз має місце стабілізація швидкості піднімання газових бульбашок і така стабілізація досягається на висоті 0,15-0,25 м.

Важливим показником двофазної системи є її утримувальна здатність по газовій фазі, яка залежить від рівня аерації і відносної швидкості газової фази. У свою чергу утримувальна здатність за інших рівних умов визначає величину поверхні масопередавання. Очевидно, що гідродинамічний режим, який характеризується фізико-хімічними властивостями середовища і газової фази та рівнем енергетичного забезпечення, є параметром впливу на інтенсивність масообміну.

У зв'язку з цим барботажні системи доповнюють різними перемішувальними пристроями. Досвід промисловості свідчить про ефективність використання потужних мішалок, які підвищують рівень турбулентності. Саме турбулентність впливає на структуру висхідного потоку газової фази. Помічено, що кращі результати досягаються в крупногабаритних промислових установках, а масштабні переходи потребують додаткових уточнень.

Ступінь дисперсності газової фази за інших рівних умов визначається величиною питомої енергії, яка вводиться в середовище за рахунок механічного перемішування культуральних середовищ.

За сучасними уявленнями методи інтенсифікації сорбційних та інших масообмінних процесів поділяють на конструктивні, механічні, фізичні, комплексні та технологічні. Вибір типу масообмінного пристрою залежить від особливостей технологічного процесу, його масштабів, необхідної інтенсивності, кількісних показників тощо. Наприклад, відомо, що до числа найбільш інтенсивних по масообміну апаратів відносяться ежекційні контактні пристрої. Оскільки їх робота ґрунтується на використанні однофазних або двофазних середовищ, то поруч з виконанням функцій підвищення тиску, транспортування середовищ тощо мають місце інтенсивний тепло- і масообмін.

Однак для вирішення задачі забезпечення киснем культуральних середовищ апаратів великої місткості ежекційні пристрої мало придатні. Режимні методи зорієнтовані на зміну гідродинамічних умов контактування фаз, використання псевдорозрідження, створення вихрових рухів, використання перехідних процесів, елементів дискретно-імпульсних технологій. Помічено існування потрійної аналогії, за якою зростання рівня гідроди-

намічної взаємодії супроводжується інтенсифікацією тепло- і масообміну. Однак за певних умов може мати місце втрата ефективності таких систем за рахунок дисипативних явищ. Спроби зовнішнього втручання, в тому числі за рахунок використання локальних зон енерговведення, також повинні враховувати розсіювання енергії в двофазних середовищах. Проте у випадку правильного вибору і упорядкування форми обтічних тіл, коли турбулізації підлягають примежові шари потоків, можливе суттєве прискорення масообмінних процесів без наростання дисипативних явищ.

Відступ від усталених режимів і стану двомасових систем приводить до переорієнтації циркуляційних контурів, збільшення утримувальної здатності по газовій фазі. У значних об'ємах середовищ з барботажною системою аерації можливою є регулярна зміна зон різної інтенсивності повітропостачання, що також забезпечує зменшення швидкості газорідинної суміші в циркуляційних контурах і обмежує швидкість «винесення» газової фази. Накладання пульсацій, вібрацій порушує рівномірність перенесення маси, спричиняє екстремальні зміни супровідних фізичних параметрів (концентрацій, тисків, температур).

Підвищення тиску, у тому числі і за рахунок зміни геометричних параметрів ізооб'ємних апаратів приводить до підвищення русійних факторів масообміну.

В залежності від частоти збурень розрізняють коливання циклічні, низькочастотні, високочастотні (акустичні та ультразвукові), імпульсні. За масштабом рівня дії коливання можливо здійснити на молекулярному рівні, на рівні контактних пристроїв, апаратів, схем.

Відомо, що найбільш ефективна взаємодія фаз має місце за резонансних коливань. Проте вибір частоти, що відповідає можливості досягнення резонансних режимів, досягається лише в частковому діапазоні розмірів бульбашок газової фази.

Звичайно, що раціональне використання енергетичного потенціалу вхідного газового потоку пов'язують з клапанами, які в режимі барботажу генерують коливання з частотою 5-20 с⁻¹. Однак ефективність цих пристроїв мала і пояснити це слід обмеженими швидкісними напорами газової фази. Технічні засоби впливів стосовно різних геометричних параметрів контактних пристроїв суттєво відмінні. Те, що задовольняє, наприклад, тарільчасті контактні пристрої, неефективне у використанні в об'ємних газорідинних реакторах і навпаки. Стосовно промислових апаратів знаходять використання контактні пристрої з кільцевою резонуючою камерою. До відомих конструкцій відносяться генератори Гартмана і Гальтона, які працюють за відносно високих перепадів тисків.

У дослідженні [6], присвяченому визначенню мінімального швидкісного напорі газової фази, за

якого відбувається розрив вільної поверхні шару рідини, показано, що гідродинамічними засобами можливо зменшити винесення кисню у вільний простір, тобто підвищити ефективність технологічного процесу, затримуючи максимальну кількість дисперсної фази в об'ємі апарата.

Локалізація зон взаємодії потоків газу і рідини з метою інтенсифікації масообміну спрямовується на одержання кавітаційних ефектів. Набуває поширення метод кавітаційного оброблення для одержання стійких емульсій, нерозчинних одна в одній рідин, наприклад, для приготування вапняного молока і оброблення ним дифузійного соку.

Висновки. Виконаний аналіз літературних джерел і сучасного стану процесів, що мають місце в харчовій, мікробіологічній і ферментній промисловостях, дозволяє відмітити наступне.

Співіснування в системах газової і рідиної фаз пов'язано з утворенням циркуляційних контурів, що є проявом у дії Архімедових сил. Відносний рух фаз є фактором інтенсифікації масообміну. В певних межах цей фактор інтенсифікації можливо задіяти за рахунок рівня дисперсності газової фази, однак «калібрування» газових бульбашок досягти відносно складно у зв'язку з неможливістю впливу на фізико-хімічні властивості компонентів середовища.

Абсолютна швидкість газової фази в рідинній визначається сумою швидкостей відносного руху і швидкістю газорідинної суміші в циркуляційних

контурах. Остання не впливає на масообмін на границі поділу фаз і супроводжується дисипативними енергетичними втратами.

Важливим елементом інтенсифікації масообмінних процесів є накопичення енергетичного потенціалу середовища.

ЛІТЕРАТУРА

1. Басок Б.И., Шурчкова Ю.А. Вакуумная гомогенизация водно-жировых эмульсий // Докл. Международной конф. «Тепло- и массообмена в технологических процессах». — Юрмала, 1991. — С. 250.
2. Беккер М.Е. Введение в биотехнологию. — М.: Пищевая пром-сть. — 1978. с. 231.
3. Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарных дрожжей и его аппаратного оформления. — Дисс. на соиск. ученой ст. д.т.н., К. — 1984. — 485 с.
4. Дубінін О.О., Переяславцев О.М., Тахістова Г.О. Визначення динамічних параметрів висхідних потоків газорідинної суміші у шарі рідини // Харчова промисловість. — К.: НУХТ, — 2003. — № 3. — с. 92-94.
5. Дубінін О.О., Переяславцев О.М., Тахістова Г.О. Визначення швидкості внутрішньої циркуляції робочого середовища в ерліфтних апаратах // Харчова промисловість. — К.: НУХТ, — 2003. — № 2. с. 91-92.
6. Тахістова Г.О., Аністратенко В.О., Дубінін О.О. Аналітичне визначення мінімального швидкісного напору газової фази, при якому відбувається розрив вільної поверхні шару рідини // Наукові праці УДУХТ. — К.: УДУХТ. — 1998. — № 4. — С. 20-21.

Одержана редколегією 04.07.08 р.

УДК 663.62

В.А. ПІДДУБНИЙ, доктор технічних наук
Національний університет харчових технологій

ЕНЕРГЕТИЧНІ ВПЛИВИ ЯВИЩ КОАЛІСЦЕНСІЇ ГАЗОВОЇ ФАЗИ

Досягнуто оцінки енергетичних впливів явищ коалісценсії, що супроводжують масовий барботажа газової фази через рідинне середовище, визначено можливості одержання високих рівнів дисперсності газової фази.

Ключові слова: енергія, потужність, коалісценсія, поверхня поділу, фаза, дисперсність, параметри.

Достигнута оценка энергетических воздействий явлений коалесценции, сопровождающих массовый барботажа газовой фазы через жидкостную среду, определены возможности получения высоких уровней дисперсности газовой фазы.

Ключевые слова: энергия, мощность, коалесценция, поверхность раздела, фаза, дисперсность, параметры.

Процеси утворення поверхні поділу фаз в газорідинних середовищах є енергетичними і вони мають місце, наприклад, за барботажу газової фази або за десорбції діоксиду вуглецю з культуральних середовищ. У відповідності до принципу Ле Шате

тельє відбуваються явища коалісценсії газових бульбашок [1-5]. Визначення рівнів змін енергетичних впливів склало завдання цього дослідження.

Десатурація середовища може відбуватися як за рахунок масообміну з наявною газовою фазою, так і

Співвідношення енергетичних параметрів

Параметри	Кількість бульбашок								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\sqrt{n}	1,41	1,73	2	2,23	2,44	2,64	2,82	3	3,16
$\sqrt[3]{n}$	1,26	1,44	1,58	1,71	1,81	1,91	2	2,08	2,15
E/E_n	1,12	1,2	1,26	1,30	1,34	1,38	1,41	1,44	1,47

з утворенням нових бульбашок. В обох випадках має місце коаліценція, яка суттєво змінює міжфазну поверхню. Розглянемо енергетичні співвідношення, що супроводжують ці процеси.

На першому етапі цього пошуку зупинимось на оцінці питомих енергетичних характеристик газових бульбашок, визначаючи їх відношенням енергії E утворення поверхні поділу фаз f_6 до об'єму бульбашки V_6 :

$$E = \sigma f_6; \quad f_6 = \pi d^2; \quad V_6 = \frac{1}{6} \pi d^3;$$

$$\frac{E}{V_6} = \frac{6\sigma \pi d^2}{\pi d^3} = \frac{6\sigma}{d}. \quad (1)$$

де σ — коефіцієнт поверхневого натягу.

Разом з тим відомо, що складова Лапласівського тиску

$$p_{\text{Л}} = \frac{4\sigma}{d}. \quad (2)$$

У відповідності з формулами (1) та (2) обидві характеристики відображаються еквідистантними гіперболами (див. рис.). Як бачимо, енергія формозміни бульбашок наростає швидше, ніж внутрішній Лапласівський тиск зі зменшенням діаметра.

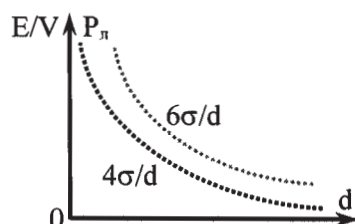


Рис. 1. Залежності питомих енерговитрат на утворення поверхні поділу фаз і Лапласівських тисків від діаметрів бульбашок

Розглянемо співвідношення параметрів системи з n бульбашок за їх коаліценції.

Для них енергія утворення поверхні поділу фаз

$$E = n\sigma \pi d^2. \quad (3)$$

Їх коаліценція приведе до нового утворення з тим же об'ємом з новим діаметром d_n . Тоді маємо

$$\frac{n}{6} \pi d^3 = \frac{1}{6} \pi d_n^3, \quad (4)$$

звідки

$$d_n = \sqrt[3]{nd}. \quad (5)$$

Тоді

$$E_n = \sigma \pi d_n^2 = \sigma \pi (\sqrt[3]{nd})^2, \quad (6)$$

а співвідношення енергій

$$\frac{E}{E_n} = \frac{n\sigma \pi d^2}{\sigma \pi d^2 (\sqrt[3]{n})^2} = \frac{n}{(\sqrt[3]{n})^2} = \sqrt[3]{n}. \quad (7)$$

Результати розрахунків за формулою (7) наведені в табл. 1.

Таким чином, явище коаліценції супроводжується зміною енергетичного рівня системи і ця зміна пов'язана з переходом потенціальної енергії поверхні поділу фаз в кінетичну енергію рідинного середовища. За характером взаємодії між бульбашками у процесі коаліценції можна стверджувати, що додаткова турбулізація середовища підвищує коефіцієнт масопередавання, але одночасно завершення процесу приводить до зменшення поверхні контактування фаз. У зв'язку з цим комплексну оцінку цього явища слід шукати за величиною об'ємного коефіцієнта масопередавання k_v . Разом з тим явище коаліценції пов'язане зі збільшенням розмірів бульбашок по мірі їх підняття і зменшення гідростатичного тиску.

Якщо погоджуватися на існування взаємозв'язку між рівнем дисперсності газової фази і енергетичним забезпеченням зон її утворення, то логічно припустити, що й існування бульбашок в режимі барботажу та проходження через культуральне середовище забезпечується підтриманням відповідного енергетичного рівня у всьому об'ємі. Про існування певних співвідношень на такому рівні відомо з багатьох спостережень і на нього ж вказує умова (1), за якою енергетичний потенціал газової бульбашки суттєво зростає зі зменшенням її діаметру.

Звідси витікає можливість суттєвого покращення рівня дисперсності газової фази за рахунок локалізації зони її утворення. До подібного ж висновку можливо прийти аналізуючи роботу ежекційних масообмінних апаратів, диспергаторів тощо.

На підтвердження цієї думки оцінимо рівень потужності, що досягається в барботажних аераційних пристроях. У зв'язку з цим скористаємось параметрами, які відповідають апаратам для вирощування дріжджів.

Повітряний потік входить в контактування з рідинною фазою в зоні розташування барботажних елементів. При цьому з точки зору інтересів диспергування газової фази принципове значення має кінетична енергія системи, тоді як рівень стискання газової фази (тобто потенціальна енергія) на процес не впливає.

За кількості повітря, що подається на апарат, 7000 м³/год його масові витрати складуть

$$M_{\text{пов}} = \frac{V_{\text{г}} \rho_{\text{пов}}}{3600} = 2,51 \text{ кг/с.}$$

Потужність цього потоку визначається через швидкість, з якою він контактує з рідинною фазою:

$$N_{\text{пов}} = \frac{M_{\text{пов}} w^2}{2}. \quad (8)$$

В рекомендаціях, за якими пропонується вести розрахунок барботажних аераційних систем можна знайти широкий діапазон швидкості транспортування повітря від 8 до 15 м/с, аж до 25-30 м/с.

Орієнтуючись на наведену величину газового потоку 2,51 кг/с у табл. 2 наведено розрахунки за формулою (8).

Таблиця 2

Залежності потужностей щодо взаємодії з рідинною фазою газового потоку масовою пропускну здатністю 2,51 кг/с від швидкості

w, м/с	5	10	15	20	25	30	35	40	50
$N_{\text{пов}}, \text{Вт}$	31,375	125,5	282,4	500	784,4	1129,5	1534	2008	3137

Раніше було показано [1], що для досягнення рівня дисперсності газової фази 5 та 1 мм потужності енергії створення поверхні поділу фаз повинні складати відповідно

$$N_{0,005} = 0,57 \text{ кВт}; N_{0,001} = 2,282 \text{ кВт}. \quad (9)$$

Порівнюючи ці результати з даними табл. 2, бачимо, що вони відповідають рівням швидкості біля 22 та 45 м/с. Проте маємо можливість визначити точні значення швидкостей:

$$w_{0,005} = \sqrt{\frac{2N_{0,005}}{M_{\text{пов}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 570}{2,51}} = 21,31 \text{ м/с};$$

$$w_{0,001} = \sqrt{\frac{2N_{0,001}}{M_{\text{пов}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2820}{2,51}} = 47,4 \text{ м/с}.$$

За зазначених раніше розмірів газових бульбашок 0,0288 мм потужність створення поверхні поділу фаз складає

$$N_{0,0000288} = 29400 \text{ кВт}.$$

$$w_{0,0000288} = \sqrt{\frac{2 \cdot 29400}{2,51}} = 153,1 \text{ м/с}.$$

Одержані результати вказують на можливість суттєвого підвищення ефективності використання барботажних аераційних систем.

Діапазони швидкостей повітря до 40-50 м/с цілком можливі у досягненні з використанням сучасної техніки. Відомо, що з точки зору інтересів економічної ефективності використання повітроводів за показниками втрат тиску, рекомендований діапазон швидкостей складає 20-30 м/с.

Технологія досягнення зазначених умов з точки зору виконання барботажних систем повинна орієнтуватися саме на підвищення швидкостей в барботажних отворах, тоді як повітроводи і надалі можуть експлуатуватися зі значеннями швидкостей транспортування повітря 20-25 м/с. Розраху-

нок площі отворів барботажних елементів повинен враховувати зменшення об'ємних витрат газу за рахунок його стискування. Останній процес відбувається як швидкоплинний в компресорах або турбоповітроводних машинах, а тому його можна рахувати близьким до адіабатного, для якого за нашими умовами

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_{r1}}{V_{r2}} \right)^k, \quad (10)$$

де p_1/p_2 — співвідношення тисків; k — показник адіабати.

$$\sqrt[k]{\frac{p_2}{p_1}} = \frac{V_{r1}}{V_{r2}}; V_{r2} = \frac{V_{r1}}{\sqrt[k]{\frac{p_2}{p_1}}}. \quad (11)$$

Тоді площа барботажних отворів складе

$$f_{\text{барб}} = \frac{V_{r2}}{w} = \frac{V_{r1}}{w \sqrt[k]{\frac{p_2}{p_1}}}. \quad (12)$$

Важливою перевагою пропозиції щодо підвищення енергетичного рівня зони формування поверхні поділу фаз є те, що ця локалізація стовідсотково стосується саме її. Додамо, що при цьому нівелиюється залишкова роль впливу діаметрів барботажних отворів, який має обмежену роль при відносно обмежених швидкостях. Весь досвід і спроби використання керамічних, металокерамічних матеріалів для виготовлення барботажних елементів показали малопомітну їх ефективність в умовах високих рівнів аерації. Лише за обмеженої кількості газів, що транспортуються через них досягаються в якійсь мірі задовільні результати.

Поєднуючи інтереси технології виготовлення барботажних елементів і задовільного їх розташування по площі поперечного перерізу апарата слід погодитися з пропозиціями щодо діаметрів отворів 3-4 мм.

Висновки. Явища коаліценсії газових бульбашок супроводжуються трансформацією потенціальної енергії утворення поверхні поділу фаз у кінематичну енергію рідинної фази.

Підвищення рівня дисперсності газової фази в рідинній пов'язано з локальним введенням енергії в зону утворення газової фази.

Для досягнення утворення газової фази з діаметрами бульбашок 2-3 мм слід призначати швидкість газової фази в барботажних отворах на рівні 40-50 м/с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Піддубний В.А. Наукові основи і апаратне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв. Автореф. дисерт. на здобуття ступеня докт. техн. наук. — К.: НУХТ. — 2008. — 47 с.

2. Дубінін О.О., Переяславец О.М., Тахістова Г.О. Визначення швидкості внутрішньої циркуляції робочого середовища в ерліфтних апаратах // Харчова промисловість. — К.: НУХТ, — 2003. — № 2. с. 91-92.

3. Тахістова Г.О., Аністратенко В.О., Дубінін О.О. Аналітичне визначення мінімального швидкісного напору газової фази, при якому відбувається розрив вільної поверхні шару рідини // Наукові праці УДУХТ. — К.: УДУХТ. — 1998. — № 4. — С. 20-21.

4. Соколенко А.И. Исследование процессов аерации питательных сред и разработка новых конструкций дрож-

жерастильных аппаратов. — Дисс. на соиск. ученой ст. к.т.н., К.: КТИПП. — 1972. — 171 с.

5. Соколенко А.И., Українець А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник специалиста пищевых производств. — К.: АртЭк, 2003. — 432 с.

Одержана редколлегією 15.07.08 р.

УДК 664.1.038

Л.М. ВЕРЧЕНКО, кандидат технічних наук

Т.С. КОС, кандидат технічних наук

І.В. ПОПОВА, кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРОЦЕСУ КАРБОНІЗАЦІЇ

Стаття присвячена розробленню нового лабораторного пристрою для проведення процесу карбонізації в цукровому виробництві. Розкрито переваги сконструйованої установки над існуючими на сьогоднішній день методиками. Доведено доцільність застосування представленої установки в учбових та цукрозаводських лабораторіях.

Ключові слова: вапно, водно-вапняна суспензія, сік основної дефекації та І карбонізації, карбонізація, дисперсність осаду.

Статья посвящается разработке нового лабораторного устройства для проведения процесса карбонизации в сахарном производстве. Раскрываются преимущества сконструированной установки над существующими на сегодняшний день методиками. Доказано целесообразность применения представленной установки в учебных и сахарозаводских лабораториях.

Ключевые слова: известь, водо-известьковая суспензия, сок основной дефекации и І карбонизации, карбонизация, дисперсность осадка.

З метою встановлення оптимального режиму роботи цукрового заводу, як на окремих його ділянках так і в цілому, раціонального використання енергії та ресурсів, а в кінцевому результаті одержання якісного цукру-піску з максимальним його виходом, головний технолог на початку сезону проводить діагностику цукросировини і вапняку та здійснює в заводській лабораторії імітацію процесів, що відбуваються у бурякоцукровому виробництві. В процесі таких досліджень експеримент побудований так, що умови його протікання максимально наближуються до виробничих. Тобто застосовуються ті варіанти роботи та апаратурне обладнання, яке властиве для конкретного заводу. Такий підхід до роботи цукрового заводу дозволяє встановити оптимальний режим ведення технологічного процесу. Крім цього, після таких операцій технологічний режим можна змінювати у відповідності до ступеню кондиції буряку та якості вапняку [1].

На сьогоднішній день у бурякоцукровому виробництві відсутній експрес-метод за допомогою якого можна було б прогнозувати подальший технологічний режим роботи цукрового заводу. В силу того, що часто буває так, що технолог немає «заводу на

столі» або іншого більш сучасного лабораторного обладнання, він вимушений працювати із аналітичними методами. Недоліком аналітичних методів контролю є їх довготривалість, тому вони не можуть відтворювати реальний технологічний процес, відповідно одержані результати таких експериментів не дозволяють встановити режими роботи заводу.

Виходячи із вищесказаного, необхідно удосконалити експериментальний процес і привести його у відповідність із реальними заводськими умовами. Як показує лабораторна практика найважче відтворити процес сатурації. Враховуючи це, особливу увагу приділили вивченню конструкції установки для здійснення процесу карбонізації (сатурації). Сучасні пристрої, які призначені для проведення процесу сатурації вапнованих соків в лабораторних умовах не є досконалими. Оскільки ці конструкції не дозволяють підтримувати виробничі умови ведення процесу, відповідно одержані результати не можуть бути достовірними. В результаті, було сконструйовано лабораторний пристрій (рис. 1) для здійснення процесу карбонізації, який дозволяє провести додатково ще і процеси поперед-

© Л.М. Верченко, Т.С. Кос, І.В. Попова 2009

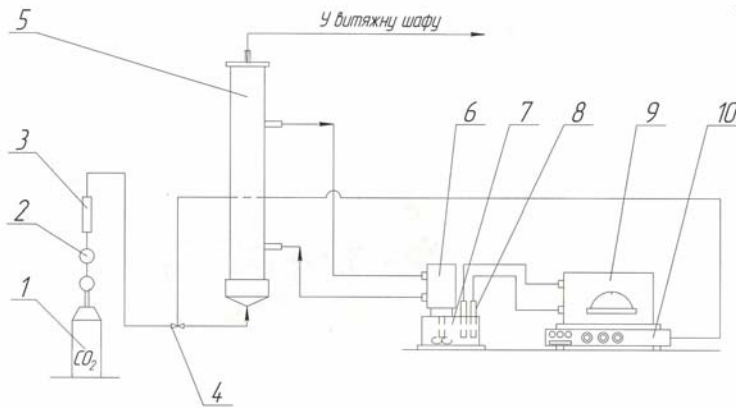


Рис. 1. Схема лабораторної установки для проведення процесу карбонізації

1 — балон з CO_2 ; 2 — редуктор; 3 — ротаметр; 4 — автоматичний клапан від блоку автоматичного титрування (БАТ); 5 — карбонізатор; 6 — занурений термостат; 7 — циркуляційний збірник соку; 8 — електроди від рН-метра; 9 — рН-метр; 10 — блок автоматичного титрування (БАТ)

нього та основного вапнування (попередньої та основної дефекації).

Лабораторна установка складається (рис. 1) із: 1 — балон з CO_2 ; 2 — редуктор; 3 — ротаметр; 4 — автоматичний клапан від БАТ; 5 — карбонізатор; 6 — занурений термостат; 7 — циркуляційний збірник соку; 8 — електроди від рН-метра; 9 — рН-метр; 10 — БАТ.

Пристрій для проведення процесу карбонізації працює наступним чином. Дефекований сік, або фільтрований сік I сатурації поміщається у циркуляційний збірник соку (7), в який занурюється термостат (6) та електроди (8) від рН-метра (9). Використання циркуляційного збірника соку дозволяє зациклити процес перекачування соку із збірника у карбонізатор (5), крім цього підтримати стабільну температуру розчину (90°C) та забезпечити краще перемішування соку із діоксидом вуглецю. Карбонізацію проводять до оптимального значення рН 10,8-ÅрН. РН-метр-мільвольтметр (9) об'єднаний з блоком автоматичного титрування (10), за допомогою якого здійснюється автоматична подача газу у вапнований розчин. При відкритті клапану (4) газ із балону (1) через редуктор (2) та ротаметр (3), які регулюють витрати газу, поступає в карбонізатор (5), де змішується з вапнованим соком. Допоміжний та вимірвальний електроди (8), які занурені у досліджуваний розчин, призначені для індикації кінцевої точки. В кінцевій точці електрод подає відповідний сигнал через рН-метр (9) на БАТ (10), який автоматично закриває клапан (4), після чого процес карбонізації вважається завершеним.

Процес вапнування здійснюється таким же чином, як і процес карбонізації лише за відсутності подачі газу та у відповідному режимі (з врахуванням температури, рН та витрат вапна).

Автоматичне проведення процесу вапнування та карбонізації дозволяє контролювати витрати та подачу CO_2 , вести процеси без відхилень до заданого значення рН та підтримувати стабільну темпе-

ратуру розчину на протязі всього експерименту. Все це підвищить точність результатів досліджень та спростить процес проведення дефекації та сатурації. Крім цього такий підхід дозволить встановити оптимальний режим очищення дифузійного соку та оптимальні витрати вапна.

Розроблений лабораторний пристрій для проведення процесу карбонізації захищений патентом України [2] та рекомендований для використання в учбових та цукрозаводських лабораторіях.

Висновки. Автоматичне проведення процесу вапнування та карбонізації дозволяє контролювати витрати та подачу CO_2 , здійснювати дані процеси без відхилень до заданого значення рН та підтримувати стабільну температуру розчину на протязі всього експерименту. Все це підвищить точність результатів досліджень та спростить процес проведення дефекації та сатурації. Крім цього такий підхід дозволить встановити оптимальний режим очищення дифузійного соку та оптимальні витрати вапна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція по хіміко-технічному контролю и учету сахарного производства. — Киев. — ВНИИСП. — 1983. — С. 476.
2. Пат. 18761 У України, МПК⁷ B01L 5/00. Лабораторний пристрій для проведення процесу карбонізації / Т.С. Гусарук, Л.М. Верченко, Л.М. Хомічак — u 200606058; Заявл. 01.06.2006; Опубл. 15.11.2006., Бюл. № 11.

Одержана редколегією 27.02.09

С.А. БУТ, кандидат технічних наук
В.С. КОСТЮК, кандидат технічних наук
К.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, кандидат технічних наук
Національний університет харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛО- І МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ЦИКЛАХ

Розглянуто особливості термодинамічних циклів теплових насосів, визначено їх порівняльні характеристики та перспективи застосування в харчовій промисловості.

Ключові слова: термодинаміка, цикл, фазовий перехід, насос, коефіцієнт, потенціал.

Рассмотрены особенности термодинамических циклов тепловых насосов, определены их сравнительные характеристики и перспективы применения в пищевой промышленности.

Ключевые слова: термодинамика, цикл, фазовый переход, насос, коэффициент, потенциал.

Технології харчових виробництв за своє наукове підґрунтя мають сучасні уявлення про атомно-молекулярну структуру, хімічні зв'язки, будову молекул, рідин, твердих тіл, природу розчинів, дисперсних систем, колоїдів, хімічну термодинаміку тощо. Виконання значної кількості технологічних процесів здійснюється за наявності фазових переходів, подібнення, утворення твердих тіл, створення різних розчинів або виділенням з них твердих фракцій, сорбції, абсорбції, адсорбції або десорбції в умовах розкладання складних речовин чи синтезу нових.

Багатокомпонентні системи часто розрізняються не тільки хімічним складом, а і за присутністю газової, рідинної або твердої фаз, між якими здійснюються тепло- і масообмінні процеси, що супроводжуються перетвореннями енергії.

Такі форми енергії, що звільняються за хімічних або фізичних перетворень, конденсації пари, паротворення, кристалізації рідини, плавлення відносяться до внутрішньої енергії речовини. Внутрішня енергія u речовини (або системи) є повною енергією частинок, з яких вона складається. Внутрішня енергія представлена сумою кінетичної і потенціальної енергій частинок. При цьому кінетична енергія — це енергія їх поступального, коливального і обертального рухів, а потенціальна енергія обумовлена силами притягання і відштовхування, що діють між ними.

Величина внутрішньої енергії речовини залежить від її стану і зміну цього показника можливо визначити. Перехід системи з початкового стану 1 до кінцевого стану 2 супроводжується, наприклад, виконанням роботи A і поглинанням з зовнішнього середовища теплоти Q :

$$u_2 = u_1 - A + Q.$$

або

$$\Delta u = u_2 - u_1 = Q - A. \quad (1)$$

В основі цих співвідношень лежить закон збереження енергії, у відповідності до якого вказані зміни не залежать від способу перебігу процесу, а лише визначаються початковими і кінцевими параметрами.

Існування речовин у формі твердих, рідинних і газоподібних, як відомо, визначається співвідношеннями параметрів тиску і температури.

При цьому перебіг процесів фазових переходів супроводжується найбільш активними тепло- і масообміном. Останнє стало вагомою причиною уваги до них і задіяно у значній кількості технологій, пов'язаних з тепловою обробкою, охолодженням середовищ тощо і визначено завданням цього дослідження.

Важливо, що накопичення енергетичного потенціалу у формі теплової енергії можливе у заданому проміжку часу для заданої маси рідинного середовища. При цьому за певних співвідношень між тиском і температурою фазові переходи можуть не відбуватися. Разом з цим різке зниження тиску аж до рівня атмосферного не супроводжується технічними складностями і легко реалізуються [1, 2].

Однак, такий перебіг зміни параметрів тиску означає наблизений до миттєвого перехід середовища у незрівноважений стан, у якому останнє має надлишок теплової енергії. Подальший перебіг процесу визначається принципом Ле-Шательє, за яким досягнення нового стану рівноваги супроводжується активним утворенням парової фази.

На цій основі побудовано значну кількість технологічних теплових процесів обробки во харчовій, хімічній та мікробіологічній промисловостях, які об'єднуються під назвою дискретно-імпульсних технологій. Перебіг до нового стану рівноваги середовищ при цьому є достатньо швидкоплинним, що у багатьох випадках дає підстави вважати їх адіабатними. З врахуванням відміченого слід підкреслити можливість досягнення потужностей у цих

процесах, які на порядок, або навіть на кілька порядків перевищують традиційні технології. Їх результатом є кавітаційні явища, руйнування складових середовищ, інтенсивний масообмін між останніми, прискорення екстракції тощо [3-7].

В розглянутій ситуації енергетичне підґрунтя утворення парової фази досягалося попереднім передаванням середовищу теплової енергії з синхронним підвищенням тиску. Проте енергетичний потенціал водовмісткого середовища присутній і за температур, нижчих за 100 °С, для яких режим адіабатного кипіння може досягатися лише за їх вакуумування. Важливо, що для значної кількості харчових виробництв технологічні цикли завершуються необхідністю охолодження середовищ. Сучасна організація останнього процесу потребує додаткових енергетичних, матеріальних і економічних витрат. Це саме так, оскільки до використання залучаються холодильні установки або потоки холодної води з артезіанських свердловин тощо.

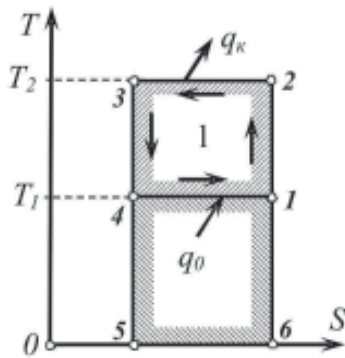


Рис. 1. Схема зворотного циклу Карно

Між тим тепловий потенціал середовищ, що потребують охолодження, може бути додатковим енергетичним джерелом за використання теплових насосів. До розповсюджених з числа останніх відносяться пристрої, в основу яких покладено зворотній цикл Карно. До цієї групи відносяться компресорні установки, холодильним агентом в яких виступають аміак, діоксид вуглецю, фреони тощо. Холодильний цикл теплового насоса наведено на рис. 1. В ізотермічному процесі 4-1 до холодильного агента підводиться питома теплота q_0 від охолоджуваного середовища і їй на діаграмі відповідає площа 1-4-5-6-1. Адіабатному стисканню відповідає процес 1-2, а у процесі 2-3 здійснюється конденсація стиснутої пари. Кількість відведеної теплової енергії q_k відповідає площі 1-2-3-4-5-6-1, а площа 1-2-3-4-1 еквівалентна роботі компресора ℓ .

Таким чином маємо:

$$q_k = q_0 + \ell. \quad (2)$$

Холодильний коефіцієнт таких установок визначається формулою:

$$\varepsilon = \frac{q_0}{\ell} \quad (3)$$

і в залежності від параметрів циклу може складати 5-7 одиниць і більше.

З точки зору умов і меж використання принципів значення мають температури T_1 та T_2 фазових переходів. Як видно з рис. 1, їх зближення збільшує холодильний коефіцієнт, а межі їх можливих значень залежать, по-перше, від тисків P_1 та P_2 , а, по-друге, — від температур середовищ, з якими здійснюється теплообмін.

У відповідності до другого закону термодинаміки перехід теплової енергії в роботу не може бути єдиним результатом термодинамічного процесу, тобто має існувати компенсаційний процес.

Тепловий двигун, що працює за циклом Карно, виконує роботу, еквівалентну лише частині теплоти, отриманої від нагрівання, а другу частину віддає холодному джерелу.

В холодильній машині передавання енергії у формі теплоти від холодного джерела до гарячого здійснюється за рахунок компенсаційного процесу здійснення роботи компресора.

Для порівняння прямого і зворотного циклів Карно звернемося до діаграм T-S (рис. 2).

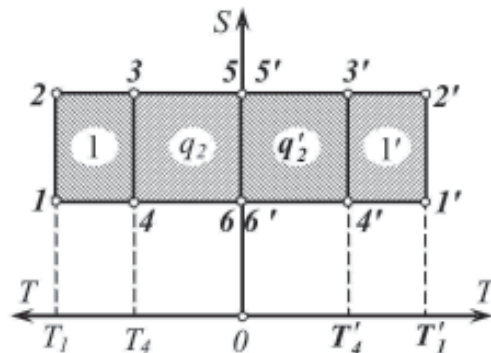


Рис. 2. Прямий і зворотний цикли Карно в координатах T-S

Тут для прямого циклу маємо площу 1-2-3-5-6-4-1, що відповідає теплоті q_1 робочого тіла, площу 3-5-6-4, еквівалентну теплоті q_2 , відданій холодному джерелу і площу 1-2-3-4, еквівалентну теплоті, що перетворена в роботу.

Технічний коефіцієнт такого циклу

$$\eta = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = \frac{T_1 - T_4}{T_1}.$$

В інтересах підвищення останнього різницю температур $T_1 - T_4$ слід по можливості підвищувати. Проте очевидно, що максимальна межа T_1 і мінімальна T_2 є певним чином обмеженими, що і визначає ефективність теплових двигунів.

Для зворотного циклу Карно формула (3), що визначає величину холодильного коефіцієнта трансформується до виду:

$$\varepsilon = \frac{T'_4}{T'_1 - T'_4}.$$

З неї видно, що зниження різниці температур $T'_1 - T'_4$ підвищує холодопродуктивність.

Таким чином, перетворення теплоти в роботу відбувається з відносно низьким значенням ККД в теплових двигунах, зате в зворотних термодинамічних циклах перетворення роботи в теплову енергію супроводжується значеннями холодильного коефіцієнта до 10 одиниць і більше.

Звідси видно, що в системі енергозабезпечення, у складі якої є первинний енергоносіє, двигун-генератор електричного струму, мережа передавання електроенергії і споживач, вирішальну роль у підвищенні загального ККД відіграє спосіб споживання електроенергії. Якщо остання використовується для приведення в дію технологічних, транспортних або інших машин, енергозабезпечення апаратів з прямим (омічним) перетворенням її в теплову, безпосереднього опалення приміщень, перетворенням в електромагнітну ВЧ і НВЧ, то матиме місце енергетичний баланс. Це означає, що загальний ККД такої системи буде нижчим за термічний ККД двигуна-генератора.

За випадків трансформації електричної енергії у теплову з використанням зворотного циклу Карно досягається можливість підвищення ефективності використання системи.

Співвідношенням температур T'_1 і T'_2 та відповідних тисків P'_1 і P'_2 має відповідати внутрішній теплоносіє з фазовими переходами випаровування і конденсації. Оскільки з точки зору інтересів перенесення теплоти від холодного джерела до гарячого має значення різниця температур $T'_1 - T'_4$, то саме тому теплові насоси доцільно використовувати за наявності низькопотенціальних енергетичних джерел. До їх числа відносяться культуральні середовища для продуціювання мікроорганізмів, збродування цукромістких середовищ спиртових та пивоварних заводів, охолодження пивного суслу після варіння, пива перед фасуванням, охолодженню середовища молочних заводів, кінцева продукція більшості харчових виробництв тощо.

Обов'язковою складовою в роботі теплового насоса є газова або парова фаза, яким у процесі адиабатного стискання надається додаткова енергія і досягається можливість теплообміну з зовнішнім середовищем на нових рівнях температур. Результатом такої трансформації параметрів є можливість використати енергію "холодного джерела". При

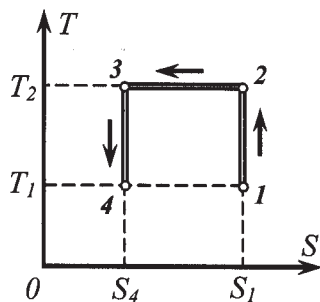


Рис. 3. Діаграма роботи теплового насоса

цьому температурний діапазон останнього може бути достатньо великим в межах від кількох градусів за шкалою Цельсія для рідинних середовищ до температур > 100 °С для парової фази тощо. Однак в останньому випадку принципове влаштування теплового насоса буде іншим і воно дозволяє використати теплову енергію самої парової фази, підвищивши її температуру для можливості подальшого теплообміну в режимі фазового переходу. Подібний термодинамічний процес відповідає діаграмі Т-S (рис. 3).

За умовою цього випадку на відміну від зворотного циклу Карно випадає така складова, як випаровування, оскільки конденсат пари виводиться з процесу, а залишаються адиабатне стискання (ділянка 1-2), конденсація пари (ділянка 2-3) та зниження тиску конденсату до тиску середовища, в якому здійснюється генерування парової фази (ділянка 3-4). Для цих умов маємо співвідношення

$$\frac{q_2}{\ell} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

Вибравши величину $t_1 = 100$ °С для різних значень T_2 виконано розрахунки, наведені у таблиці.

Енергетичні співвідношення теплового насоса

$t_2, \text{°C}$	110	115	120	125	130	135	140	145	150
l, кДж	10,675	16	21,35	26,688	32,125	37,36	42,7	48,04	53,4
q_2/l	37,3	24,87	18,65	14,92	12,43	10,66	9,325	8,29	7,46

Вважаючи величину q_2/ℓ коефіцієнтом енергетичних перетворень, відмітимо надзвичайно високу ефективність утилізації вторинної пари. Для прикладу наведемо співвідношення, які стосуються варіння пивного суслу.

Відповідними регламентами передбачається за цей процес випарувати біля 10 % рідинної фракції. Між тим загальні об'єми маси, що підлягає кип'ятінню, складають від 200 до 2000 Гл, що відповідає кількості генерованої вторинної пари від 2 до 20 т. Здійснюється цей процес на протязі 2 годин і при скиданні вказаної кількості пари в навколишнє середовище енергетичні втрати складають

$$Q_{\text{втр}} = \gamma m_{\text{пар}} = 2,2584 \cdot 2000 = 4516,8 \text{ МДж}$$

та

$$Q_{\text{втр}} = 2,2584 \cdot 2000 = 4516,8 \text{ МДж,}$$

де γ — теплова енергія пароутворення, $m_{\text{пар}}$ — маса утвореної вторинної пари.

Вказаним тепловим втратам відповідають теоретичні еквіваленти по газу з теплотвірною здатністю 50280 кДж/кг у кількостях 89,8 та 898 м³. Оскільки практично існує технологічна можливість виконання 4-х варок за добу, то вказані енергетичні втрати мають бути еквівалентно збільшені.

Генерація 10 % вторинної пари від загальної маси суслу виконується на користь досягнення за-

даної щільності або концентрації екстрактивних речовин. У зв'язку з цим вторинна пара не може бути безпосередньо повернута у джерело її утворення, а тепловіддача повинна здійснюватися через відповідну поверхню. При цьому температурний напір підтримується за рахунок відповідного тиску в камері (сорочці) конденсації вторинної пари.

Теплові насоси, побудовані на основі зворотного циклу Карно, і ті, в яких використовується для стискання вторинна пара, мають однакоє термодинамічне підґрунтя. В обох випадках використовуються термодинамічні закономірності, що ґрунтуються на взаємозв'язках між тиском і температурою газової або парової фаз. Саме їх синхронізовані зміни дозволяють організувати теплообмін за різних температур, в тому числі і у зоні їх від'ємних значень. Завдяки такому підходу забезпечується можливість теплопередавання у напрямку до холодильного агента, задіяного у циклі або від нього. Саме зміна напрямків теплових потоків у випарнику та у конденсаторі дозволяє здійснити перехід до спеціальних теплових насосів, які називаються теплохолодильними (ТХУ) установками. Вони дозволяють одотерміново виконувати процеси охолодження і нагрівання різних виробничих потоків або середовищ. Очевидно, що у таких випадках ефективність використання теплових насосів підвищується.

Наведена інформація дає підстави сформувані структурну схему-класифікацію теплових насосів на основі їх основних фізичних властивостей (рис. 4).

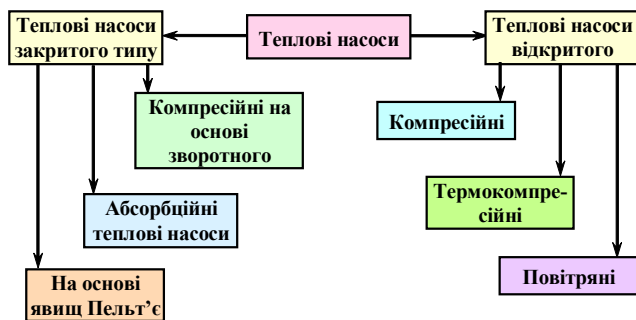


Рис. 4. Схема-класифікація теплових насосів

У відповідності до неї до теплових насосів закритого типу відносяться пристрої з проміжним тепловим агентом (аміак, фреон тощо).

У відкритих теплових насосів трансформації енергетичних рівнів газових або парових потоків здійснюються за рахунок їх стискання.

Висновки. Наведена інформація, аналіз і порівняння термодинамічних циклів дозволяють відмітити наступне.

1. Зворотні цикли Карно, покладені в основу сучасних теплових насосів є підґрунтям для перегляду значної кількості теплообмінних процесів з економією первинних енергоресурсів харчових виробництв.

2. Важливим продовженням енергоощадних технологій є зменшення екологічного тиску діючих технологій на довкілля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соколенко А.И., Українець А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник специалиста пищевых производств. Книга 2. Теплофизические процессы. Энергосбережение. — К.: АртЭк. — 2003. — 432 с.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. — М.: Высшая школа. — 1980. — 367 с.
3. Соколенко А.И., Шевченко О.Ю., Піддубний В.А. Интенсифікація масообмінних процесів в харчових і мікробіологічних технологіях. — К.: Люксар. — 2008. — 443 с.
4. Соколенко А.И., Піддубний В.А. Про енергозбереження і енергоресурси // Харчова промисловість. — 2007. — № 5. — С. 66-68.
5. Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый И.С. и др. Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. — К.: ИТТФ НАНУ, 1996. — 206 с.
6. Піддубний В.А. Энергетичне підґрунтя тепло- і масообміну в харчових технологіях // Харчова промисловість. — 2008. — № 6. — С. 80-83.
7. Піддубний В.А. Аналіз особливостей і переваг перехідних процесів в харчових технологіях // Харчова промисловість. — 2008. — № 6. — С. 66-69.

Одержана редколегією 10.09.2008 р.

В.Р.КУЛІНЧЕНКО, доктор технічних наук
О.М. ДЕМЕНЮК, кандидат технічних наук
Національний університет харчових технологій

ДИНАМІКА ПІНОУТВОРЕННЯ В'ЯЗКОЇ РІДИНИ З БУЛЬБАШКАМИ

Розглядається процес розширення великої кількості газових бульбашок у нестисливій в'язкій рідині. Для достатньо малих швидкостей визначається форма вільних границь. Досліджується формування рідких плівок при наближенні двох газових бульбашок. У моделі правильної упаковки бульбашок розраховується процес їх деформації і утворення плівок.

Ключові слова: піна, газові бульбашки, піноутворення, рідинні плівки, розвинена піна.

Рассматривается процесс расширения большого числа газовых пузырьков в несжимаемой вязкой жидкости. Для достаточно малых скоростей определяется форма свободных границ. Исследуется формирование жидких пленок при сближении двух газовых пузырьков. В модели правильной упаковки пузырей рассчитывается процесс их деформации и образования пленок.

Ключевые слова: пена, газовые пузырьки, пенообразование, жидкие пленки, развитая пена.

1 Постановка задачі. Вважаємо, що у нестисливій в'язкій рідині знаходиться велика кількість газових бульбашок однакового об'єму V , які ростуть у часі в результаті розширення газу чи за рахунок виділення газу з рідини. Вважаємо функцію $V(t)$ відомою. Задача зводиться до визначення форми вільних границь залежно від часу. Необхідно визначити, як утворюються рідкі плівки, яка їх форма і товщина.

Можна побудувати наближену модель задачі у випадку досить малих швидкостей зміни об'єму бульбашок, коли малі числа капілярності і Вебера:

$$\frac{\mu}{\sigma} \frac{dR_v}{dt} \ll 1; \quad \frac{\rho R_v}{\sigma} \left(\frac{dR_v}{dt} \right)^2 \ll 1, \quad (1)$$

де R_v — радіус сфери об'єму V . У цьому випадку на початковій стадії росту бульбашок, доки відстань між їх границями значна у порівнянні з радіусами, їх форма мало відрізняється від сфери. Умови (1) виражають незначність динамічних напруг у порівнянні з капілярними силами. При малих значеннях чисел Рейнольдса $(dR/dt)R/v$ достатньо прийняти одну першу умову (1).

Якщо відстань між поверхнями значно менша радіусів $h \ll R$, то в області найбільшого зближення границь можна застосувати наближення тонкого шару. Довжина плівки, симетричної між площинами x_1, x_2 , становить:

$$\begin{aligned} \rho h \frac{dv_i}{dt} &= hF_i + h\nabla_i \left(\frac{1}{2} \sigma \Delta h + \Pi \right) + 2\nabla_j P_{ij}^{(S)} + \\ &+ \nabla_j \left[h\mu (2\delta_{ij} \operatorname{div} v + \nabla_i v_j + \nabla_j v_i) \right], \quad i, j = 1, 2; \\ 6\mu v_i &= -h\nabla_j P_{ij}^{(S)}; \quad P_{ij}^{(S)} = \sigma \delta_{ij} + \lambda_s \operatorname{div} v \delta_{ij} + \mu_s (\nabla_i v_j + \nabla_j v_i); \\ \operatorname{div}(h\bar{u} + h\bar{v}) &= -\frac{\partial h}{\partial t}, \end{aligned} \quad (2)$$

де v — швидкість поверхні; u — середня в перерізі плівки швидкість рідини відносно поверхні; σ —

коефіцієнт поверхневого натягу; Π — тиск розклинення [2]; μ_s і λ_s — коефіцієнти в'язкості поверхневого шару. Рівняння (2) дійсні за умов, що товщина шару повільно змінюється вздовж координат, $h \ll \ell$, де ℓ — характерний масштаб зміни h і параметрів течії; приведене число Рейнольдса при цьому $h^2 u / (v \ell) \ll 1$, а характерний час $\tau \gg h^2 / v$. Сила тяжіння діє вздовж плівки, тому що протяжність плівки досить мала $r \ll \sigma / (\rho g)$ і викривлення її середньої поверхні не суттєве.

Рівняння замикаються додатковими співвідношеннями для знаходження значень поверхневого натягу σ , які є змінними в результаті впливу поверхнево-активних речовин. Цей вплив вважаємо значним і тому зміни елемента площі поверхні плівки не залежить від її динаміки. Цьому випадку відповідає постійна вздовж поверхні швидкість її розширення, $\operatorname{div} v = \operatorname{const}$, і тому перше рівняння системи (2) буде аналогічним рівнянню Нав'є-Стокса, а рівняння нерозривності служить для визначення товщини h . У порівнянні з плоскою задачею для рівняння Нав'є-Стокса для визначення руху у нашому випадку на границі необхідно задати дві додаткові скалярні умови, тому що рівняння має четвертий порядок по h . Наприклад, вздовж деякої лінії Γ можна задати чотири значення $v_1, v_2, h, \Delta h$.

Граничні умови для рівнянь (2) у задачі, що розглядається, раніше невідомі. Їх необхідно визначити з умови зрощення рішення з рішенням рівнянь в області великих відстаней між поверхнями бульбашок.

Форма вільної поверхні на достатній відстані від поверхні сусідньої бульбашки (зовнішня область) за умов (1) описується рівнянням рівноваги

$$\sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = p_\sigma = p_g - p_f^{(0)} + \rho(U - U_{(0)}), \quad (3)$$

де p_σ — різниця тиску в газі p_g і рідині p_f ; U — потенціал зовнішніх масових сил; індекс (0) відповідає деякій точці поверхні; R_1 і R_2 — головні радіуси кривизни.

Рівняння (3) може бути порушеним в області малих відстаней між поверхнями бульбашок, де необхідно розглядати вираз (2). Нехай плівка між бульбашками має відстань r , яка значно перевищує її товщину, а також величину $(Rh)^{0.5}$. Тоді можна ввести границю півки Γ — плоский контур, вздовж якого відстань між поверхнями бульбашок перетворюється в нуль по відношенню до великого характерного значення цієї відстані R в зовнішній області.

Якщо поверхня бульбашки підходить до краю півки під достатньо малим кутом α , то наближення тонкого шару дійсне не тільки всередині контуру Γ , але і в певній області поза ним. На границі зовнішньої області Γ для рівняння (3) необхідно задати умови:

$$h|_\Gamma = 0; \quad \frac{1}{2} \frac{\partial h}{\partial n}|_\Gamma = \text{tg} \alpha. \quad (4)$$

Для визначення руху півки необхідно виконати такі умови, щоб поза Γ в межах $h/h_0 \rightarrow \infty$ величина h прямувала до розв'язку наступного рівняння з граничними умовами на Γ :

$$\frac{1}{2} \sigma \Delta h = p_\sigma, \quad h|_\Gamma = 0. \quad (5)$$

Це співвідношення відповідає двом граничним умовам для вирішення (2). Ще дві умови можна отримати з умови зрощування швидкості v зі значеннями в зовнішній області.

2. Стрибок капілярного тиску. Введемо безрозмірні позначення у граничні умови (5)

$$h = h_0 h'; \quad x = \ell x'; \quad \ell = \frac{h_0 \sigma}{\sqrt{2p_\sigma}}, \quad (6)$$

де h_0 — мала товщина півки всередині контуру Γ , відповідає малому масштабу $\ell \sim \sqrt{Rh}$. Величина $\ell \ll r$, тому що плівка існує тільки за цієї умови [1, 3]. Перехід від зовнішньої області до півки (внутрішня область) відбувається у вузькій області, де має місце стрибок.

Аналізуючи перше рівняння (2) у змінних малого масштабу (6) і випускаючи малі величини порядку числа Вебера, h^2/ℓ^2 , ℓ/r і ℓ/R , отримуємо:

$$h \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\sigma}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \Pi \right) + 2 \frac{\partial}{\partial x} P_{xx}^{(s)} = 0, \quad P_{xx}^{(s)} = \sigma + (\lambda_s + 2\mu_s) \frac{\partial v_n}{\partial x}. \quad (7)$$

Зміна поверхневого натягу вздовж півки незначна, $\Delta \sigma \ll \sigma$. Тому в умові для нормальної напруги на поверхні коефіцієнт $\sigma = \text{const}$.

Інтегруючи (7) за цих умов, матимемо:

$$2\sigma + \frac{\sigma h}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{\sigma}{4} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 + \int h \frac{\partial \Pi}{\partial h} dh + 2(\lambda_s + 2\mu_s) \frac{\partial v_n}{\partial x} = \text{const}. \quad (8)$$

Дотична до контуру Γ швидкість на стрибку завжди безперервна $v_n = \text{const}$, як це можна ба-

чити з теореми збереження імпульсів в інтегральній формі.

Для рівняння нерозривності (2) на стрибку, як і в (7), достатньо одновимірної апроксимації. Розраховуючи значення i , знайдемо:

$$\frac{\partial h}{\partial t} - w_n \frac{\partial h}{\partial x} = - \frac{\partial}{\partial x} (h v_n) - \frac{\sigma}{24\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3 \partial^3 h}{\partial x^3} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial \Pi}{\partial x} \right). \quad (9)$$

де x — відстань по нормалі до Γ . Рівняння записане у системі, яка рухається по нормалі до Γ разом з точкою $x = 0$ контуру Γ ; величина w_n — нормальна швидкість точки контуру Γ . Для замикання системи (7), необхідно навести вираз (8) чи рівняння, які зв'язують σ з параметрами руху, і вважати v_n змінною, чи розглянути випадок нестисливої поверхні. В останньому випадку замикаюче співвідношення: $v_n = \text{const}$ по координаті.

Умова зрощення рішення з рішенням задачі у внутрішній області

$$h \rightarrow h_0, \quad x/\ell \rightarrow -\infty. \quad (10)$$

Умова переходу до зовнішнього розв'язку записується на основі (5)

$$h \rightarrow h^{(e)}, \quad x/\ell \rightarrow \infty. \quad (11)$$

За таких умов і у відповідності з рівнянням (5) та визначенням поняття лінії Γ зовнішнє рішення становить:

$$h^{(e)} = \begin{cases} (p_\sigma / \sigma) x^2 + h_{\min}^{(e)}, & h_{\min}^{(e)} > 0; \\ (p_\sigma / \sigma) x^2 + 2\text{tg} \alpha x, & h_{\min}^{(e)} > 0. \end{cases} \quad (12)$$

Лінія Γ визначається як лінія рівності нулю товщини $h^{(e)}$ чи як лінія мінімуму цієї товщини [$h_{\min}^{(e)} = O(h_0)$].

Зміну σ вздовж стрибка і повну зміну σ на стрибку запишемо на підставі залежностей (8), (10) і (11) не враховуючи при цьому поверхневу в'язкість

$$\sigma - \sigma_{(e)} + \frac{\sigma}{4} h \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{\sigma}{8} \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 - \frac{1}{2} \int_h^\infty \frac{\partial \Pi}{\partial h} dh = \Delta; \quad (13)$$

$$\sigma_{(i)} - \sigma_{(e)} = \Delta + \frac{1}{2} \int_{h_0}^\infty \frac{\partial \Pi}{\partial h} dh;$$

$$\Delta = \frac{1}{2} h_{\min}^{(e)} p_\sigma, \quad \Delta > 0; \quad \Delta = -\frac{1}{2} \sigma \text{tg}^2 \alpha, \quad \Delta < 0.$$

Під час утворення півки, коли контур Γ розширюється ($w_n > 0$) чи коли контур Γ нерухомий і відбувається потоншення півки [3], поверхня півки всередині контуру Γ зазвичай більш розтягнута, ніж зовні, тому величина $\sigma_{(i)} > \sigma_{(e)}$. При цьому, як видно з виразів (12) і (13) для випадку $\Pi \approx 0$, зовнішня поверхня прямує до дотичної, що побудована до півки при масштабі R , величина кута $\alpha \equiv 0$ у граничній умові (4).

Кут $\alpha \neq 0$ можливий тільки при $\Delta < 0$, тобто коли $\sigma_{(i)} < \sigma_{(e)}$. При $\Pi \approx 0$ плівка макроскопічної товщини, що зазвичай можливе при стисненні поверхні все-

редині Γ . Але навіть у тому випадку, коли кут α можна визначити з рівнянь стрибка ($\sigma_{(i)} < \sigma_{(e)}$), то якщо справедливе наближення тонкого шару, його значення залишається дуже малим для постановки задачі рівноваги (3).

Важливо, що в разі виконання рівнянь (13) малим значенням товщини плівки h_0 і малим кутам α завжди відповідають малі значення зміни поверхневого натягу на стрибку: $\Delta \sim h_0 \rho_c$ чи $\Delta \sim \sigma \alpha^2$.

Якщо перейти до безрозмірних позначень (6) і часу $t' = t/\tau$, де τ — часовий масштаб зміни контуру Γ і капілярного тиску p_c , знайдемо умову справедливості квазістаціонарного наближення: $\tau |v_n - w_n| \gg \ell$. Характерні час τ , масштаб s і швидкість w_n переміщення контуру Γ зв'язані між собою наступним чином $s \sim v_n \tau$, виходячи з цього остання умова еквівалентна нерівності:

$$\frac{\ell}{s} \ll \frac{w_n - v_n}{w_n}, \quad (14)$$

яка виконується, коли швидкість руху контуру Γ змінюється на великій відстані $s \gg \ell$ і якщо відносна швидкість не дуже мала в порівнянні з w_n . При утворенні плівки її розмір $r \gg \ell$ і умова (14) виконується ($s \sim r$).

Нехтуючи явною залежністю від часу (9), отримуємо наступний вираз з урахуванням рівняння (10):

$$w_n(h - h_0) = v_n h - v_{n0} h_0 + \frac{\sigma}{24\mu} h^3 \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} + \frac{h^3}{12\mu} \frac{\partial \Pi}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x}, \quad (15)$$

де v_{n0} — значення v_n на границі внутрішньої області при $x/\ell \rightarrow -\infty$, v_n — у загальному випадку змінна величина.

Розглянемо граничний випадок нестисливої поверхні, $v_n = \text{const}$. Обмежимося також макроскопічною товщиною плівки $\Pi = 0$ (для $\Pi \neq 0$ аналогічні задачі розглянуті в [6]). Перетворимо змінні (6) в (15), (10), (12) так, щоб

$$\ell = \sqrt{\frac{\sigma h_0}{2p_c}} = \frac{h_0}{\sqrt{c}} \left[\frac{\sigma}{24\mu(w_n - v_n)} \right]^{1/3}, \quad (16)$$

де для визначення невідомої величини c необхідно розв'язати наступну задачу:

$$y^3 y''' - y + 1 = 0, \quad y|_{-\infty} = 1, \quad y''|_{+\infty} = c.$$

Числовий розрахунок дозволяє отримати величину $c = 0,6429$, тоді з (16) слідує

$$h_0 = 2,675 \frac{\sigma}{p_c} \left[\frac{\mu(w_n - v_n)}{\sigma} \right]^{2/3}, \quad w_n - v_n > 0. \quad (17)$$

Якщо виконується остання нерівність, то товщина плівки визначається однозначно, у протилежному випадку виникає один довільний параметр у розв'язку, який призводить до того, що значення h_0 у внутрішній області не визначається, а задається.

3. Рівняння поза стрибком. Розглянемо область всередині і поза контуром Γ . Розмір внутрішньої

області набагато більший масштабу $r \gg \ell$. Масштаб зміни функції за координатою у внутрішній області становить r , за часом $\sim r/w$, характерне значення товщини $\sim h_0$. Порівняння, з урахуванням сказаного, рівняння (2) у внутрішній області з рівнянням на стрибку (7) показує, що з точністю до малих $\sim (\ell/r)^2$ можна пропустити Δh в (2). Випускаючи також малі величини порядку числа Вебера, отримуємо:

$$hF_1 + h\nabla_1 \Pi + 2\nabla_1 P_{1j}^{(e)} = 0. \quad (18)$$

У разі малих масових сил ($\rho g r R \ll 2\sigma$) і поверхневої в'язкої напруги, рівняння (18) інтегрується

$$2\sigma + \int h \frac{\partial \Pi}{\partial h} dh = \text{const}. \quad (19)$$

Для макроскопічних плівок інтегралом (19) варто знехтувати, тому що поверхневий натяг у внутрішній області приблизно стала величина. Зміна натягу $\Delta \sigma_{(i)}$ асимптотичне мале в порівнянні зі зміною натягу на стрибку Δ , тоді

$$\Delta \sigma_{(i)} = O\left(\frac{\ell^2}{r^2} \Delta\right), \quad \Delta = [\sigma_{(i)} - \sigma_{(e)}]_{\Gamma}. \quad (20)$$

Зауважимо, що рівняння (20) може порушуватися на певних ділянках внутрішньої області, де $h \gg h_0$.

Рівняння збереження маси

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\sigma}{24\mu} \text{div}(h^3 \text{grad} \Delta h) - \text{div}(vh) \quad (21)$$

спрощується при наявності малого параметра Ω :

$$\Omega = \frac{h_0^3}{s^4} \frac{\sigma \tau}{24\mu} \ll 1 \quad (22)$$

У цьому рівнянні s — масштаб зміни параметрів руху контуру плівки Γ , τ — відповідний час зміни ($\tau = r/w_n$). В області масштабу s рівняння (21) в першому наближенні за малим параметром Ω набуває виду:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\text{div}(vh). \quad (23)$$

Рівняння (23) визначає товщину плівки у внутрішній області, де $s \sim r$. Умову (22) можна подати у більш зручній формі, якщо урахувати (16):

$$\Omega \sim \frac{\ell^3}{s^3} \frac{w_n - v_n}{w_n} \ll 1. \quad (24)$$

Тому що $|w_n - v_n| \leq |w_n|$, то умова (24) виконана, якщо справедлива умова квазістаціонарності стрибка (14).

У зовнішній до контуру Γ області, де відстань між вільними границями велика, рух визначається рівнянням Нав'є-Стокса в області з границею, яка задається рівняннями рівноваги (3). Враховуючи, що масштаб зміни функції має порядок розміру області R , оцінимо максимальну величину зміни поверхневого натягу σ під дією дотичної напруги

$$\Delta \sigma_{(e)} \sim \mu v \sim \sqrt{h/R} [\sigma_{(i)} - \sigma_{(e)}]_{\Gamma} \ll [\sigma_{(i)} - \sigma_{(e)}]_{\Gamma}. \quad (25)$$

Із залежності (25) слідує, що для тонких плівок натяг внутрішньої області постійний $\sigma_{(e)} = \text{const}$. Таким чином, основна зміна поверхневого натягу

має місце в області стрибка. При цьому, виходячи з (20) величина $\sigma_{(i)} - \sigma_{(e)}$ вздовж Γ постійна. Ця додаткова умова, яка накладається на стрибок, приводить до сталості основних параметрів вздовж границі плівки, якщо $w_n - v_n > 0$:

$$(w_n - v_n)|_{\Gamma} = \text{const}, h_0|_{\Gamma} = \text{const}. \quad (26)$$

У цьому випадку величина $h_0|_{\Gamma}$ визначається, якщо відома величина $w_n - v_n$. У випадку, якщо для області Γ величина $w_n - v_n < 0$, розв'язок на стрибку включає додатковий параметр і величина h_0 може змінюватися вздовж Γ і може вважатися величиною, що задається.

Рух рідини у зовнішній області виникає в результаті зміни форми вільної поверхні, яка описується квазістатичним рівнянням (3) зі змінними параметрами. Рух залежить від значень нормальної швидкості $v_n^{(e)}$ на лінії повернення вільної поверхні Γ . Дотична швидкість на контурі Γ повинна бути обмеженою, вона визначається з розв'язку задачі, у випадку якщо поверхнева в'язкість дорівнює нулю. У разі коли поверхнева в'язкість відмінна від нуля, то дотичну швидкість на контурі Γ необхідно задавати.

4. Замикаючі співвідношення. У загальному випадку необхідно розглядати рівняння переносу поверхнево-активних речовин (ПАР) з залученням ізотерми адсорбції і поверхневого натягу. Але в окремих граничних випадках можна обійтися без цих рівнянь. Якщо вплив ПАР великий і поверхня нестислива по відношенню до дії в'язких напруг, при цьому властивості поверхні плівки по відношенню до зміни її площі не відрізняються від властивості поверхні рідини безмежної глибини, то швидкість зміни елементів площі поверхні буде скрізь однаковою і відповідною швидкості зміни площі поверхні бульбашки S . Так, для області плівки

$$\text{div } v = \frac{1}{S} \frac{dS}{dt}. \quad (27)$$

Віншому випадку поверхневий натяг в області плівки при її малій товщині може набагато сильніше залежати від зміни елементу площі, ніж у випадку поверхні рідини безмежної глибини. Тоді елементи площі поверхні плівки не будуть змінюватися

$$\text{div } v = 0. \quad (28)$$

Формули (3), (4) з $\alpha = 0$, (15) чи у випадку нестисливої поверхні (17), (23) і (26), а також (27) чи (28) дають замкнений опис у випадку одномірної задачі. У не одномірній задачі ці формули дозволяють визначити повну кількість рідини у плівці і товщину вздовж її краю у залежності від часу в процесі її формування.

5. Форма поверхні в зовнішній області. У системі зі щільно упакованими бульбашками малій деформації сферичного утворення відповідає малий радіус контуру Γ площі контакту. При цьому плівка

має малий розмір, що спостерігається на початку утворення будь-якої плівки.

Використовуючи малість деформацій, розглянемо лінійну задачу про стискання бульбашки фіксованого об'єму V силами F_{α} ($\alpha = 1, 2, \dots, 2N$) спрямованими вздовж радіуса, які є рівнодіючими однорідного додаткового тиску p_{σ} , прикладеного на малих плоских поверхнях з радіусом r

$$|F_{\alpha}| = \pi r^2 p_{\sigma}, F_{\alpha} = -F_{\alpha+N}, \alpha = 1, \dots, N.$$

Нормальне переміщення поверхні бульбашки

$$U = \sum_{\alpha=1}^N U_{\alpha}, \quad (29)$$

де U_{α} — переміщення, викликане стисканням бульбашки між двома площинами (рис.1) силами F_{α} , $F_{\alpha+N}$.

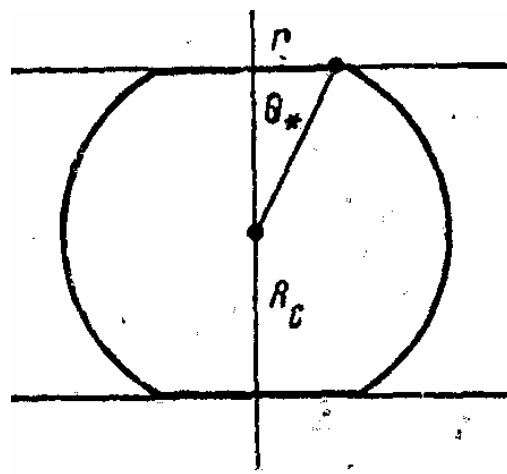


Рис.1. Деформація бульбашки між двома плоскими поверхнями

Розглянемо достатньо малі бульбашки, для яких можна не враховувати подразнення їх форми силою тяжіння ($\bar{n}gR^2 \ll 2\sigma$).

Задача про деформацію бульбашки між двома пластинами носить симетричний відносно осі характер, виходячи з цього в полярних координатах R, θ в області $\theta \in (\theta_*, \pi - \theta_*)$ рівняння (3) набуває виду:

$$\frac{R^3 + 2R_0'^2 - RR_0'^2}{(R^2 + R_0'^2)^{3/2}} + \frac{1 - \text{ctg}\theta(R_0'/R)}{(R^2 + R_0'^2)^{1/2}} = \frac{p_{\sigma}}{\sigma} = \text{const}. \quad (30)$$

Функція $R(\theta)$ повинна бути симетричною відносно $\pi/2$, $R(\theta - \pi/2) = R(\theta + \pi/2)$, а при $\theta = \theta_*$ нахил дотичної дорівнює нулю. Отже

$$\text{ctg}\theta R_0' = R, \theta = \theta_*, R(\theta_*) \cos \theta_* = R_c, \quad (31)$$

де R_c — половина відстані між площинами.

Величина об'єму бульбашки задається рівнянням:

$$\frac{2\pi}{3} \int_{\theta_*}^{\pi-\theta_*} \sin \theta d\theta = V.$$

Для малих деформацій бульбашки $R_0/2/R \ll 1$ і величині R близькій до R_0 :

$$R = R_0 + \delta, |\delta| \ll R_0, R_0 = \frac{2\sigma}{P_c}$$

Рівняння (30) у лінійному наближенні

$$\delta_0'^2 + \delta_0' \text{ctg} \theta + 2\delta = 0$$

має розв'язок, симетричний відносно $\pi/2$:

$$\delta = a \left(\frac{\cos \theta}{2} \ln \frac{1 + \cos \theta}{1 - \cos \theta} - 1 \right)$$

З урахуванням (31)

$$R_0 = R_c \left(1 + \theta_*^2 \ln \frac{2}{\theta_*} - \frac{1}{2} \theta_*^2 \right)$$

У наведених формулах враховуються тільки асимптотично-головні члени при $\theta_* \rightarrow 0$. Величини R_0 і R_c виражаються через радіус сфери еквівалентного об'єму $R_0 = [3V/(4\pi)]^{1/3}$:

$$R_0 = \left(1 - \frac{1}{3} \theta_*^2 \right) R_{0c}, R_c = \left(1 - \theta_*^2 \ln \frac{2}{\theta_*} + \frac{1}{6} \theta_*^2 \right) R_{0c} \quad (32)$$

Нормальне переміщення площі контакту становить:

$$U_\alpha = R_c - R_0 = \left(\frac{1}{6} \theta_*^2 - \theta_*^2 \ln \frac{2}{\theta_*} \right) R_{0c}, (\theta < \theta_*), \quad (33)$$

а нормальне переміщення поверхні на віддалі від площі контакту буде

$$U_\alpha = - \left(\frac{\cos \theta}{2} \ln \frac{1 + \cos \theta}{1 - \cos \theta} - \frac{2}{3} \right) \theta_*^2 R_{0c}, (\theta \gg \theta_*). \quad (34)$$

Лінійне рівняння відрізняється від точного (30) на малу при $\theta_* \rightarrow 0$ величину порядку $\theta_*^2 \ln(1/\theta_*)$.

6. Утворення плівок при правильній упаковці бульбашок. Нехай центри бульбашок розташовані у вузлах правильної решітки, окрема комірка з бульбашкою є дванадцятигранник. При розширенні газових бульбашок система рідини — бульбашки розширюється однорідно. При симетричному розміщенні бульбашок, при малих числах Рейнольдса в'язкі сили будуть діяти симетрично, з нульовою результуючою силою і не викличуть відносних переміщень бульбашок.

У ромбододакедрі (всі грані — ромби) нормаль до грані утворює кут 60° з лініями нормальними до чотирьох пар протилежних граней і кут 90° з одною такою лінією. Виходячи з цього із формул (29), (33) і (34) переміщення контакту дорівнює:

$$U = R_c - R_0 = - \left(\ln \frac{6R_0}{r} - \frac{7}{2} \right) \frac{r^2}{R_0} \quad (35)$$

Ураховуючи, що об'єм комірки ($32^{0.5} R_0^3$) дорівнює $V + V_*$, де V_* — об'єм рідини, знайдемо з (35)

$$\frac{dr}{dt} = \frac{R_0 \left(1 - \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \right)}{2r \left(\ln \frac{6R_0}{r} - 4 \right)} \frac{dR_0}{dt} \quad (36)$$

Для малих значень r швидкості v_n на контурі Γ , яка визначається розширенням поверхні бульбашки, має малий порядок r , тому

$$(w_n - v_n)|_\Gamma = \frac{dr}{dt} + O \left(r \frac{R_0'}{R_0} \right) \quad (37)$$

З (36), (37) і (17) можна отримати формулу для товщини утворюваної плівки у залежності від відстані до її центру:

$$h_0 = 0,685 R_0 \left(\frac{\mu}{\sigma} \frac{dR_0}{dt} \right)^{2/3} \left(\frac{R_0/r}{\ln(6R_0/r) - 4} \right)^{2/3} \quad (38)$$

З рівняння (38) виходить, що товщина плівки суттєво змінюється вздовж радіуса, у центрі плівка сильно потовщена. Максимальна товщина визначається умовою, коли з'являється стрибок, $\sqrt{h_0 R_0} \sim r$. Звідси ж знаходиться характерний мінімальний розмір r , з якого розпочинається утворення плівки. Ці величини мають наступний порядок:

$$\max h_0 \sim R_0 \left(\frac{\mu}{\sigma} \frac{dR_0}{dt} \right)^{1/2}, \min r \sim R_0 \left(\frac{\mu}{\sigma} \frac{dR_0}{dt} \right)^{1/4}$$

З (38) виходить також, що для отримання товстих плівок необхідно досягнути великої швидкості зближення поверхонь бульбашок у момент їх зіткнення. Чим більша швидкість виділення газу, тим більша товщина отриманих плівок. Аналогічним чином впливає в'язкість рідини μ .

7. Формування плівок у розвиненій піні. У граничному випадку сильно деформованих бульбашок рідина скупчується у вузьких нитках (канали Плато-Гіббса) вздовж ребер багатогранника. За винятком вершин, скрізь один радіус кривизни набагато менший за другий, $R_1 \ll R_2$. З урахуванням (3) для $\rho g R_1^2 \ll \sigma$ і (4) з кутом $\alpha = 0$ з (п. 2) виходить, що у перерізі поверхня каналів представляє собою три кола одного радіуса R_1 , як це спостерігається у статичній задачі.

Величини об'ємів рідини, які входять в комірку V_* і бульбашку V зручно представити через початкове значення n_0 (коли $V = 0$) чи поточне значення n кількості бульбашок в одиниці об'єму, а також через об'ємну частку рідини γ :

$$n_0 V_* = 1, n(V + V_*) = 1, \gamma = \frac{V_*}{V + V_*}, n = \gamma n_0 \quad (39)$$

Розглянемо піну з комірками у вигляді правильних багатогранників. При $R_1 \ll R_0$ для половини відстані між протилежними плівками у комірці R_0 і об'єму рідини у комірці наближено маємо:

$$R_c = \left(\frac{\pi\sqrt{2}}{6} \right)^{1/3} R_0 + O \left(\frac{R_1^2}{R_0} \right), V_* = 6\sqrt{2} \left(1 - \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \right) R_1^2 R_0$$

Для випадку, коли розширення поверхні плівки відбувається зі швидкістю розширення поверхні газової бульбашки (п. 4), розрахунки дають:

$$(w_n - v_n)|_\Gamma = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{R_1}{R_0} \frac{dR_0}{dt}, R_0 = \left(\frac{3}{4\pi} V \right)^{1/3} \quad (40)$$

Для випадку плівки, яка не розтягується (п. 4)

$$(w_n - v_n)|_r = \left[\frac{(\pi/3\sqrt{2})^{1/3}}{\sqrt{3}} + \frac{1}{2\sqrt{3}} \frac{R_1}{R_v} \right] \frac{dR_v}{dt}. \quad (41)$$

Формули (40) чи (41) і (17) дають вираз для товщини формування плівки, відрізняються від (38) тим, що змінність товщини пов'язана тепер тільки зі зміною в часі R_1/R_v і R_v . У випадку (40) зміна товщини відбувається також за рахунок одночасного розширення плівки.

Висновки. З рівняння (41) видно, що у випадку вертикальної поверхні плівки її товщина буде значно більшою, ніж у випадку рівномірного розширення плівки в усі сторони. Формування плівки

закінчується, коли швидкість R_2 зменшується настільки, що умова (14) перестав виконуватися, і тоді необхідно розв'язувати задачу про потоншення плівки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Воинов О.В. Уравнение движения свободных жидких пленок и модель их плоскопараллельного утоньшения. — Доклады АН СССР, 1974, т. 216, № 2. — С. 285–288.
2. Воинов О.В. К теории утоньшения свободных пленок вязкой жидкости. — ПМТФ, 1974, № 3. — С. 67–71.
3. Воинов О.В. Процесс образования пены из вязкой жидкости. Прикладная математика и механика, 1981, т. 45, вып.4. — С.686–695.

Одержано редакцією 04.12.2008 р.

УДК 681.324

Д.О. КРОНИКОВСЬКИЙ, магістрант
А.П. ЛАДАНИЮК, доктор технічних наук, професор
Національний університет харчових технологій

ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ СКЛАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Технологічні об'єкти автоматизації характеризуються рядом несприятливих властивостей, які не дозволяють отримати високі показники якості перехідних процесів. До таких властивостей відносяться: нелінійність, нестационарність, високий рівень перешкод, наявність перехресних зв'язків тощо.

Ключові слова: передаточна функція, регулятор, перехідний процес, багатопараметричний регулятор.

Технологические объекты автоматизации характеризуются рядом неблагоприятных свойств, которые не разрешают получить высокие показатели качества переходных процессов. К таким свойствам относятся: нелинейность, нестационарность, высокий уровень препятствий, наличие перекрестных связей и т.п.

Ключевые слова: передаточная функция, регулятор, переходной процесс, многопараметрический регулятор.

У промислових автоматичних системах регулювання технологічних об'єктів, як правило, застосовують типові ПІД- і ПІ-регулятори. Відомо, що ПІД-алгоритм вважається досить близьким до оптимального, заснованого на теорії Колмогорова-Вінера.

Як правило динамічна точність регулювання з цим регулятором стає недостатньою. У таких випадках звичайно йдуть на ускладнення структури системи, прикладом чого можуть служити багатоконтурні системи автоматичного регулювання.

З огляду на сучасні тенденції формування регулюючих пристроїв у мікропроцесорних контролерах, представляється можливим йти по шляху вдосконалення й ускладнення алгоритмів функціонування автоматичних регуляторів. Такому на-

прямку розвитку сприяє активне впровадження в теорію й практику автоматичного керування технологій штучного інтелекту. У першу чергу це відноситься до штучних нейромереж для структурної реалізації алгоритмів керування чисельних методів оптимізації на основі генетичних алгоритмів.

Одним зі способів підвищення динамічної точності в одно контурній автоматичній системі регулювання (АСР) може бути введення в алгоритм регулюючого пристрою складової, пропорційної похідній відхилення регульованого параметра другого, а при необхідності й більше високого порядку [3].

Оптимальний синтез АСР проводиться за динамічними характеристиками об'єкта регулювання, представленими, як правило, у вигляді передатних функцій $W_o(s)$, структуру яких представляють у

вигляді з'єднання передатної функції $V_o(s)$ й ланки запізнювання з часом запізнення τ_{zp} :

$$W_o(s) = V_o(s) \cdot e^{-\tau_{zp}s}. \quad (1)$$

Перша частина для найпоширеніших у промисловості об'єктів із самовирівнюванням представляється у вигляді ланцюжка з n послідовно включених *апериодичних-ланок* з постійними часу T_1, T_2, \dots, T_n :

$$V_o(s) = \frac{K}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot \dots \cdot (T_n \cdot s + 1)}. \quad (2)$$

Приймається, що передаточна функція $V_o(s)$ є реалізуемою, на основі якої формується передаточна функція регулятора, яка матиме вигляд:

$$W_p(s) = K_p + K_1 \cdot \frac{1}{s} + K_{д1} \cdot s + K_{д2} \cdot s^2 + \dots, \quad (3)$$

де $K_p, K_1, K_{д1}, K_{д2}$ — параметри настройки регулятора.

Очевидно, що для функції $V_o(s)$ при $n=1$ оптимальним буде ПІ-алгоритм, при $n=2$ ПІД-алгоритм, при $n=3$ ПІДД2-алгоритм і т.д. При цьому, чисельні значення параметрів настройки можуть бути виражені через параметри передатної функції об'єкта (див табл)[1].

Визначення параметрів настройки автоматичних регуляторів

Параметри налаштування	$W_o(s) = \frac{K}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot \dots \cdot (T_n \cdot s + 1)} \cdot e^{-\tau_{zp}s}$		
	$n=1$ ПІ-алгоритм	$n=2$ ПІД-алгоритм	$n=3$ ПІДД2-алгоритм
K_p	$\frac{T_1}{K_o \cdot \tau_1}$	$\frac{T_1 + T_2}{K_o \cdot \tau_2}$	$\frac{T_1 + T_2 + T_3}{K_o \cdot \tau_3}$
K_1	$\frac{1}{K_o \cdot \tau_1}$	$\frac{1}{K_o \cdot \tau_2}$	$\frac{1}{K_o \cdot \tau_3}$
$K_{д1}$	—	$\frac{T_1 \cdot T_2}{K_o \cdot \tau_2}$	$\frac{T_1 \cdot T_2 + T_1 \cdot T_3 + T_2 \cdot T_3}{K_o \cdot \tau_3}$
$K_{д2}$	—	—	$\frac{T_1 \cdot T_2 \cdot T_3}{K_o \cdot \tau_3}$
T_1	T_1	$T_1 + T_2$	$T_1 + T_2 + T_3$
$T_{д1}$	—	$\frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2}$	$\frac{T_1 \cdot T_2 + T_1 \cdot T_3 + T_2 \cdot T_3}{T_1 + T_2 + T_3}$
$T_{д2}$	—	—	$\left(\frac{T_1 \cdot T_2 \cdot T_3}{T_1 + T_2 + T_3} \right)^{0.5}$

Таким чином, у ПІДД2-алгоритмі додається складова, пропорційна другій похідній або прискоренню відхилення регульованого параметра з постійною часу $T_{д2}$. За аналогією можна говорити й про третю похідну, що характеризує швидкість прискорення. Отримані в такий спосіб регулятори наврядчи відразу й беззастережно можуть бути прийняті до практичного застосування, проте знання алгоритмів їхнього функціонування дозволить оцінити граничні можливості керування об'єктом і сформулювати відповідні рекомендації.

При пошуку оптимальних параметрів настройки чисельними методами зручніше оперувати з параметрами $K_p, K_1, K_{д1}, K_{д2}$. При цьому очевидно, що на результатах оптимізації така заміна не позначиться.

При такому підході як цільовий критерій для східчастих збурень, внесених роздільно по каналу регулюючої дії $u(t)$ й по каналу завдання $x_{зд}(t)$ використано інтегральну оцінку модуля перехідного процесу:

$$I_M(P, x, t) = \int_0^{t_p} |x_{зд}(t) - y(P, x, t)| dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

де P — вектор параметрів настройки $K_p, K_1, K_{д1}, K_{д2}$; x — вектор вхідних впливів $x_{зд}(t), u(t)$; t_p — час перехідного процесу.

Мінімальне значення інтеграла (4) не є інваріантним щодо розглянутих вхідних впливів, тому налаштування пропонується визначати залежно від призначення АСР (для стабілізуючої системи при $u(t)=1, x_{зд}(t)=const$, а для слідкуючої — при $u(t)=0, x_{зд}(t)=1$). Метод дозволяє визначити й компромісні настройки, що забезпечують мінімальне значення суми інтегральних оцінок при роздільній подачі сигналів $x_{зд}(t)$ й $u(t)$.

Отже, критерій для оптимального налаштування стабілізуючої АСР:

$$I_{M, x_{зд}} = \int_0^{t_p} |y(P, x_{зд}, t)| dt \rightarrow \min, \quad (5)$$

А для слідкуючої АСР:

$$I_{M, u} = \int_0^{t_p} |1 - y(P, u, t)| dt \rightarrow \min. \quad (6)$$

Компромісне налаштування мінімізує суму інтегралів:

$$I_{M, \Sigma} = \int_0^{t_p} |1 - y(P, u, t)| dt + a \cdot \int_0^{t_p} |y(P, x_{зд}, t)| dt \rightarrow \min, \quad (7)$$

де a — масштабний коефіцієнт, що робить інтеграли рівноважними.

Відомі аналітичні методи оптимального синтезу АСР як правило добре формалізовані й доступні для практичного використання. Однак збільшення числа оптимізуємих параметрів настройки регулюючого пристрою в міру ускладнення його алгоритму функціонування й структури в значній мірі ускладнює поставлену задачу, роблячи результат рішення доцільним лише при певних обмеженнях і допускає методику декомпозиції.

В зв'язку з цим доцільність використання для рішення подібних задач пошукових методів оптимізації стає очевидною. Серед множини методів оптимізації нами було проаналізовано:

- метод деформованого багатокутника Нелдера — Міда[5]
- метод сіткового пошуку[4]
- генетичні алгоритми[3]
- модифікований генетичний алгоритм «Optim-MGA»[2]

Варто відзначити, що оцінка запасу стійкості по ступеню загасання ψ і її зв'язок з ключовим показником коливальності m припускає типовий вид перехідного процесу в АСР і практично обмежується

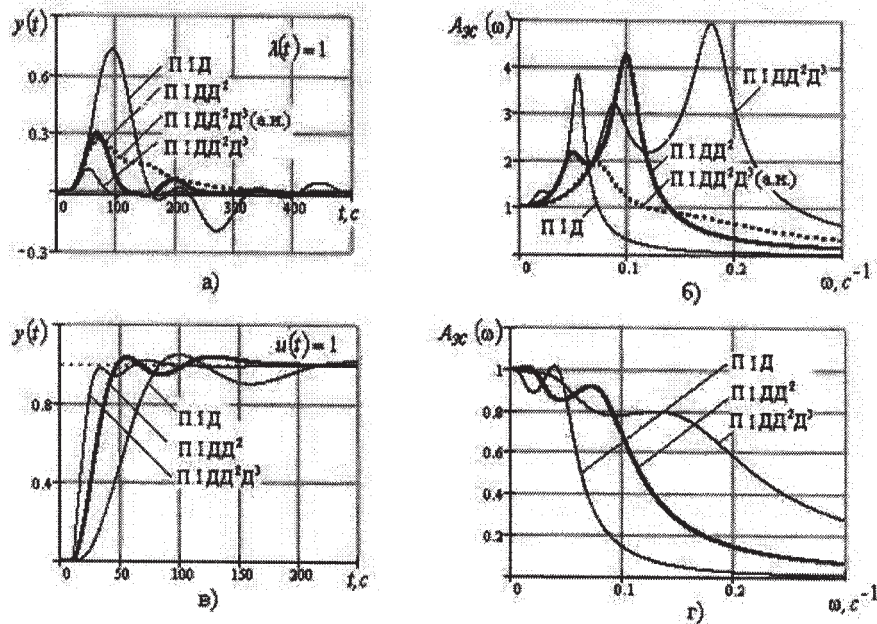


Рис. 1. Перехідні процеси й АЧХ у стабілізуючій (а, б) та слідкуючій (в, г) АСР

системами з ПІ-регулятором. Перехідні процеси з регуляторами, що містять похідні, помітно відрізняються від типових і оцінка їхнього запасу стійкості по ступеню загасання стає важкою. У зв'язку з цим, доцільно використати інтегральний ступінь загасання ψ_{IN} , як відношення лінійного інтегралу $I_n(P, x, t)$ до інтегралу по модулю $I_m(P, x, t)$.

Перераховані обмеження забезпечують практичну працездатність АСР.

Для прикладу було проаналізовано приклад аперіодичної ланки третього порядку з наявним транспортним запізненням

$$W_o(s) = \frac{K_o}{(T_1 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1) \cdot (T_2 \cdot s + 1)} \cdot e^{-S \cdot \tau_{tr}} \quad (8)$$

Такою передаточною функцією адекватно описуються динамічні технологічних об'єктів, в яких відбуваються інтенсивні тепло-, масообмінні процеси (випарні установки, дифузійні апарати тощо).

Перехідні процеси в стабілізуючій АСР ($I_{m, x_{зд}} \rightarrow \min, x_{зд}(t)=1$) і в слідкуючій АСР ($I_{m, u} \rightarrow \min, u(t)=1$), а також відповідні їм АЧХ показані на рис. 1. Аналізуючи наведені графіки перехідних процесів й АЧХ, можна відзначити, що з підвищенням у регуляторах порядку похідних зменшується динамічна помилка, знижуються значення інтегральних критеріїв і розширюється частотний діапазон АЧХ. Слід зазначити, що величина показника коливальності в стабілізуючій АСР хоча й велика, однак зі збільшенням порядку похідних в алгоритмі регулятора змінюється незначно.

Особливо слід оцінити результати налаштування в слідкуючій АСР (рис. 1 в, г). Їх аналіз дозволяє зробити висновок про те, що якість в слідкуючих АСР за всіма показниками помітно підвищується

зі збільшенням порядку похідних в алгоритмі регулятора. При цьому запас стійкості стає навіть трохи вище.

Висновки. Застосування мікропроцесорних контролерів дає можливість розробити та реалізувати багато параметричні регулятори, застосування яких в системах регулювання складними технологічними об'єктами забезпечує значне підвищення якості процесів регулювання. Існуючі методи та засоби комп'ютерного моделювання дають можливість застосовувати процедури структурної та параметричної оптимізації таких систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сабанин В.Р., Смирнов Н.И., Репин А.И. Оптимизация настроечных параметров регулирующих устройств в АСР // Сборник трудов конференции Control 2003. МЭИ, 2003. — с. 144-148.
2. Сабанин В.Р., Смирнов Н.И., Репин А.И. Параметрическая оптимизация и диагностика с использованием генетических алгоритмов // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2004. — №12 — с. 33-37.
3. Сабанин В.Р., Смирнов Н.И., Репин А.И. Универсальная программа для оптимизации многоэкстремальных задач «Optim-MGA» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610862. Российское агентство по патентам и товарным знакам / (РОСПАТЕНТ). Москва, 8 апреля 2004. — с.49-58.
4. Mischke C.R. An Introduction to Computer-Aided Design, Englewood Cliffs, N.J., Prentice_Hall, 1978. — 150p.
5. Nelder J.A., Mead R. A Simplex Method for Function Minimization, Computer J., No. 7, 1964, p 308-313.

Одержана редколлегиею 20.01.09

М.С. ГЛУЩЕНКО, кандидат технічних наук
В.Г. ТРЕГУБ, доктор технічних наук
 Національний університет харчових технологій

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЗА СИТУАЦІЙНИМ ПІДХОДОМ

Розглянуто метод оптимізації процесу кристалізації, який в залежності від ситуації на виробництві приводить або до максимізації готового продукту або до мінімізації тривалості процесу.

Ключові слова: оптимізація, утфельний вакуум-апарат, мінімізація тривалості процесу, максимізація виходу готового продукту.

Рассмотрен метод оптимизации процесса кристаллизации, который в зависимости от ситуации на производстве приводит либо к максимизации готового продукта либо к минимизации прохождения процесса.

Ключевые слова: оптимизации, утфельный вакуум-аппарат, минимизация прохождения процесса, максимизация готового продукта.

Оптимізація процесу кристалізації проводиться для знаходження оптимальних режимів даного процесу та для підвищення ефективності роботи утфельних вакуум-апаратів періодичної дії. Для цього потрібно розробити систему оптимального керування, яка б дала можливість враховувати різні ситуації, що виникають на виробництві, неконтрольовані збурення та корегувати змінні управління та стану системи таким чином, щоб оптимізувати роботу продуктового відділення.

Для постановки задачі оптимізації визначаємо критерій оптимізації. Він буде залежати від аналізу ситуації. Для кожної ситуації синтезуємо відповідне їй оптимальне керування. В даному випадку ситуаційний підхід зводиться до розв'язання однієї з таких задач:

- 1) мінімізація тривалості процесу;
- 2) максимізація виходу готового продукту.

Мінімізація тривалості процесу необхідна у разі, коли продуктове відділення стає «вузьким» місцем у виробництві цукру і запаси сиропу досягають критичної межі, тобто коли втрати сиропу потрібно звести до мінімуму і вихід готового продукту може розглядатись як обмеження. Максимізація виходу готового продукту використовується при достатній продуктивності відділення і головною ціллю є досягнення збільшення виходу готового продукту, а тривалість проходження процесу стає обмеженням. Відображення цих задач з обмеженнями, які накладаються, наведені в табл. 1.

Таблиця 1.

Варіанти розв'язання задачі оптимізації

1-ий ВАРІАНТ	2-ий ВАРІАНТ
$\tau_k \rightarrow \min$ (1)	$Kp_k/Kp_m \rightarrow \max$ (3)
$Kp_k/Kp_m \geq (Kp_k/Kp_m)_{\text{доп}}$ (2)	$\tau_{\text{п.орг}} > \tau_k$ (4)

У табл. 1. Kp_k , Kp_m , $(Kp_k/Kp_m)_{\text{доп}}$ — відповідно кінцеве та максимальне значення відсоткового масового вмісту кристалів в утфелі та допустиме значення їх співвідношення; τ_k , $\tau_{\text{п.орг}}$ — відповідно тривалість циклу кристалізації та його допустиме значення.

Один з варіантів розв'язання локальних задач оптимального керування утфельним вакуум-апаратом у випадку, коли в вакуум-апараті утворюється готовий продукт за рахунок фазових переходів і кінетична модель стає одночасно і динамічною моделлю апарату, пов'язаний з використанням кінетичної оптимізації. В цьому випадку зміною технологічних режимів досягаються такі значення кінетичних параметрів, які доставляють оптимум критерію керування.

У розглянутих варіантах задачі оптимального керування утфельним вакуум-апаратом час τ_k присутній в обох локальних задачах. У варіант 1 він входить до обмеження. У варіанті 2 він є критерієм оптимізації. Крім того, на розв'язання задачі оптимального керування вакуум-апаратом періодичної дії впливають класифікаційні технологічні ознаки цього комплексу, як видно із проаналізованої далі реальної апаратурно-технологічної схеми вакуум-апаратів першого продукту Андрушівського цукрового заводу. З випарної станції в проміжні збірники об'ємом 5 м³ та 16 м³ надходить сироп. Завантаження вакуум-апаратів першого продукту відбувається послідовно (маса звареного утфелю 60 т), причому другий вакуум-апарат першого продукту починає заповнюватись після початку кристалізації в першому апараті, а третій — після початку кристалізації в другому вакуум-апараті. Вивантаження відбувається послідовно, так як утфелемішалка розрахована на об'єм 1,5 вакуум-апарату.

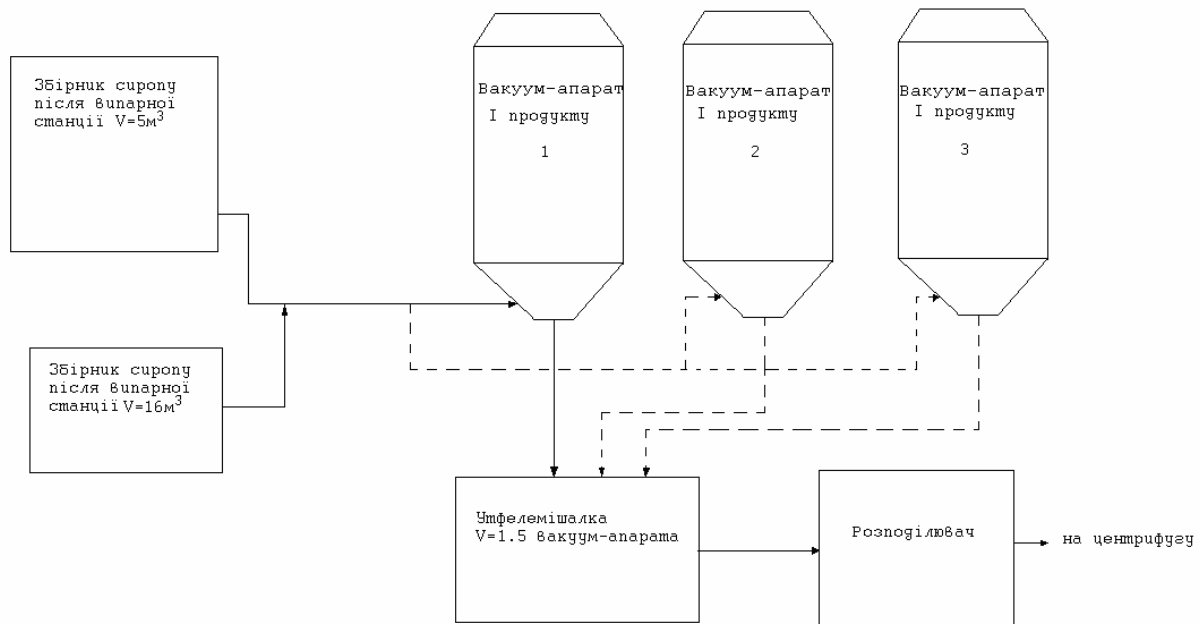


Рис. 1. Апаратно-технологічна схема продуктового відділення Андрушівського цукрового заводу

Ситуаційний підхід до керування утфельним вакуум-апаратом базується на логічній схемі, яка передбачає: ідентифікацію ситуації і визначення шляхів досягнення цілі; виявлення факторів, що впливають на рішення й оцінку альтернатив; розробку тактики реалізації рішення. При розробці логічної схеми ситуаційного підходу, визначальною змінною взята кількість сиропу, який надходить з випарної станції. Якщо в проміжних збірниках після випарної станції об'єм сиропу досягає 2/3 їх загального об'єму і більше та випарна станція продовжує працювати, тоді обираємо мінімізацію тривалості варіння утфелю. Якщо ж сиропу буде менше і випарна станція продовжує працювати або ні, тоді обираємо збільшення виходу готового продукту до максимуму можливого.

Отже кількісна оцінка ситуації буде мати вигляд:

$$\left. \begin{array}{l} V_c < V_{зб} \cdot K_{з.1} \cdot K_{з.2}, \\ G_c = 0 \text{ або } G_c \neq 0 \end{array} \right\}, \text{ тоді } K_p / K_{p_m} \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_c \geq V_{зб} \cdot K_{з.1} \cdot K_{з.2}, \\ G_c \neq 0 \end{array} \right\}, \text{ тоді } \tau_k \rightarrow \min,$$

де V_c — об'єм сиропу у збірнику(ках), м³; $V_{зб}$ — об'єм проміжного збірника(ків) після випарної станції, м³; G_c — витрата сиропу, що поступає на випарну станцію; м³; $K_{з.1} = 0,75 \dots 0,85$ — коефіцієнт запасу для запобігання переливу, $K_{з.2} = 0,95 \dots 0,98$ — коефіцієнт, що враховує можливість зменшення об'єму збірника у процесі експлуатації.

Враховуючи класифікаційні ознаки вакуум-апаратів першого продукту, алгоритм вибору утфельного вакуум-апарату для його вивантаження буде простим: утфельний вакуум-апарат вивантажуєть-

ся одразу після досягнення умови варіанта 1 або 2 за критерієм оптимізації (табл.1).

Уявлення про взаємозв'язок змінних утфельного вакуум-апарату при розв'язанні задач оптимізації дає параметрична схема (рис.2).

Визначення геометричного простору протікання технологічного процесу та вибір змінних керування є взаємозв'язаними задачами. Змінними керування є температура t_n пари в грюючій камері і тиск p_v вторинної пари. В цьому випадку на границі вказаного простору буде грююча камера та паровий простір вакуум-апарату.

Отже, на параметричній схемі змінними керуваннями є витрата сиропу, який підкачується $G_{сп}(t)$, а також температура в грюючій камері та тиск вторинної пари (t_n і p_v). Змінними стану будуть: температура утфелю t_y , концентрація сухих речовин в утфелі $СВ_y$, температура стінок $t_{ст}$, приріст гідростатичного рівня Δh , швидкість випаровування W_n та масовий вміст кристалів цукру K_p . До збурень відносимо температуру сиропу, який поступає з випарної станції t_c , вміст сухих речовин $СВ_{сп}$ та доброякісність продукту $Дб_{сп}$, який підкачується.

Отже, виходячи з параметричної схеми постановка задачі оптимального керування за ситуаційним підходом зводиться до наступного: в залежності від кількості сиропу обираємо варіант оптимальної роботи утфельного вакуум-апарату. В залежності від вибору варіанту підбираються відповідні йому значення змінних керування, а за рахунок впливу на витрату підкачуваного продукту, температуру в грюючій камері та тиску вторинної пари отримуємо потрібні змінні стану та кінетичні параметри, які в свою чергу призведуть або до мінімального часу варіння утфелю або до макси-



Рис.2. Параметрична схема управління вакуум-апаратом за ситуаційним підходом

мального виходу готового продукту, враховуючи якісні та кількісні оцінки утфелю.

Апаратно-програмна реалізація системи оптимального керування утфельного вакуум-апарату у вигляді структурної схеми показана на рис.3.

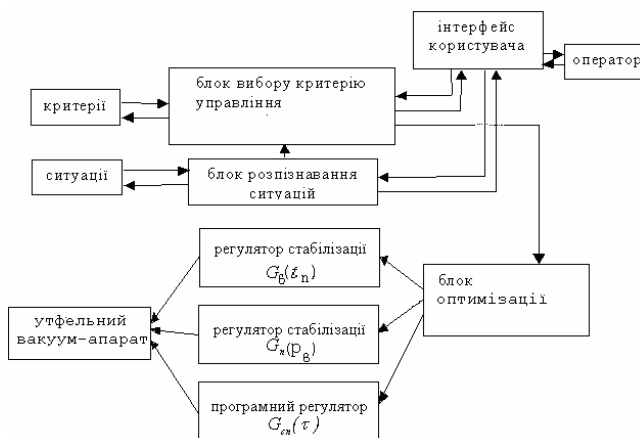


Рис.3. Структура системи керування вакуум-апаратом

Критерій оптимізації повинен змінюватися в залежності від поточної ситуації, що виникла на виробництві, тобто автоматична система керування вибирає необхідний режим в залежності від ситуації, що визначається за вхідною поточною інформацією. Умовами переходу на інший режим для такої системи буде аналіз інформації про кількість сиропу, який поступає з випарної станції, і роботу випарної станції.

При розробці автоматизованої системи керування, виникає задача побудови верхнього рівня системи керування, враховуючи, що на нижньому рівні працюють локальні регулятори, які забезпечують стабілізацію та регулювання основних параметрів вакуум-апарату, а саме два регулятора стабілізації (температури пари в гріючій камері і тиску вторинної пари) та програмний регулятор, що змінює витрату продукту, який підкачується, за рівнем в вакуум-апараті.

Верхній рівень системи забезпечує оптимізацію основних показників на основі критеріїв керування, виконуючи такі функції: розпізнавання ситуацій на основі вхідних даних та вироблення оптимальних керувальних рішень.

Розпізнавання ситуацій ведеться в режимі реального часу. Ситуація визначає вибір критерію керування та вибір оптимального керування. В блоці розпізнавання ситуацій ідентифікується поточна ситуація з двох можливих. При ідентифікації конкретної ситуації блоком вибору критерію керування, шляхом логічного визначення існуючих рішень визначається критерій керування поточною варкою. В контролер надходить інформація з датчика рівня в збірнику, який знаходиться перед вакуум-апаратом. Умовою перевірки поточної робочої ситуації, що не співпадає з часом збору даних (переходу на інший критерій) є: вказівка оператора або технолога, що керується власним досвідом та ситуацією, яка склалася на підприємстві; зміна режиму роботи технологічного процесу (поява передаварійної чи аварійної ситуації); поява нештатної ситуації, що не описана.

В блоці оптимізації відповідно визначеної ситуації розраховується оптимальний режим за допомогою розроблених алгоритмів: мінімізації тривалості процесу, максимізації виходу готового продукту. В цей блок надходить інформація про вибір критерію керування. З блоку оптимізації сигнали завдання поступають на локальні регулятори і за допомогою регуляторів стабілізації та програмного регулятора реалізуються оптимальні значення змінних керування. В даному випадку це буде витрата сиропу, який підкачується в процесі кристалізації і на який можливий безпосередній вплив, а також температура в гріючій камері, тиск вторинної пари, час припинення роботи вакуум-апарату. Зміни настройки може робити безпосередньо і оператор.

Висновки. Розроблена система та алгоритми оптимального керування дають змогу враховувати різні ситуації, що виникають на виробництві, неконтрольовані збурення та корегувати змінні управління та стану системи таким чином, щоб оптимізувати роботу вакуум-апаратів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глуценко М.С., Трегуб В.Г. Моделювання та оптимізація процесу згущення сиропу в утфельних вакуум-апаратах. Вестник НТУ «ХПІ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и

информационные технологии». — Харьков: НТУ «ХПИ». — 2005. — № 54. — С. 9–13.

2. Трегуб В.Г., Глущенко М.С. Оптимальное управление технологическим комплексом аппаратов периодич-

ної дії // Наук. пр. НУХТ. — Київ. — 2006. — №18. — С. 74–76.

Одержана редколегією 27.01.09 р.

УДК 519.863

А.А. ПАЛАШ, інженер,
О.Ю. ШЕВЧЕНКО, д-р.техн.наук,
А.І. СОКОЛЕНКО, д-р.техн.наук,
Національний університет харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ МАСООБМІНУ В ГАЗОРІДИННИХ КУЛЬТУРАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Наведено інформацію, що стосується взаємозв'язків між геометричними характеристиками апаратів, параметрами масообміну та інтенсивністю аерації.

Ключові слова: масообмін, аерація, апарат, параметр, гідростатичний тиск, схема.

Дана информация, касающаяся взаимосвязей между геометрическими характеристиками аппаратов, параметрами массообмена и интенсивностью аэрации.

Ключевые слова: массообмен, аэрация, апарат, параметр, гидростатическое давление, схема.

Масообмінні процеси в газорідинних середовищах є характерними для значної кількості харчових та мікробіологічних технологій. При цьому утворення газової фази в рідинній може бути результатом хімічних або біохімічних взаємодій, або газова фаза примусово подається і диспергується в рідинній. Розглянемо особливості масообміну в культуральних середовищах, в яких на основі аеробних процесів здійснюється синтез мікроорганізмів, наприклад, хлібопекарських дріжджів. Необхідність такого дослідження пояснюється тим, що до теперішнього часу в оцінці рівнів аерації середовищ продовжують використовувати такий неправомірний показник, як співвідношення газового потоку в кубічних метрах на один метр кубічний рідинного середовища за одиницю часу [2, 3, 6, 7]. При цьому ніяк не враховується геометрія апаратів, що стосується співвідношення діаметра і висоти останнього.

Одним з чинників, який впливає на масообмін і залежить від гідростатичного і загального тисків в апараті є стала насичення c_n середовища киснем, яка разом з плинною концентрацією c_t визначає рушійний потенціал процесу у формі

$$\frac{dM_{O_2}}{dt} = k_v S (c_i - c_t), \quad (1)$$

де $\frac{dM_{O_2}}{dt}$ — швидкість розчинення кисню в середовищі; k_v — коефіцієнт масопередавання; S — поверхня поділу фаз.

В межах тисків, в яких знаходяться культуральні середовища, стала насичення c_n у відповідності до закону Генрі лінійно залежить від парціального тиску P кисню в газовій суміші:

$$c_n = k_r P, \quad (2)$$

де k_r — константа Генрі, що залежить від фізико-хімічних властивостей компонентів середовища і його температури.

Висота шару середовища в промислових апаратах для вирощування мікроорганізмів складає від 2-3 до 15-16 м, що означає наявність відповідних гідростатичних тисків і вплив на величини парціальних тисків та сталі насичення. Звичайно газова фаза подається в нижню частину культурального середовища і диспергується в ньому, наприклад, в режимі барботажу з утворенням газових бульбашок [2, 4, 5]. Очевидно, що по мірі спливання тиск в них зменшується від якоїсь величини P_2 до P_1 і відповідно зменшується стала насичення від c_{n1} до c_{n2} . (рис. 1).

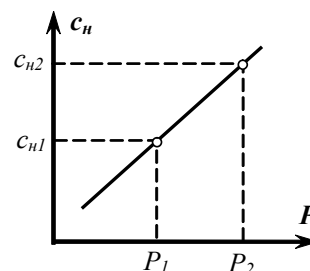


Рис. 1. Графік залежності сталої насичення c_n від парціального тиску

За лінійної залежності $c_n = c_n(P)$ середня величина сталої насичення розраховується як середнь-арифметичне, тобто

$$c_{n(c)} = \frac{c_{n1} + c_{n2}}{2}. \quad (3)$$

Закон Генрі величини парціальних тисків визначає як абсолютні, тобто окрім гідростатичних необхідно враховувати атмосферні тиски. Наприклад, в результаті переходу від висоти стовпчика рідинної фази 4 м до показника 8 м за атмосферного тиску, що дорівнює 10 м в.ст., збільшення парціального тиску складає

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{18}{14} = 1,286 \text{ рази.}$$

Разом з тим зростання кратності по сталій насичення становитиме лише

$$\frac{c_{n8(c)} \cdot \frac{k_r(P_{(18)} + P_{(10)})}{2}}{c_{n4(c)} \cdot \frac{k_r(P_{(14)} + P_{(10)})}{2}} = \frac{18+10}{14+10} = 1,167 \text{ рази.} \quad (4)$$

де $c_{n8(c)}$ та $c_{n4(c)}$ — середні сталі насичення, що відповідають висотам шару рідинної фази 8 і 4 м відповідно.

Таким чином зростання середньої сталої насичення за вказаного переходу від значення висоти шару $H = 4$ до $H = 8$ м становитиме лише 16,7 %.

Разом з цим слід звернутися до оцінки зростання потужності вхідного газового потоку. Якщо виходити з оцінки інтенсивності аерації у m^3 газового потоку на $1 m^3$ рідинної фази за одиницю часу, то це означає, що за ізооб'ємних апаратів вхідний газовий потік V_r має залишатися сталим. При цьому потужність потоку складе

$$N = P V_r, \text{ Вт}, \quad (5)$$

де P — тиск вхідного газового потоку, Па; V_r — об'ємний газовий потік, m^3/c .

За переходу у зростанні тиску від 4 до 8 м водяного стовпчика споживана потужність збільшиться у 2 рази, оскільки

$$\frac{N_8}{N_4} = \frac{P_8 V_r}{P_4 V_r} = 2. \quad (6)$$

Причиною таких відмінностей у співвідношеннях потужностей є те, що стискання газової фази здійснюється від величини атмосферного тиску 10 м в.ст. У таблиці наведено результати розрахунків, що стосуються вказаних переходів по відношенню до параметрів, які відповідають висоті середовища 4 м.

З даних, наведених у таблиці, витікає, що за показником питомої потужності ізооб'ємні апарати зі зростанням відношення висоти шару рідинної фази до діаметра H/D мають помітні переваги. Це є результатом того, що збільшення висоти шару середовища у 2 рази приводить до зменшення площі поперечного перерізу F також у 2 рази. За умови $V_r = \text{const}$ приведена швидкість газової фази $W_{пр} = V_r/F$, m/c ,

зростає у 2 рази, збільшуючи швидкість розчинення кисню, приблизно, у такому є співвідношенні. При цьому збільшення сталої насичення на 16,7 % є помітним позитивним додатком.

Оскільки загальне підвищення тисків в таких системах підвищує парціальні тиски кисню в газовій фазі, то заслуговує на увагу оцінка впливів такого напрямку.

Відносні показники, що стосуються аерації і масообміну у культуральних середовищах

Висота шару рідинної фази, м	Середній абсолютний тиск газової фази, м в.ст.	Відношення $\frac{c_{n1}}{c_{n4}}$	Відношення потужностей N_1/N_4
2	11	-	-
4	12	1,0	1,0
6	13	1,083	1,5
8	14	1,167	2,0
10	15	1,25	2,5
12	16	1,333	3,0
14	17	1,417	3,5
16	18	1,5	4,0
18	19	1,58	4,5
20	20	1,667	5,0
22	21	1,75	5,5
24	22	1,833	6,0
26	23	1,917	6,5
28	24	2,0	7,0
30	25	2,083	7,5

Припустимо, що за інших рівних умов для випадку з висотою шару рідинної фази 4 м тиск над нею підвищили до 0,14 МПа. Тоді на вхід в апарат необхідно подати повітря з тиском 0,18 МПа (тиски наведені в абсолютних одиницях), що відповідає середньому тиску 0,16 МПа, за яким визначається стала насичення. У відповідності до формули (4) відносно випадку роботи апарата під атмосферним тиском зростання c_n становитиме 33 %.

Однак за такого переходу об'ємний потік газу V_r залишається незмінним, що означає за збільшення тиску газової фази у 2 рази подвійне зростання споживаної повітродувною машиною потужності.

Звідси витікає, що вибір на користь апарата з висотою рідинного шару 8 м був би доцільнішим за показником питомих енергетичних витрат. Проте і у системі з «наддувом» є перспектива зниження останніх за рахунок часткової рециркуляції стиснутого повітря. На рис. 2 наведено схему апарата з барботажною аераційною системою, відповідним забезпеченням, до якого входять циклон, повітродувна машина, ежектор і запірні арматури. За рахунок повертання рециркуляційної частини повітря під тиском споживана потужність повітродувної машини зменшується.

Можливість роботи системи в режимі рециркуляції повітря пов'язана з тим, що ефективність барботажної аераційної системи по рівню вилучення

кисню відносно низька і на висоті шару 1 м складає біля 0,5 %. Це дає можливість співвідношення рециркуляційної частини повітря порівняно з величиною вхідного газового потоку підтримувати на рівні 75-80 %. Ця частка повітря стискається у повітродувній машині до 0,18 МПа абсолютного тиску, а частка свіжого повітря додається в ежекторі за рахунок підсмоктування. При цьому 20-25 % відпрацьованого повітря скидається в атмосферу через витяжну трубу.

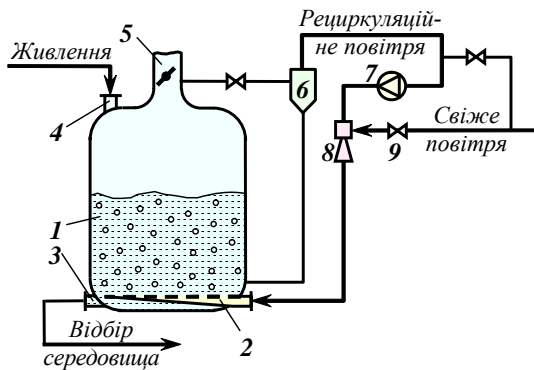


Рис. 2. Схема апарата для вирощування мікроорганізмів з рециркуляційною системою постачання повітря: 1 — апарат; 2 — аераційна барботажна система; 3 — патрубок відведення середовища; 4 — патрубок підведення живлення; 5 — витяжна труба; 6 — циклон; 7 — повітродувна машина; 8 — ежектор; 9 — запірні арматури

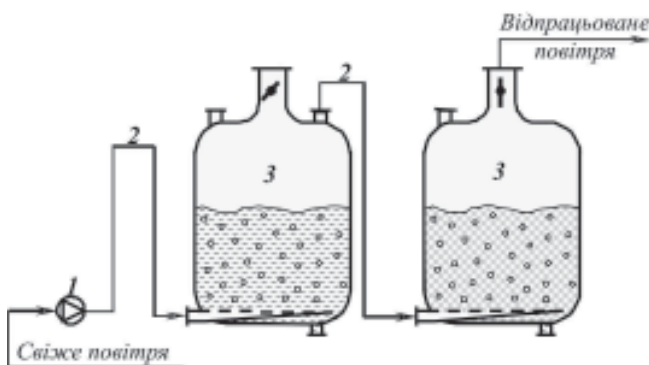


Рис. 3. Схема підключення апаратів з послідовною аерацією: 1 — повітродувна машина; 2 — повітроводи-гідрозатвори; 3 — апарати з барботажними системами аерації

Інший варіант роботи в умовах підвищених значень сталої насичення c_n стосується послідовної аерації двох апаратів (рис. 3). За таких умов стала насичення в першому апараті буде збільшена на 33 %, якщо висота рідинної фази в кожному з апаратів складає біля 4 м. Ефективність такої системи за показниками аерації близька до ефективності апаратів з 8-ми метровим набором культурального середовища.

Разом з тим перевагою системи з рис. 3 є подвійне диспергування газової фази в рідинній, оскільки локальна зона, прилегла до барботажних елементів, характеризується підвищеним рівнем масообміну [8, 9].

Результати аналізу і оцінки аераційних систем стосовно газорідних середовищ дозволяють відмітити наступне:

1. Показником інтенсивності масообміну в газорідних системах не може бути відношення об'ємного потоку газової фази до об'єму рідинної фази, оскільки різні геометричні параметри апаратів впливають на величину утримуваної рідинним середовищем газової фази. На цю обставину вказують потужності енергозабезпечення процесів аерації.

2. Об'єктивним показником інтенсивності аерації слід вважати приведену швидкість газової фази, що обраховується відношенням об'ємного газового потоку до площі поперечного перерізу апарата.

3. Невідповідність кратності зростання сталих насичення до збільшення висоти рідинної фази є результатом залежності c_n від абсолютних значень парціальних тисків, тоді як зі зміною висоти рідинної фази змінюються лише гідростатичні тиски.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Биофизика* / Под ред. В.А. Антонова. — М.: Гуманит.изд.центра ВЛАДОС, — 1999. — 288 с.
2. *Гандзюк М.П.* Совершенствование процесса культивирования хлебопекарских дрожжей и его аппаратурного оформления. — Дисс. на соиск. ученой ст.д.т.н., К.: 1984. — 485 с.
3. *Дубінін О.О., Переявлявцев О.М., Тахістова Г.О.* Визначення динамічних параметрів висхідних потоків газорідної суміші у шарі рідини // Харчова пром-сть. — К.: НУХТ, — 2003. — С. 92-94.
4. *Єрмаков П.П.* Автоколивальна масообмінна апаратура харчової промисловості. Автореф. дисерт. на здобуття ступ. д.т.н. — К.: 1995. — 28 с.
5. *Кардашев Г.А.* Физические методы интенсификации процессов химической технологии. — М.: Химия, 1990. — 208 с.
6. *Семихатова Н.М.* Хлебопекарные дрожжи. — М.: Пищевая пром-сть, 1986. — 200 с.
7. *Піддубний В.А.* Інтенсифікація масообміну в апаратах для вирощування мікроорганізмів // Харчова і переробна пром-сть. — № 11. — 2006. — С. 17-19.
8. *Піддубний В.А.* Енергетичні показники систем аерації культуральних середовищ // Харчова і переробна пром-сть. — № 12. — 2006. — С. 19-21.
9. *Соколенко А.І., Піддубний В.А., Українець А.І.* та ін. Використання потенціалу масових сил для інтенсифікації масообміну в рідинних і газорідних потоках // Харчова і переробна пром-сть. — № 3. — 2007. — С. 15-17.

Одержана редколегією 24.05.09 р.

С.О. ПАВЛОВ,
А.І. СОКОЛЕНКО, доктор технічних наук
К.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, кандидат технічних наук
Національний університет харчових технологій

КІНЕМАТИКА І ДИНАМІКА СТВОРЕННЯ ЗБІЛЬШЕНИХ ВАНТАЖНИХ ОДИНИЦЬ

Виконано аналіз особливостей скріплення пакет-піддонів розтягнутою плівкою.

Ключові слова: кінематика, динаміка, геометричні зв'язки, навантаження.

Выполнен анализ особенностей скрепления пакет-поддонов растягиваемой пленкой.

Ключевые слова: кинематика, динамика, геометрические связи, нагрузка.

Аналіз обладнання для обгортання пакет-піддонів розтягнутою плівкою приводить до висновку про те, що його конструктивне виконання є причиною кінематичних збурень системи «ведуча маса — пружний елемент — ведена маса», які проявляються у змінній швидкості змотування плівки з бобіни. Результатом останнього є змінна кутова швидкість обертання бобіни і змінні натяги плівки. Теоретичне підґрунтя динаміки машин на рівні двомасових моделей цілком відповідає вказаному випадку, але слід вказати на додаткове застереження, що стосується швидкоплинної зміни довжини ведучої ділянки плівки, а рівно і такої ж швидкоплинної зміни жорсткості. Таким чином, сама система за своїми конструктивними особливостями генерує в собі у кінцевому результаті динамічні збурення. З врахуванням маси пакет-піддону його кутова швидкість може вважатися наближеною до сталої, що дає підстави в розрахунковій моделі швидкість руху ведучої маси розраховувати на основі геометричних зв'язків [1, 2].

Необхідність виконання досліджень динаміки саме такої схеми машини для скріплення збільшених вантажних одиниць підкреслюється практикою її використання, оскільки стійкість і міцність одержуваних збільшених вантажних одиниць явно не відповідають вимогам.

Експлуатаційні недоліки є наслідком проявів вибігу бобіни з плівкою в ті періоди часу, коли швидкість змотування починає зменшуватися. При цьому конструкція встановлення бобіни передбачає її примусове гальмування, але воно діє у всякий момент часу і тому динамічні явища не зникають, хоча і відбуваються на більш високих рівнях натягів. Це означає, що рівномірність натягу плівки не досягається, хоча нульового значення можливо уникнути.

Наведена інформація говорить про доцільність і необхідність виконання досліджень, кінцевою ме-

тою яких є забезпечення міцності і стійкості пакет-піддонів, що у значній більшості випадків відповідають харчовим виробництвам.

Геометричні зв'язки системи «пакет-піддон — пружний зв'язок — бобіна» показані на рис. 1. Мінімальна довжина плівки $x_{A(n)}$ відповідає початковому положенню ребра А. Точки А' відповідає проміжне положення, а точки А'' — положення, за якого ведучим стає ребро В.

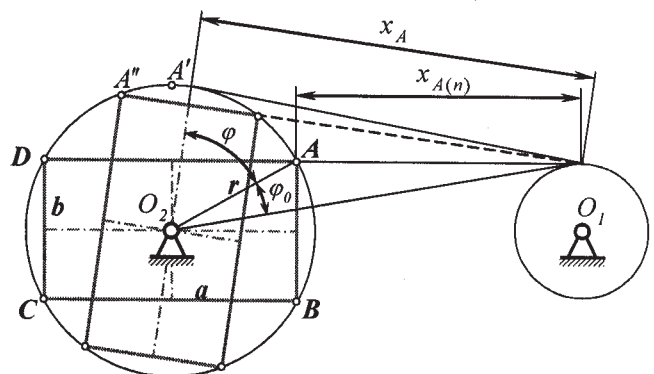


Рис. 1. Схема (в плані) розташування пакет-піддона і бобіни

За сталою значення кутової швидкості обертання пакет-піддона $\omega = \text{const}$ маємо

$$x_A = \ell_{O_1 O_2} \cos \arctg \frac{r \sin(\omega t + \varphi_0)}{\ell_{O_1 O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_0)} - r \cos \left(\varphi_0 + \arctg \frac{r \sin(\omega t + \varphi_0)}{\ell_{O_1 O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_0)} + \omega t \right). \quad (1)$$

На момент завершення першого етапу в контакт з плівкою ввійде ребро В, яке і стане ведучим на другому етапі.

Час завершення першого і другого етапів визначається умовами:

$$t_{(к)}^I = \frac{\varphi_{(к)}^I}{\omega} = \frac{\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{b}{2\ell_{O_1 O_2}} - \arcsin \frac{a}{2\ell_{O_1 O_2}}}{\omega}; \quad (2)$$

$$t_{(к)}^{II} = \frac{\varphi_{(к)}^{II}}{\omega} = \frac{\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{b}{2\ell_{O_1O_2}} + \arcsin \frac{a}{2\ell_{O_1O_2}}}{\omega} \quad (3)$$

Диференціюванням залежності (1) отримаємо швидкості $\dot{x}_A = \dot{x}_A(t)$ і прискорення $\ddot{x}_A = \ddot{x}_A(t)$. Розрахунки, виконані для стандартних розмірів пакет-піддона 800·1200 мм за значення $w=1,57 \text{ c}^{-1}$ та $\ell_{O_1O_2} = 1,2\text{r}$ відображені на рис. 2. З нього видно, що швидкості змінюються від мінімальних значень до максимальних і знову до мінімальних. При цьому кожного разу на момент початку нового етапу відбувається стрибкоподібна зміна прискорення. Такий випадок у динаміці машин відповідає м'якому удару.

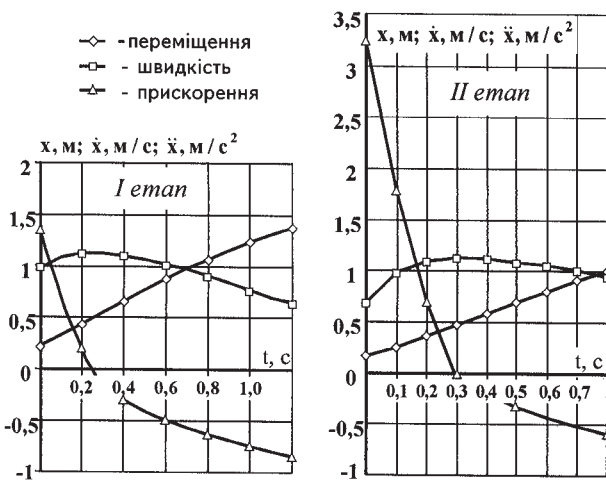


Рис. 2. Графіки зміни кінематичних параметрів

Як витікає з геометричних зв'язків та одержаних графічних залежностей, початкове значення $x_{A(n)}$ з переходом на нове ведуче ребро миттєво змінюється. Розриви одержано на графіках прискорень, що вказує на важкі умови з точки зору інтересів динаміки.

Одержані дані стосуються особливостей кінематики переміщення умовної ведучої маси в системі, зображеній на рис. 1. Оскільки визначено $x_A = x_A(t)$, то вихідне рівняння руху веденої маси

$$m_2 \ddot{x}_2 = c(x_A - x_2) - P_{оп}, \quad (4)$$

відповідною підстановкою перетворюється до виду

$$m_2 \ddot{x}_2 = c \left(\ell_{O_1O_2} \cos \arctg \frac{r \sin(\omega t + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_0)} - r \cos \left(\varphi_0 + \arctg \frac{r \sin(\omega t + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\omega t + \varphi_0)} + \omega t - x_2 \right) - P_{оп} \right), \quad (5)$$

де c — жорсткість ведучої ділянки плівки.

В наших умовах у зв'язку зі змінною довжиною ведучої ділянки маємо

$$c = \frac{c_{пит}}{\ell_{O_1O_2} \cos \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_0)} - r \cos(\varphi + \varphi_0) + \arctg \frac{r \sin(\varphi + \varphi_0)}{\ell_{O_1O_2} - r \cos(\varphi + \varphi_0)}}, \quad (6)$$

де $c_{пит}$ — питома жорсткість (жорсткість 1 погонного метра плівки); $\varphi = \omega t$.

Початкові умови рівняння (5) записуємо у формі:

$$t_{(n)} = 0; \quad x_{2(n)} = x_{A(n)}; \quad \dot{x}_{2(n)} = \frac{\dot{x}_{Amax} + \dot{x}_{Amin}}{2}. \quad (7)$$

Навантаження плівки знайдемо за виразом

$$P_{пр} = c(x_A - x_2). \quad (8)$$

Розрахунки виконувалися за значень: $m_2=30 \text{ кг}$; $P_{оп} = 150 \text{ Н}$; $\ell_{O_1O_2} = 1,2\text{r}$; $\omega = 1,57 \text{ c}^{-1}$; $c_{пит} = 5000$ та 20000 Н/м .

Результати розрахунків представлені на рис. 3. Як бачимо, пружне зусилля змінюється за величиною і можливими є від'ємні значення навантажень. В нашому випадку мають місце навантаження розтягування плівок, а навантаження стискання тут неможливі. Перехід до значень $P_{пр} \approx 0$ в математичних моделях означає, що останні стають неадекватними до суті явищ.

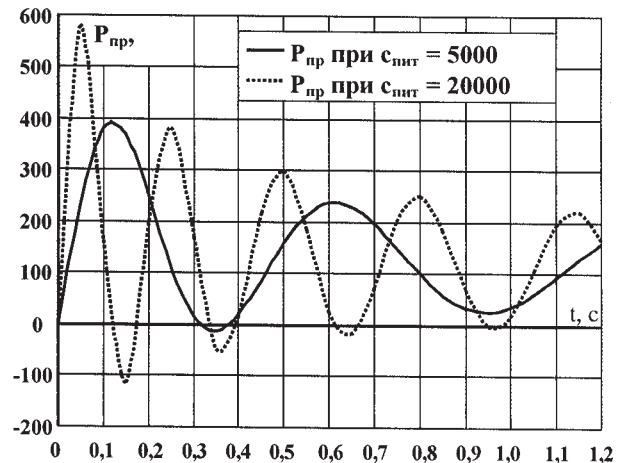


Рис. 3. Графіки пружних навантажень плівки

Висновки. Розв'язання рівнянь руху приводить нас лише до числового результату, проте аналіз подібних систем дозволяє вказати на напрямки досягнення позитивного результату.

Статичні складові навантажень залишаються незмінними, а динамічні мають їх за вісь симетрії. У зв'язку з цим пошук задовільних вирішень доцільно спрямовувати у напрямку підвищення приведеної сили опору переміщення веденої маси. Таке підвищення має привести до зникнення від'ємних значень навантажень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. М.: Машиностроение. — 1969. — 296 с.
2. Соколенко А.І., Васильківський К.В., Шевченко О.Ю. та ін. Моделювання процесів пакування. Підручник. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 272 с.

Одержано редколегією 25.05.09 р.

В.Г МИРОНЧУК, доктор технічних наук
В.В ПОНОМАРЕНКО, кандидат технічних наук
С.А. ЛУДЧЕНКО, студент
Національний університет харчових технологій

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ РОЗПИЛЮЮЧОГО АБСОРБЕРА ДВОСЕКЦІЙНОГО САТУРАТОРА

В статті розглянуто процес сатурації цукрового розчину в двосекційному апараті. Розроблена схема його включення в технологічну схему цукрового заводу. Запропонована методика розрахунку основних розмірів розпилюючого абсорбера.

Ключові слова: очищення, цукровий розчин, нецукри, двосекційний сатуратор, розпилюючий абсорбер, вапно, діоксид вуглецю, абсорбція, об'ємний коефіцієнт масопередачі.

В статье рассмотрен процесс сатурации сахарного раствора в двосекционном аппарате. Разработана схема его включения в технологическую схему сахарного завода. Предложена методика расчета основных размеров распылительного абсорбера.

Ключевые слова: очистка, сахарный раствор, несахара, двосекционный сатуратор, распылительный абсорбер, известь, двуокись углерода, абсорбция, объемный коэффициент массопередачи.

В цукровій промисловості для фізико-хімічного очищення цукрового розчину від нецукрів використовується процес сатурації, суть якого в тому, що цукровий розчин з вмістом 2,5-3% СаО обробляється сатураційним газом з концентрацією CO_2 до 35%. В результаті хімічної реакції утворюється карбонат кальцію CaCO_3 , на поверхні якого адсорбуються нецукри [1]. Для якісного очищення цукрового розчину повинна забезпечуватись зона початкового утворення кристалів карбонату кальцію і подальша зона його росту і дозрівання з одночасною адсорбцією нецукрів.

Для проведення процесу сатурації в такому режимі перспективним є використання двосекційних апаратів сатурації, в яких досягаються більш високі якісні показники очищення соку [2]. Одним із таких двосекційних апаратів є апарат сатурації з першою розпилюючою ступінню контакту фаз за умов надлишкового тиску і наступною барботажною при загальній прямотечії цукрового розчину і сатураційного газу [3]. В такому апараті досягається збільшення чистоти цукрового розчину в середньому на 1 — 1,2%, ефект очистки зростає на 20 — 26%, коефіцієнт використання діоксиду вуглецю в апаратах першої сатурації збільшується на 20 — 28%, покращуються седиментаційні показники осаду соку першої сатурації, швидкість осідання осаду збільшується до 17% [3]

Перевагою двосекційного сатуратора з початковою розпилюючою ступінню контакту фаз є і те, що в умовах виробництва можливо модернізувати типовий сатуратор при незначних капітальних затратах.

Принципова схема апарату першої сатурації і схема його включення в технологічну схему цукрового заводу показана на рис. 1. Працює апарат наступним чином. Дефекований цукровий розчин з вмістом 2,5 — 3% СаО насосом 1 під тиском 0,2 — 0,4 МПа подається в відцентрово-струминну форсунку 2, яка установлена соплом вверх в нижній частині розпилюючого абсорбера 3. Сатураційний газ з вмістом 30-35% CO_2 надходить зверху абсорбера трубопроводом 4, з'єднаним з комунікацією сатураційного газу. Соко-газова суміш відводиться з абсорбера 3 по трубі 5 під рівень соку в типовий апарат першої сатурації 6 на 100 — 150 мм вище існуючого входу сатураційного газу в апарат. Цим рівнем соку визначається надлишковий тиск в розпилюючій ступені.

В барботажній ступені сатуратора відбувається подальша обробка соку сатураційним газом, який після утилізації CO_2 звільняється від капель соку і піни в розширеній частині сатуратора і видаляється в атмосферу. Відсатурований до кінцевої нормативної лужності (рН=11) сік через переливний ящик 7 сатуратора іде на подальшу обробку.

Підвід сатураційного газу в апарат першої сатурації залишився незмінним, що дає можливість, при необхідності, вести процес сатурації в типовому барботажному режимі.

В розпилюючому абсорбері диспергований цукровий розчин з великою поверхнею контакту фаз і високою концентрацією розчиненого вапна (0,2-0,3% до маси соку) взаємодіє з діоксидом вуглецю сатураційного газу. Оскільки загальний тиск в абсорбері збільшений на величину шару рідини в барботажній

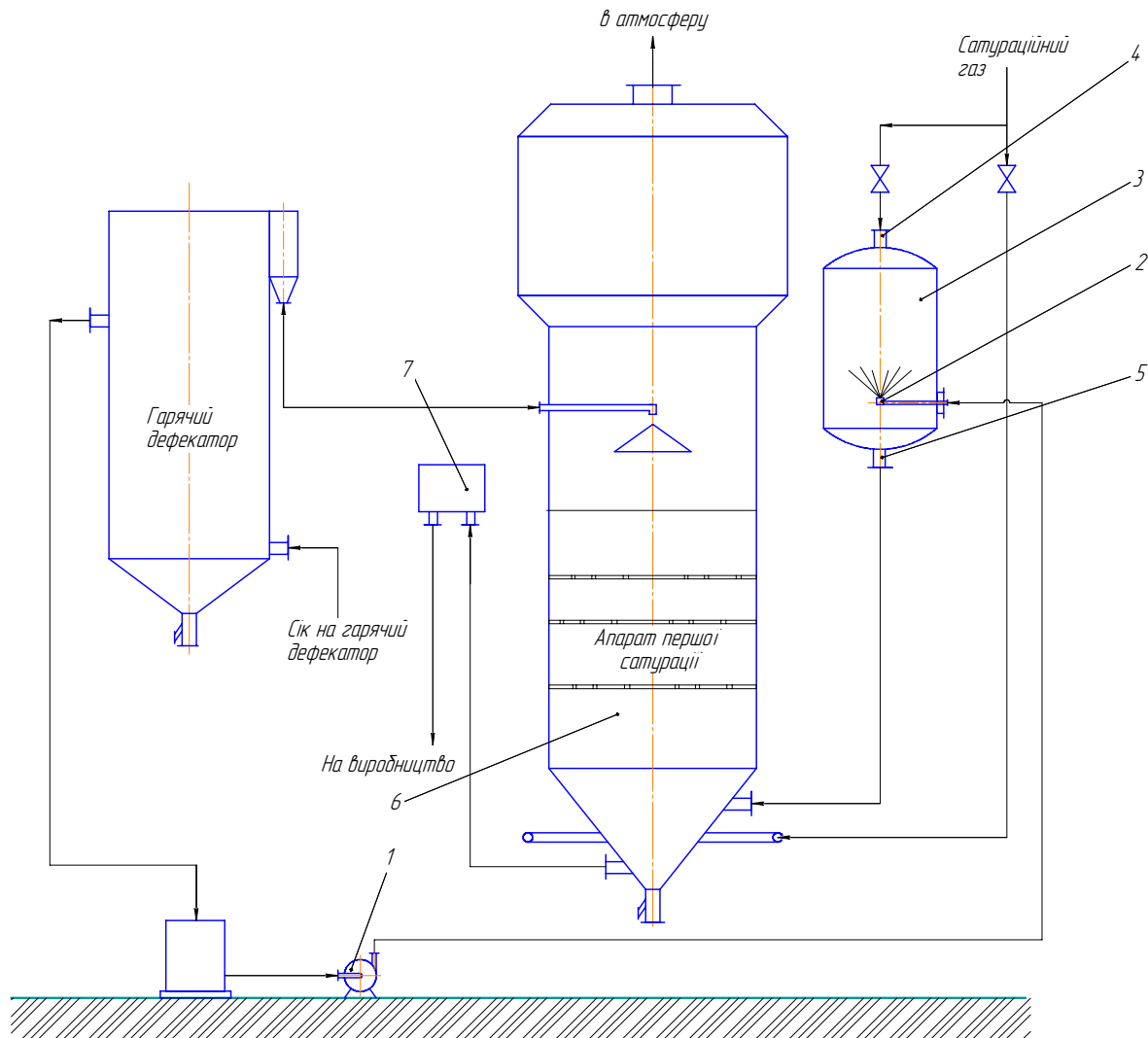


Рис. 1. Принципова схема апарату першої сатурації

частині сатуратора, то відповідно збільшений і парціальний тиск CO_2 . Таким чином, в розпилюючому абсорбері забезпечуються сприятливі умови для швидкої абсорбції CO_2 цукровим розчином і наступної хімічної реакції з розчиненим вапном. В результаті, в умовах високої лужності цукрового розчину утворюється молекулярний CaCO_3 , концентрація якого в розчині більше у 80 — 100 разів рівноважної (біля $0,025 \text{ кг/м}^3$ при 70°C [4]). Тому практично миттєво відбувається процес кристалотворення CaCO_3 , який має в цей момент найбільшу адсорбційну здатність нецукрів цукрового розчину, що і сприяє високій степені його очистки.

Утворена трьохфазова суміш (цукровий розчин — сатураційний газ — тверді включення зародків кристалічного карбонату кальцію і нерозчиненого вапна) із розпилюючого абсорбера надходить під рівень соку в барботажній ємкості, де відбувається нейтралізація надлишку вапна до заданої кінцевої величини $\text{pH} = 11$. Утворений в процесі реакції карбонат кальцію осаджується на утворених в розпилюючому абсорбері кристалах CaCO_3 з одночасною адсорбцією нецукрів. Такий осад має однорідну

структуру, що покращує умови седиментації та фільтрування.

Для розрахунку розпилюючого абсорбера нами рекомендується наступна методика.

Вихідні дані розрахунку:

$Q_{\text{від}}$ — об'ємна витрата цукрового розчину на сатурацію, $\text{м}^3/\text{с}$;

$[\text{CaO}]^{\text{поч}}$ — початкова концентрація вапна в цукровому розчині, обумовлена умовами очищення, кмоль/м^3 ;

t — температура рідини в сатураторі, $^\circ\text{C}$.

$[\text{CO}_2]_{\text{Г}}^{\text{поч}}$ — початкова концентрація діоксиду вуглецю в сатураційному газі, кмоль/м^3 ;

$[\text{H}_2\text{O}]_{\text{Г}}^{\text{поч}}$ — початкова концентрація парів води в сатураційному газі; кмоль/м^3 . Знаходиться з умови його насичення при температурі $30 — 40^\circ\text{C}$;

k — коефіцієнт використання діоксиду вуглецю в двосекційному сатураторі. Для випадку сатурації соку з вмістом цукру $10 — 15\%$ він складає в середньому 85% , для випадку сатурації концентрованих розчинів з вмістом $50 — 60\%$ сахарози — 73% .

P — тиск в абсорбері, Па.

Порядок розрахунку.

1. Знаходимо необхідну кількість сатураційного газу, виходячи з тієї кількості вапна, яке необхідно нейтралізувати в процесі сатурації, концентрації діоксиду вуглецю в сатураційному газі та заданого коефіцієнта використання CO_2 .

2. Задаємося кінцевою концентрацією вапна в розчині, який покидає розпилюючий абсорбер, з умови максимального використання адсорбційної здатності карбонату кальцію

Для вибору цієї концентрації користуємося наступними міркуваннями. При досягненні степені нейтралізації на сатурації 30 — 50 % утворюється колоїдний розчин карбонату кальцію (золь), який має позитивний заряд і розвинуту поверхню зі схильністю до інтенсивної адсорбції нецукрів і сторонніх домішок.

При подальшій сатурації і досягненні степені нейтралізації CaO 60 — 70% утворюється гель. При цьому збільшується в кілька разів в'язкість системи, збільшується концентрація нецукрів в розчині, а подальша сатурація цукрового розчину приводить до переходу в грубо дисперсну суспензію [5].

Тому для отримання осаду з великою адсорбційною здатністю необхідно мати стадію утворення золя, або щоб степінь нейтралізації не перевищувала 30 — 50% і потім стадію різкої нейтралізації CaO до величини не менше 70 %.

Виходячи з приведених даних задаємося 20% ступінню нейтралізації CaO .

3. Балансове рівняння по газовій фазі має вигляд:

$$Q_{\Gamma}^{\text{поч}}[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{поч}} = Q_{\Gamma}^{\text{кін}}[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}} + K_v V_{\Gamma} \{[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}} - [\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{рив}}\}, \quad (1)$$
 де V_{Γ} — об'єм абсорбера, зайнятий газовою фазою, м^3 ; K_v — об'ємний коефіцієнт масопередачі, с^{-1} ; $[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{рив}}$ — рівноважна концентрація діоксиду вуглецю, $\text{кмоль}/\text{м}^3$,

$$[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{рив}} = m[\text{CO}_2]_{\text{рід}}, \quad (2)$$

де m — константа фазової рівноваги.

Врозпилюючому абсорбері реакція між розчиненим вапном і діоксидом вуглецю є реакцією другого порядку та протікає в швидкому режимі. В цьому випадку концентрація діоксиду вуглецю в рідкій фазі досягає нульового значення уже на межі розділу фаз [6]:

$$[\text{CO}_2]_{\text{рід}} = 0 \quad (3)$$

З урахуванням останнього припущення рівняння (1) має вигляд:

$$Q_{\Gamma}^{\text{поч}}[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{поч}} = Q_{\Gamma}^{\text{кін}}[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}} + K_v V_{\Gamma}[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}}. \quad (4)$$

Основними складовими сатураційного газу являється азот N_2 , діоксид вуглецю CO_2 і водяний пар H_2O . Рівняння Клапейрона-Менделєєва для такого складу газу матиме вигляд:

$$Q_{\Gamma} = (\mu_{\text{N}_2} + \mu_{\text{CO}_2} + \mu_{\text{H}_2\text{O}}) RT/P, \quad (5)$$

де R — універсальна газова постійна, T — температура, μ — кількість молей відповідної речовини, які

приходяться на Q_{Γ} м^3 газу. Так як $\mu = Q_{\Gamma} C$, де C — концентрація компонента в газі, то вираз (5) для сатураційного газу можна представити у вигляді:

$$Q_{\Gamma} = (\mu_{\text{N}_2} + Q_{\Gamma}[\text{CO}_2] + Q_{\Gamma}[\text{H}_2\text{O}]) RT/P. \quad (6)$$

Якщо виразити Q_{Γ} для початкового та кінцевого стану залежностями (6) підставити їх в (1) і провести відповідні перетворення, то вираз для $[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{поч}}$ буде мати вигляд:

$$[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{поч}} = \frac{1 - \frac{RT}{P}([\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{поч}} + [\text{H}_2\text{O}]^{\text{поч}})}{1 - \frac{RT}{P}([\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}} + [\text{H}_2\text{O}]^{\text{кін}})} [\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}} + K_v \tau_{\Gamma} [\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}}, \quad (7)$$

де $\tau_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{Q_{\Gamma}}$ — середній час перебування газової фази в реакторі, с .

Оскільки процес насичення сатураційного газу парами води протікає швидко, допускаємо, що за час перебування газу в абсорбері він встигає насититись парами води при температурі розчину в сатураторі, тобто $[\text{H}_2\text{O}]^{\text{кін}}$ відоме.

Балансове рівняння по рідкій фазі має вигляд:

$$Q_{\text{рід}}([\text{CaO}]^{\text{поч}} - [\text{CaO}]^{\text{кін}}) = K_v V_{\Gamma} [\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}}, \quad (8)$$

де K_v — об'ємний коефіцієнт масопередачі, с^{-1} .

Таким чином, із балансових рівнянь (7) і (8) знаходиться концентрація діоксиду вуглецю на виході з розпилюючого абсорбера $[\text{CO}_2]_{\Gamma}^{\text{кін}}$ і добуток $K_v V_{\Gamma}$.

4. Для визначення поперечного перерізу реактора використаємо експериментально знайдене рівняння об'ємного коефіцієнта масопередачі від параметрів процесу

$$K_v = 0.57 w_{\Gamma}^{0.3} U^{0.56} (G_{\text{H}_2\text{O}} / V_{\text{аб}})^{-0.28}, \quad (9)$$

де w_{Γ} — приведена швидкість газу, $\text{м}/\text{с}$; U — густина зрошення, $\text{м}^3/\text{м}^2\text{с}$; $G_{\text{H}_2\text{O}}$ — кількість випареної води в абсорбері, $\text{кг}/\text{с}$; $V_{\text{аб}}$ — об'єм абсорбера, м^3 .

Це рівняння перетворимо, помноживши ліву і праву частину на V_{Γ} , враховуючи, що $V_{\Gamma}/V_{\text{аб}} = \phi$ — газоміст і приймаючи наступну залежність висоти абсорбера від його площі

$$h_{\text{аб}} = n \phi^{0.25}, \quad (10)$$

де n — коефіцієнт, що враховує умови найбільш повного заповнення розпилюючого абсорбера каплями рідини, форму і дальнобійність відцентрово-струмінної форсунки. Приймається в діапазоні 2 — 3.

Після ряду перетворень площа поперечного перерізу розпилюючого абсорбера знаходиться за формулою:

$$f_{\text{аб}} = 2.14 [K_v V_{\Gamma} \phi^{-1} n^{-1.28} (Q_{\Gamma}^{\text{поч}})^{-0.3} (Q_{\text{рід}})^{-0.56} G_{\text{H}_2\text{O}}^{0.28}]^{1.36} \quad (11)$$

Газоміст ϕ можливо знайти по рекомендованому виразу [7]:

$$\phi = 1 - \exp[-5.46 (V_{\text{рід}} / V_{\Gamma})^{0.2}], \quad (12)$$

де $V_{\text{рід}}$ — об'єм рідини в абсорбері, м^3 .

5. Використовуючи залежність (10), знаходимо висоту абсорбера.

Таким чином, в результаті розрахунку по запропонованій методиці знаходяться основні розміри розпилюючого абсорбера.

На заключній стадії розрахунку потрібно перевірити кількість нейтралізованого вапна в розпилюючому абсорбері і уточнити прийняті величини для розрахунку (приведену швидкість газу, щільність зрошення, час перебування газу і рідини в абсорбері). Для цього необхідно виконати наступне.

— за рівнянням (9) знаходиться об'ємний коефіцієнт масопередачі;

— за балансовим рівнянням (7) розраховується концентрація CO_2 на виході з розпилюючого абсорбера $[CO_2]_r^{KH}$.

— за рівнянням (8) знаходимо кінцеву концентрацію вапна в розчині, який покидає абсорбер.

Після виконання уточнюючих розрахунків приймається наступне рішення:

— якщо розбіжність між заданою для нейтралізації кількістю вапна і дійсно нейтралізованою в абсорбері не перевищує 10% то розрахунок закінчується;

— якщо розбіжність між вказаними концентраціями вапна в розчині перевищує 10%, розрахунок потрібно повторити, задаючись другою висотою абсорбційної зони (повторити розрахунок з п. 4), або другим значенням концентрації вапна в розчині, який покидає абсорбер (повторити розрахунок з п. 2).

Висновки. Приведена методика розрахунку розпилюючого абсорбера дозволяє розрахувати основні геометричні розміри і перейти до його проектування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сапрнов А.Р. Технология сахарного производства / — М.: Агропромиздат, 1986. — 431 с.
2. Рева Л.П., Шостаковский В.А., Антоненко Т.И. Напряжки комплексного усовершенствования современных технологических процессов очищения диффузионного сока // Цукор України.- 2007. — № 5-6. — с. 12 — 17.
3. Выхребцов В.Б., Пономаренко В.В., Бочкин В.И. Производственные испытания распылительного сатуратора под давлением // Сахарная промышленность. — 1986. — №9. — с.30 — 32.
4. Бойнтон Р.С. Химия и технология извести. / Сокращ. перевод с англ.. — М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. — 240 с.
5. Панкин Л.И., Сапронов А.Р., Лещенко В.М. и др. Модернизация схемы очистки диффузионного сока на Лиепайском сахарном заводе // Сахарная промышленность. — 1984.- № 11.- с. 19 — 22.
6. Шервуд Т., Пигфорд Р., Уилки Ч.; Массопередача : процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии / перевод с англ. Н.Н.Кулова; под редакцией В.А.Малюсова. — М.: Химия, 1982. — 696 с.
7. Рамм В.М. Абсорбция газов — М.: Химия, 1976. — 656 с.

Одержана редколлегією 25.05.2009 р.

УДК 664.126.4.054

В.Г. МИРОНЧУК, доктор технічних наук
О.А. ЄЩЕНКО, кандидат технічних наук
Національний університет харчових технологій

МЕТОДИКА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОМИСЛОВОЇ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЦУКРОЗИ

Процес багатоступеневої кристалізації цукрози розглянуто як об'єкт технології, до якого можна застосувати математичний рівень абстрагування. Проаналізовано зв'язки між об'єктами та наведено математичний опис передаточних функцій окремих об'єктів.

Ключові слова: багатоступенева кристалізація цукрози, об'єкт технології, параметри об'єкту технології, послідовний зв'язок, зворотний зв'язок.

Процесс многоступенчатой кристаллизации сахарозы рассмотрен как объект технологии, к которому можно применить математический уровень абстрагирования. Проанализированы связи между объектами и приведено описание передаточных функций отдельных объектов.

Ключевые слова: многоступенчатая кристаллизация сахарозы, объект технологии, параметры объекта технологии, последовательная связь, обратная связь.

Процес промислової кристалізації цукрози відбувається за кілька етапів, отже, відноситься до багатоступеневих задач. Процес багатоступеневої кристалізації цукрози, що відбувається в певному апараті визначеної конструкції та технологічного

призначення умовимося називати простим об'єктом технології. Цей же процес, що відбувається в кількох апаратах продуктового відділення, багатоступенево, слід віднести до складних об'єктів. Обидва об'єкти технології знаходяться під впливом ціло-

© В.Г. Мирончук, О.А. Єщенко, 2009

го ряду вхідних факторів, а реакції на їх виході визначаються вихідними параметрами. Між факторами впливу та параметрами на виході існує взаємозв'язок, що і характеризує перебіг процесу в об'єкті [1]. Крім того, об'єкт може зазнавати збудження і для його компенсації використовується певна керуюча дія (керування). Вхідні параметри можуть зазнавати зміни. До таких змін можна віднести кількість та якість початкових продуктів. Керуючі параметри змінюють у відповідності до визначеного регламенту технологічного процесу кристалізації. До них відносяться вміст сухих речовин, температура, кількість продуктів і т.п. Серед загальних властивостей вхідних та керуючих параметрів важливо те, що вони не залежать від процесу, що протікає в об'єкті, і тому відносяться до зовнішніх параметрів. До збуджуючих відносимо параметри, значення яких змінюється ймовірним чином протягом часу (рис. 1).

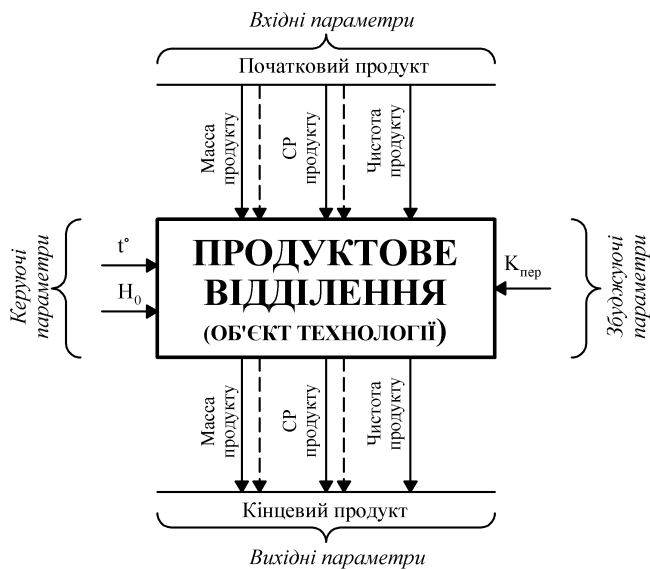


Рис. 1. Загальний вигляд об'єкту технології

Вихідні параметри визначаються режимом процесу і характеризують його стан. Вони виникають як результат взаємодії вхідних, збуджуючих та керуючих параметрів. Для здійснення моделювання нами прийняті певні обмеження у виборі цих параметрів, а саме: для вакуум-апаратів — кількісні та якісні показники утфелю, центрифуг — кількісні та якісні показники цукру та відтоків, для а для процесу в цілому — товарного цукру та меляси.

Вхідні та вихідні параметри пов'язані між собою залежностями (передаточною функцією) $Y_i = F_i(X_i)$, що визначають перебіг процесу в об'єкті.

Апаратно-технологічні схеми продуктових відділень цукрових заводів складаються з декількох елементів, що взаємопов'язані між собою. При моделюванні таких складних об'єктів доцільно розділяти їх на ряд ланок і потім складати з них структурні схеми. В продуктових відділеннях цукрозаводу можна виділити ділянки, які повторюються в

процесі або в апараті, відрізняються від інших ділянок типом процесу, технологічно або конструктивно є самостійними частинами установки або технологічної лінії. Нами як окремі складні об'єкти, виділено станції кристалізації, які в свою чергу вміщують в собі об'єкти «вакуум-апарати», «центрифуги» тощо.

Об'єкти технології в багатоступеневій кристалізації цукру пов'язані між собою паралельним, послідовним та зворотним ходом продуктових потоків (рис. 2) [2].

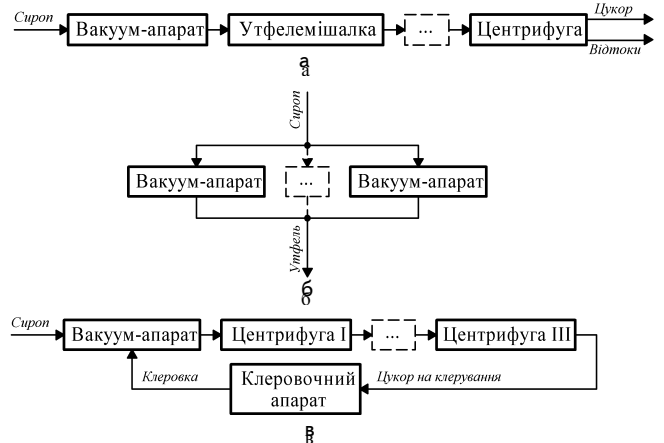


Рис. 2. З'єднання елементів:

а — послідовне; б — паралельне; в — зворотний зв'язок

Зворотний зв'язок проявляється у відображеному впливі на процес його власної дії. Основна ідея зворотного зв'язку полягає в тому, щоб використовувати відхилення та проміжні виходи об'єкту для формування керування об'єктом та його стабілізації. Зворотний зв'язок може мати позитивний чи негативний вплив на об'єкт дослідження. Це необхідно з'ясувати в кожному конкретному випадку встановлення зворотного зв'язку в системі. Зворотний зв'язок може бути як місцевим, охоплюючи одну або кілька ланок, так і загальним, охоплюючи всю систему в цілому.

Отже, для побудови моделі промислової багатоступеневій кристалізації цукрози останню розглядаємо як складний об'єкт технології, який складається з кількох об'єктів, що подібні між собою — ступенів кристалізації. Кожний об'єкт «ступінь кристалізації» також є складним, і до кожного з них входять об'єкти, які у відповідності до обраного нами рівня абстрагування, вважаємо простими: «уварювання утфелю», «центрифугування утфелю», «пробілювання утфелю в центрифугах», «афінація» тощо [3].

Всі введені об'єкти технології пов'язані між собою у відповідності до обраної апаратно-технологічної схеми. При цьому частина виходів попереднього об'єкта є входами наступного.

Якщо з'єднати послідовними зв'язками кілька об'єктів «станція кристалізації», то отримаємо послідовну модель багатоступеневій кристалізації цукрози. Теоретично така модель є нескінченною. В

умовах кристалізації цукрози вона є кінцевою, що обумовлено неможливістю кристалізації цукрових розчинів нижньої межі чистоти. Крім того, реальний промисловий процес багатоступеневої кристалізації цукрози здійснюється з поверненням частини продуктів, тобто є рециркуляційним. З точки зору моделювання, продукти, що рециркулюють, є як вихідними так і вхідними параметрами процесу кристалізації, тобто рециркуляція проявляється у впливі на процес його власної дії. Це властивість зворотного зв'язку. Отже, процес промислової кристалізації цукру слід розглядати як такий, що має зворотні зв'язки. Вони можуть бути місцевими (наприклад, рециркуляція других відтоків «на себе») та загальними (наприклад, повернення клеровки цукрів проміжної та останньої кристалізації).

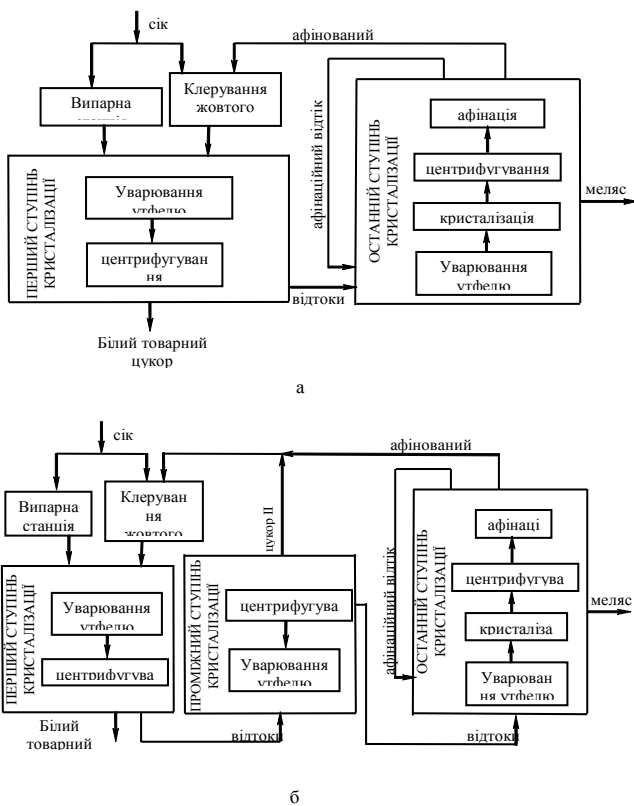


Рис. 3. Об'єкти технології типових схем та зв'язки між ними: а — двопродуктова схема; б — трипродуктова схема

Модель двопродуктової схеми містить два об'єкти «ступінь кристалізації» (рис. 3 а), які пов'язані між собою послідовним зв'язком «перший ступінь» → «останній ступінь» та зворотним зв'язком «останній ступінь» → «перший ступінь». Послідовним зв'язком передаються параметри відтоків першої кристалізації на вхід останньої кристалізації, а зворотним — параметри афінованого цукру останньої кристалізації на клерування та клеровки на уварування першого продукту. Основними вхідними параметрами такої моделі є характеристики початкового сиропу, а основними виходами — характеристики товарного цукру та меласи.

Для побудови моделі трипродуктової схеми введемо в модель двопродуктової схеми додатковий об'єкт «проміжний ступінь кристалізації», що моделює проміжний продукт. Новий об'єкт (рис. 3 б) пов'язується з уже існуючими в моделі об'єктами як послідовними, так і зворотним зв'язком.

Структурно модель трипродуктової схеми є більш повною та гнучкішою за двопродуктову. На основі трипродуктової схеми можна легко побудувати модель двопродуктової схеми, а також замінити моделювання афінації моделюванням пробілювання цукру останньої кристалізації водою в центрифугах. В такій гнучкості моделі також проявляється її подібність до трипродуктової схеми. Зв'язки між блоками (простими об'єктами) структурної схеми доцільно задавати у вигляді графа, вершинами якого є об'єкти, а ребра позначають передачу управління між ними (продуктові потоки) [4]. Математичний опис структурної схеми моделі еквівалентний математичному опису об'єкта технології [5].

Для математичного опису передаточних функцій окремих об'єктів та встановлених у моделі зв'язків доцільно використовувати балансові рівняння та фізичні залежності (рис. 4). Основою для математичного опису промислового процесу кристалізації цукрози буде матеріальний баланс процесу [6, 7].



Рис. 4. Склад математичного опису процесу промислової кристалізації цукрози

Рівняння матеріального балансу процесу кристалізації по всій речовині:

$$G_{\text{п}} = G_{\text{м}} + G_{\text{кр}} + W, \tag{1}$$

по цукрозі:

$$G_{\text{п}} \cdot \text{Цк}_{\text{п}} = G_{\text{м}} \cdot \text{Цк}_{\text{м}} + G_{\text{кр}}, \tag{2}$$

по нецукрам:

$$G_{\text{п}} \cdot \text{Нц}_{\text{п}} = G_{\text{м}} \cdot \text{Нц}_{\text{м}}, \tag{3}$$

по сухим речовинам:

$$G_{\text{п}} \cdot \text{СР}_{\text{п}} = G_{\text{м}} \cdot \text{СР}_{\text{м}} + G_{\text{кр}}, \tag{4}$$

по воді:

$$G_{\text{п}} \cdot W_{\text{п}} = G_{\text{м}} \cdot W_{\text{м}} + W, \tag{5}$$

де $G_{\text{п}}, G_{\text{кр}}, G_{\text{м}}$ — маси початкового розчину, кристалів, що утворилися та міжкристалевого розчину відповідно, кг; $\text{Цк}_{\text{п}}, \text{Цк}_{\text{м}}$ — масові частки цукрози відповідно у початковому розчині та міжкристальному розчині, %; $\text{Нц}_{\text{п}}, \text{Нц}_{\text{м}}$ — масові частки нецукрів відповідно у початковому розчині та міжкристальному розчині, %; $\text{СР}_{\text{п}}, \text{СР}_{\text{м}}$ — масові частки сухих речовин відповідно у початковому розчині та міжкристальному розчині, %; $W_{\text{п}}, W_{\text{м}}$

— масові частки води відповідно у початковому розчині та міжкристальному розчині, %; W — маса випареної води, кг.

Для об'єкту «уварювання утфелю» початковим продуктом є сироп, що поступає на уварювання, а вихідними продуктами — готовий утфель та випарена вода. Матеріальний баланс всієї речовини на об'єкті «уварювання утфелю» описується рівнянням

$$G_c = G_y + W, \quad (6)$$

а рівняння балансу сухих речовин

$$G_c CP_c = G_y CP_y,$$

де G_c , G_y — маси початкового сиропу та готового утфелю відповідно, кг; CP_c , CP_y — масова частка сухих речовин відповідно в початковому сиропі та готовому утфелі, %.

Тоді масу випареної води визначаємо за формулою

$$W = G_c \frac{CP_y - CP_c}{CP_y}, \quad (7)$$

а масу готового утфелю легко знайти з (1).

Для об'єкту «центрифугування» вхідним параметром є готовий утфель, а вихідними — цукор та відтік. Загальний матеріальний баланс центрифугування

$$G_y = G_m + G_{кр}, \quad (8)$$

баланс по воді —

$$W_y = W_m, \quad (9)$$

баланс по цукрозі —

$$G_y Ц_{к_y} = G_m Ц_{к_m} + G_{кр}, \quad (10)$$

де W_y , W_m — вміст води відповідно в утфелі і міжкристальному розчині, кг.

Цукроза, розчинена в міжкристальному розчині визначається за формулою $Ц_{к_m} = H_0(t)W_m$, яку остаточно записуємо у вигляді

$$G_m Ц_{к_m} = W_y H_0(t) K_{пер}, \quad (11)$$

де $H_0(t)$ — коефіцієнт розчинності цукрози, $K_{пер}$ — коефіцієнт пересичення утфелю.

Наведені рівняння матеріальних балансів математично описують відповідні їм об'єкти, отже, є їхніми математичними моделями.

Висновки. Запропонована нами методика моделювання процесу промислової кристалізації цукрози дає можливість в умовах обчислювального експерименту з високою точністю прослідкувати в розвитку динаміки процесу хід кристалізації і отримувати оперативну інформацію про стан роботи продуктового відділення і його результати. Змінюючи об'єкти технології зв'язки між ними, вхідні, керуючі і збуджуючі параметри процесу можливо моделювати роботу будь-якої схеми кристалізації цукрового заводу з високим ступенем точності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии. — К.: Вища школа, 1973. — 280 с.
2. Энциклопедия кибернетики. — К.: Главная редакция украинской советской энциклопедии, 1975. — Т. 2. — 624 с.
3. Мирончук В.Г., Ещенко О.А. Имитационное моделирование: экспертная оценка и оптимизация работы продуктового отделения сахарного завода // Сахар, №1. — 2004. — С. 44–46
4. Зыков А.А. Теория конечных графов. — Т. 1 — Новосибирск: 1969. — 542 с.
5. Мирончук В.Г., Ещенко О.А. Оптимизация работы продуктового отделения за допомогою імітаційного моделювання // Цукор України. — №3. — 2003. — С. 13–15.
6. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник за ред. проф. І.Ф. Малежика. — К.: НУХТ, 2003. — 400 с.
7. Каганов И.Н., Михатова Т.М. Химико-технические расчеты и учет в сахарном производстве. — М.: Пищевая промышленность, 1964. — 232 с.

Одержана редколлегиею 5.03.09

УДК 661.746.5

В.М. ФАЛЕС**О.В. ХІВРИЧ**, кандидат військових наук**А.М. ЛИТВИНЕНКО**, кандидат технічних наук*Національний університет харчових технологій*

АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЛИМОННОЇ КИСЛОТИ

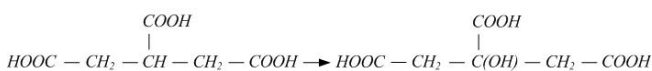
Проведено аналіз властивостей, напрямів застосування та способів виробництва лимонної кислоти. Показано її позитивний вплив на організм людини. Наведені основні показники якості готового продукту.

Ключові слова: лимонна кислота, властивості, застосування, виробництво, готовий продукт, якість.

Проведен анализ свойств, направлений применения и способов производства лимонной кислоты. Показано ее положительное влияние на организм человека. Приведены основные показатели качества готового продукта.

Ключевые слова: лимонная кислота, свойства, применение, производство, готовый продукт, качество.

Лимонна кислота є природною фруктовою кислотою, що міститься в цитрусових, чорній смородині, малині та інших плодах. В хімічному відношенні вона належить до класу ациклічних оксикислот, такої як трикарбалилова при заміщенні водню в одному її радикалі спиртовим гідроксилем.



Лимонна кислота позитивно впливає на функціонування організму людини (стимулює роботу підшлункової залози і обмін речовин в організмі, підвищує апетит, сприяє кращому засвоєнню їжі); застосовується у багатьох сферах виробництва, сільському господарстві та медицині. Таке широке її застосування пояснюється наявністю наступних властивостей: 1) підкислення і регулювання рН; 2) бактеріостатична дія; 3) утворення комплексних з'єднань з металами; 4) пластифікація білків і емульгування [4].

Підкислення і регулювання рН. Як різко виражений підкислювач лимонна кислота широко використовується в кондитерських, лікерогорілчаних виробках та безалкогольних напоях.

В кондитерській промисловості кислота застосовується для підкислення карамелі, цукерок, пастили, вафель та інших виробів. При виробництві желейних виробів (яблучний мармелад) використовують сіль лимонної кислоти — цитрат натрію. Її додають в яблучне пюре до введення цукру з метою сповільнення процесу утворення драглі, який швидко протікає при взаємодії пектину з цукром.

У виноробстві кислоту застосовують для освітлення вин при переробленні дуже зрілого винограду і інших плодів, коли вміст натуральних кислот в

них недостатньо і вино виходить слабке та темне, а також вин з підвищеним вмістом солей.

Лимонну кислоту додають у морозиво, харчові концентрати і есенції, деякі маргарини, соуси, приправи, соки, компоти, варення для підвищення кислотності та смакових якостей. У плодово-ягідних соках, сиропях вона створює гостроту і свіжість смаку, сприяє захисту пігментів від розкладання. Кислоту застосовують також при виробництві згущеного молока з цукром та рафінації рослинних масел.

Бактеріостатична дія. Вірогідні наукові дані про властивість лимонної кислоти як консерванту — відсутні. Але відомо, що бактеріостатична дія слабких кислот при одному і тому ж значенні рН більше ніж у сильних [1]. Процес підкислення запобігає росту мікроорганізмів, і так як життя їх нетривале, то при припиненні розмноження вони гинуть.

Розчином лимонної кислоти промивають і дезодорують жирову основу; обробляють перед холодним зберіганням свіжу рибу, м'ясо, креветки, краби, фрукти і овочі з метою стабілізації їх кольору, смаку та запаху. Кислотою облагороджують тютюн за рахунок зв'язування його летких основ.

Утворення комплексних з'єднань з металами. Збереження власного кольору багатьох природних продуктів і кольору характерного для деяких харчових продуктів, залежить не тільки від величини рН, але й від усунення каталітичного окислення красильних речовин важкими металами, що досягається за допомогою оксикислот.

На повітрі багато жирів і жиромісткі продукти окисляються (згіршають) та набувають при цьому неприємний запах, присмак. Окислення каталізує важкі метали (Fe, Si, Ni), що присутні як незначна домішка. Лимонна кислота та її натрова сіль

© В.М. Фалес, О.В. Хіврич, А.М. Литвиненко, 2009

зв'язує важкі метали, тобто проявляє антиокислювальну дію аналогічно такому антиокислювачу як аскорбінова кислота.

Здатність оксикислот утворювати комплексні з'єднання використовується у ряді інших галузей промисловості. На утворенні комплексів лимонної кислоти зі сполуками заліза засноване промивання її розчином пароводяного тракту енергоблоків на електростанціях при роботі з паром високого тиску. Ці ж її властивості використовуються в товарах побутової хімії — безабразивних порошкоподібних засобів для чищення металевих поверхневий і миття посуду.

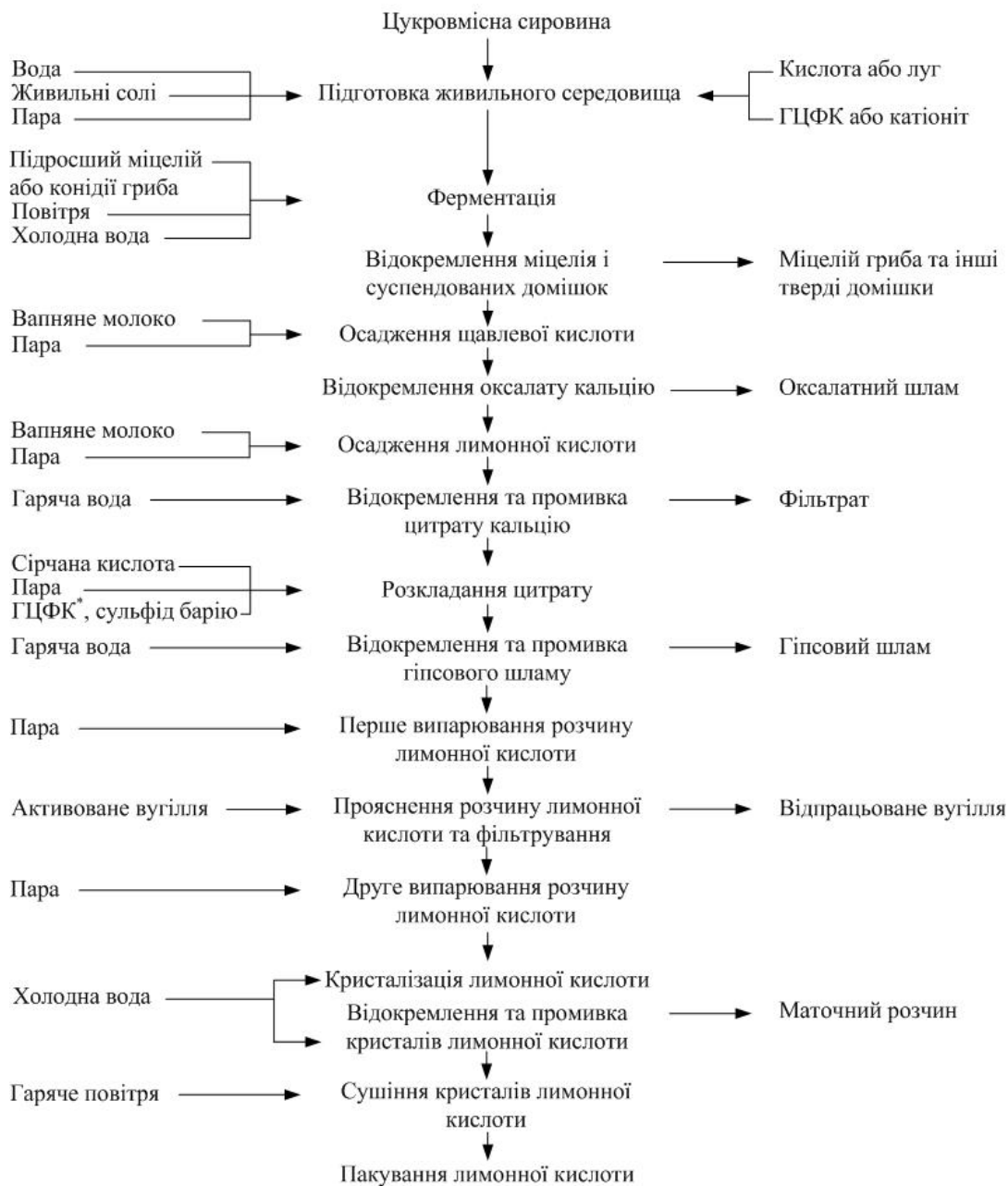
Пластифікація білків і емульгування. При введенні в молекулу моно- та дігліцеридів оксикис-

лот (молочна, винна, лимонна) отримують тонкодисперсні емульгатори. Емульгатори розщепляються у травному тракті організму та витрачаються на побудову жиру; вони не токсичні і дозволені як добавки в продукти харчування.

Застосування ефірів моногліцеридів оксикислот у кондитерській промисловості знижує в'язкість шоколадної глазури, витрату какао масла в шоколаді та перешкоджають кристалізації цукру з метою надання шоколаду блиску.

Цитрати лимонної кислоти використовують у пластифікаторах для мила.

Інші напрямки використання. Оксикислоти та їх солі знаходять широке застосування в медицині,



ГЦФК* - гексаціанофероатом калію

Рис. 1. Схема виробництва лимонної кислоти

побутовій хімії, хіміко-фармацевтичній та інших галузях промисловості.

Цитрат натрію додають у кров людини і тварин при перемиваннях та заготовках великих кількостей її (блокує іони кальцію, що запобігає згортанню крові і утворенню згустків). Цитрати амонію, калію, вісмуту, срібла, заліза, міді та інших елементів застосовують як внутрішні і зовнішні ліки. Цитрат міді застосовують у офтальмології як в'язучий та протизапальний засіб.

Лимонна кислота при свинцевих отруєннях переводить свинець у важковсмоктуєму сполуку, що використовується для одержання водорозчинних солей фармакологічно важливих основ — цитраткофеїна, цитраткофеїнамонія, цитраткокаїна тощо.

За кордоном цитрат натрію застосовують у миючих засобах, який забезпечує лужність і буферність миючих засобів, зм'якшує воду та повністю очищається на біофільтрах. Наприклад, в Бельгії створена фірма, метою якої є розроблення, освоєння виробництва та реалізація похідних лимонної кислоти в якості миючих засобів.

Лимонна кислота є складовою частиною багатьох косметичних препаратів — еліксирів, лосьйонів, шампуней, фіксаторів волосся тощо.

Деякі ефіри лимонної кислоти застосовують як розчинники і пластифікатори в лакофарбовій та пластмасовій промисловості.

Лимонна кислота як підкислювач входить у сполуки, які надають тканинам незмінальність та міцність. Кислоту використовують при електротравленні міді і мідних сплавів; у розчинах барвників кольорової фотографії; виробництві кіноплівки, фотопластинок і фотопаперу.

Виробництво лимонної кислоти хімічними способами економічно недоцільно: висока вартість вихідної сировини; технологія багатостадійна з використанням сильно токсичних реагентів (ціановодню, хлору тощо) та дає низький вихід цільового продукту. Тому до теперішнього часу вона виробляється з цукровмісної сировини за допомогою мікроорганізмів.

В якості сировини для ферментативного отримання лимонної кислоти у багатьох країнах світу використовують мелясу (побічний продукт цукрового виробництва), а в якості продуцента — спеціальний штам мікроскопічного гриба «Aspergillus niger» [3]. Загальна принципова технологічна схема виробництва лимонної кислоти з цукроживильного середовища наведена на рис. 1 [4].

Відомі два способи ферментації: глибинний та поверхневий. По першому з них міцелій гриба занурений в живильне середовище в ферментаторах; по другому — міцелій знаходиться на поверхні середовища у відкритих кюветах, які розташовані на багатоярусних стелажах спеціальних камер.

Поверхневий спосіб ферментації має ряд суттєвих недоліків: занижений вихід лимонної кислоти в результаті відсутності при ферментації пе-

ремішування, відведення теплоти та велика імовірність проникнення такої небезпеки як стоннення мікрофлора; незадовільні санітарно-гігієнічні умови праці; низька продуктивність виробництва, періодичність процесу та неможливість його автоматизації.

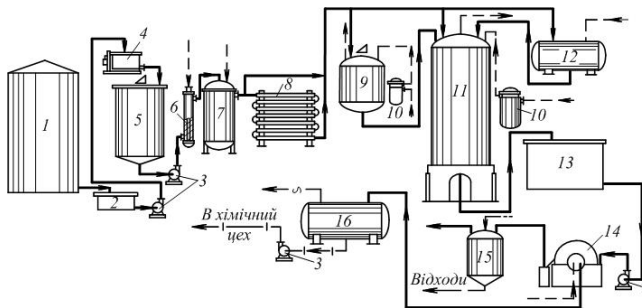


Рис. 2. Технологічна схема процесу глибинної ферментації: 1 — видаткова ємкість меляси; 2 — проміжний бак; 3 — насоси; 4 — ваги; 5 — варильний апарат; 6 — стерилізаційна колонка; 7 — видержувач; 8 — холодильник; 9 — посівний ферментатор; 10 — фільтр; 11 — основний ферментатор; 12 — ємкість для м'ясного середовища; 13 — збірник культуральної рідини; 14 — барабанний вакуум-фільтр; 15 — збірник міцелію; 16 — збірник фільтрованої культуральної рідини

Зараз біля 80 % лимонної кислоти за кордоном виробляється глибинною ферментацією. На рис. 2 наведена технологічна схема глибинної ферментації, яка застосовується на заводах лимонної кислоти колишнього СРСР та нашої держави [4, 5].

Готовий продукт лимонної кислоти по якості повинен відповідати основним показникам наведеним в табл. [2].

Хімічні показники харчової лимонної кислоти (витяг з ГОСТ 908-79)

Наименование показателя	Нормы для сортов		
	Экстра	Высший	Первый
1	2	3	4
1. Массовая доля лимонной кислоты в пересчете на моногидрат, %			
не менее	95,5	99,5	99,5
не более	101,0	Не нормируется	Не нормируется
2. Цвет, единицы показателя цветности раствора йодной шкалы, не более	4	6	10
3. Массовая доля золы, не более	0,07	0,10	0,35
4. Массовая доля свободной серной кислоты, %, не более	0,01	0,01	0,03
5. Массовая доля мышьяка, %, не более	0,00007	0,00007	0,00007

Це повинні бути безколірні кристали чи білий порошок без грудок, для кислоти I сорту допускається жовтуватий відтінок, смак кислий без побічного присмаку. Структура — суха, сипуча, на дотик не липка, без сторонніх домішок 2% -ний розчин кислоти в дистильованій воді не повинен мати запаху, бути прозорим і не мати механічних домішок.

Висновки. Позитивний вплив лимонної кислоти на функціонування організму людини, випуск якісної харчової продукції та її широке застосування в медицині, хіміко-фармацевтичній, побутовій хімії та багатьох інших галузях промисловості важко оцінити. Найбільш перспективним способом виробництва лимонної кислоти є глибинний, який дозволяє збільшити вихід кислоти при ферментації і таким чином продуктивність виробництва; підвищити рівень культури виробництва, гігієни праці, виробничої санітарії та здійснити повну автоматизацію технологічного процесу, що значно покращить умови праці робітників.

1. Arnold M. Acidulans for food and beverages. London: Food trade press, 1975. — 232 p.
2. ГОСТ 908-79. Переиздание 1987 г. с изменениями № 1,2 (ИУС 4-82, 3-87).
3. Kovats J., Niestrawski Z. Melasse als Rohstoff der biotechnischen Gewinnung von Zitronensäure. — Branntweinwirtschaft, 1973, n. 16. S. 373–376.
4. Смирнов В.А. Пищевые кислоты (лимонная, молочная, винная). — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. — 264 с.
5. Технологическая инструкция по производству пищевой лимонной кислоты. — Л.: ЛНИИПП, 1970. — 59 с.

Одержана редколлегиею 28.05.2009 р.

УДК 663.62

С.О. ПАВЛОВ,
О.Ю. ШЕВЧЕНКО, доктор технічних наук
Національний університет харчових технологій

ОСОБЛИВОСТІ КІНЕМАТИКИ І ДИНАМІКИ ОРІЄНТУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

В статті наведено матеріали, що стосуються взаємозв'язків між кінематичними і динамічними параметрами переміщення вантажів вподовж напрямних для випадку опорних рухомих площин, встановлених під кутом до лінії горизонту.

Ключові слова: кінематика, динаміка, сила, тертя, реакція, взаємодія.

В статье представлены материалы, касающиеся взаимосвязей между кинематическими и динамическими параметрами перемещения грузов вдоль направляющих для случая опорных подвижных плоскостей, установленных под углом к линии горизонта.

Ключевые слова: кинематика, динамика, сила, трение, реакция, взаимодействие.

Орієнтувальні пристрої є важливою складовою транспортно-технологічних систем взагалі або у складі спеціального обладнання. Їх влаштування передбачає переміщення вантажів вподовж напрямних за рахунок сил тертя з рухомими опорними площинами [1-4]. Теорія переміщення вантажів у таких пристроях розроблена на основі поетапного опису їх складових, однак стосується вона випадків горизонтальної орієнтації опорної рухомої площини. Разом з тим повисотне стикування обладнання може вирішуватися у тому числі і за рахунок орієнтувальних пристроїв. У зв'язку з відміченим у цьому дослідженні ставиться завдання створення методики розрахунків таких систем з негоризонтальною орієнтацією у просторі.

Розрахункова схема цього випадку наведена на рис. 1 з зазначеними геометричними і силовими параметрів.

Розглянемо етап переміщення вподовж напрямної, що відповідає етапу перехідного процесу (до стабілізації швидкості \dot{x}).

© С.О. Павлов, О.Ю. Шевченко 2008

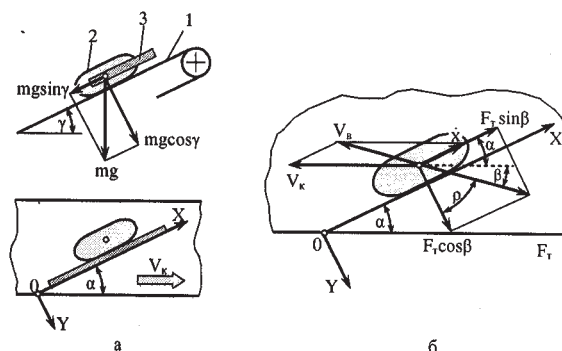


Рис. 1. а) загальна схема орієнтувального пристрою: 1 — рухома опорна площина; 2 — вантаж; 3 — напрямна; б) плани швидкостей і сил, що відповідають перехідному процесу

План швидкостей представлено векторами швидкості \vec{V}_k , \vec{x} і вектором повної відносної швидкості \vec{V}_b . При цьому маємо

$$\vec{V}_b = \vec{V}_k + \vec{x}. \quad (1)$$

Для визначення співвідношень силових параметрів запишемо

$$F_T = fmg \cos \gamma, \quad (2)$$

де f — коефіцієнт тертя між вантажем і опорною площиною; m — маса вантажу; g — прискорення вільного падіння.

Вектор результуючої сил тертя F_T прикладається в геометричному центрі площі контактування, а його напрямок вибирається протилежним вектору повної відносної швидкості. Вісь OX системи координат обираємо співпадаючою за положенням напрямної і тоді відповідні проекції вектора F_T визначаємо як

$$F_{Tx} = F_T \sin \rho; F_{Ty} = F_T \cos \rho. \quad (3)$$

Знайдемо з умови $\rho = 90 - \alpha - \beta. \quad (4)$

Для визначення кута β скористаємося схемою на рис. 2.

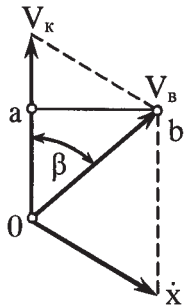


Рис. 2. Схема до визначення кута β

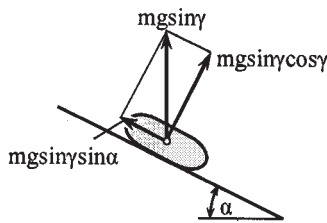


Рис. 3. План сил до складових $mgsin \gamma$ (повернуто)

$$\beta = \arctg \frac{ab}{Oa};$$

$$ab = \dot{x} \sin \alpha; Oa = V_k - \dot{x} \cos \alpha;$$

$$\beta = \arctg \frac{\dot{x} \sin \alpha}{V_k - \dot{x} \cos \alpha}; \quad (5)$$

$$\rho = 90 - \alpha - \arctg \frac{\dot{x} \sin \alpha}{V_k - \dot{x} \cos \alpha}. \quad (6)$$

Рушійною силою в напрямку OX є складова F_{Tx} , а протидіє переміщенню сила тертя вантажу з напрямною

$$F_{T,6} = f_{\delta} (F_T \cos \rho - mg \sin \gamma \cos \alpha), \quad (7)$$

а також складова (рис. 3)

$$F_{оп} = mg \sin \gamma \sin \alpha. \quad (8)$$

Тоді рівняння руху у перехідному процесі

$$m\ddot{x} = F_T \sin \rho - mg \sin \gamma \sin \alpha - f_{\delta} (F_T \cos \rho - mg \sin \gamma \cos \alpha). \quad (9)$$

Оскільки до останньої умови входить геометричний параметр ρ як нелінійна функція \dot{x} , то вона є нелінійним диференціальним рівнянням другого порядку, початкові умови якого мають вид

$$t_{(n)} = 0; x_{(n)} = 0; \dot{x}_{(n)} = 0.$$

За вказаних початкових умов маємо

$$\beta = \arctg \frac{\dot{x} \sin \alpha}{V_k - \dot{x} \cos \alpha} = 0, \quad (10)$$

а кут ρ має найбільше значення, що відповідає максимальній рушійній силі $F_T \sin \beta$. Від початку руху зі збільшенням швидкості \dot{x} результуючий вектор сил тертя F_T змінює своє положення в напрямку зменшення кута ρ . В результаті цього зменшується рушійна складова аж до рівня, коли вона стає рівною сумарному опору. Від цього моменту переміщення стабілізується за швидкості.

Оцінюючи вплив окремих факторів, відмітимо, що кут нахилу γ опорної площини до лінії горизонту зі зростанням приводить до зменшення сили тертя вантажу з бічною напрямною і одночасно до збільшення $F_{оп}$, але цей вплив пов'язаний з кутом α . Для дослідження цього зв'язку запишемо вираз по визначенню сумарного опору, пов'язаного з кутами α і γ .

$$F_{оп,сум} = mg \sin \gamma \sin \alpha - f_{\delta} mg \sin \gamma \cos \alpha. \quad (11)$$

Звідси з пошуку екстремумів $F_{оп,сум}$ видно, що за $\gamma = 0$ додаткові складові опору $F_{оп,сум}$ зникають і $F_{оп,сум} = 0$.

Для періоду усталеного руху маємо $m\ddot{x} = 0$ і тоді умова (9) перетвориться до виду

$$fmg \cos \gamma \sin \rho - mg \sin \gamma \sin \alpha - f_{\delta} (fmg \cos \gamma \cos \rho - mg \sin \gamma \cos \alpha) = 0$$

або

$$f \cos \gamma \sin \rho - \sin \gamma \sin \alpha - f_{\delta} (f \cos \gamma \cos \rho - \sin \gamma \cos \alpha) = 0.$$

Оскільки кут ρ визначається через співвідношення кінематичних параметрів, то відповідною підставкою одержуємо можливість визначити кінцеву швидкість $\dot{x}_{(n)} = \text{const}$ перехідного процесу.

Висновки. За випадку похилої опорної рухомої площини орієнтувального пристрою силовий тиск з боку вантажу на напрямну зменшується, що приводить до зменшення сили тертя між ними.

Проекція складової $mgsin \gamma$ на бічну напрямну протидіє переміщенню вантажу вдовж напрямної і виступає в ролі додаткової сили опору.

Кут нахилу опорної рухомої площини не повинен перевищувати величину кута тертя між нею і вантажем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волчко А.И. Повышение технического уровня линий укладки штучных грузов пищевой промышленности в транспортную тару. Автореф. дис. канд. техн. наук / КТИПП. — К., 1981. — 25 с.
2. Гава О.О., Масло М.А., Особливості пакування харчових продуктів // Упаковка. — 2000. — № 3. — С.35-37.
3. Комаров М.С. Динамика механизмов и машин. — М.: Машиностроение, 1969. — 288 с.
4. Соколенко А.И. Разработка методов расчета и оборудования транспортно-технологических систем стеклотарной продукции пищевых производств. Автореф. дисс. д-ра техн. наук: 05.02.14. — Киев, 1988. — 32 с.

Одержана редколлегією 04.09.08 р.

Н.Е. ФРОЛОВА, канд. техн. наук

А.І. УКРАЇНЕЦЬ, д-р техн. наук

І.М. СИЛКА, асп.

Національний університет харчових технологій

СПОСІБ ІМІТОВАНОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ – РАЦІОНАЛЬНА ОСНОВА ФРАКЦІЙНОЇ ПЕРЕГОНКИ ЕФІРНИХ ОЛІЙ

Показана можливість використання законів і механізмів препаративної газової хроматографії для імітованого моделювання процесів фракційної перегонки ефірних олій. Наведені наукові засади і практичні розробки виготовлення насадки препаративної колонки з можливістю ефективного управління реальним процесом фракційної перегонки, контролем та оптимізацією технологічних режимів.

Ключові слова: ефірна олія, препаративна хроматографія, фракція.

Показана возможность использования законов и механизмов препаративной газовой хроматографии для имитированного моделирования процессов фракционной перегонки эфирных масел. Приведены научные засады и практические разработки приготовления насадки для препаративной колонки с возможностями эффективного управления реальным процессом фракционной перегонки, контроля и оптимизации технологических режимов.

Ключевые слова: эфирное масло, препаративная хроматография, фракция.

Аналіз ринку ароматизаторів свідчить про поширеність в світовій практиці різних способів виділення ароматичних речовин з природних джерел рослинного походження [1]. Кожний запропонований спосіб є певною мірою результативним. Переваги надаються процесам, які максимально виділяють ароматичні речовини, не змінюючи при цьому їх молекулярну структуру. Це в першу чергу процеси дистиляції, різноманітність підвидів якої дозволяє не тільки виділити ароматичні речовини із рослинної сировини а і розділяти їх шляхом фракційної перегонки на окремі групи речовин — фракції.

З ефірних олій у медицині, парфумерно-косметичній промисловості фракційною перегонкою виділяють один або декілька компонентів, з яких методом хімічного синтезу отримують інші речовини. Наприклад, коріандр містить близько 60 % ліналоолу з квітковим запахом, подібним на конвалію.

У процесі хімічного окислення ліналоолу отримують цитраль або гераніол, запах яких нагадує троянду [2]. З олій шавлії мускатної фракційною розгонкою отримують близько 20 різних запахів, які можна використовувати як окремі ароматизатори.

Фракційна перегонка — тривалий процес навіть для розділення суміші, що складається з двох речовин.

Природні ефірні олії є багатокомпонентними сумішами органічних сполук (ароматичних карбонільних з'єднань, спиртів, кислот, ефірів і т.д.), що значно ускладнює процеси фракціонування.

Фракціонування ефірної олії кропу на дві фракції триває до 36 годин, на одну розгонку витрачається 70...100 г ефірної олії, при цьому вихід на стабіль-

ний, контрольований процес потребує проведення до 5 пробних розгонок [3].

Препаративна хроматографія в класичному варіанті використовується для розділення азеотропних сумішей та ізомерів з близькими температурами кипіння, виділення окремих компонентів, проведення їх подальшого аналізу. Препаративною хроматографією отримують добре очищені зразки, які можна використовувати за стандарти [6].

Для ефективного фракціонування рідкої суміші препаративна хроматографія в багатьох випадках не поступається ректифікації і навіть перевершує її.

Порівняльний аналіз процесу фракційної розгонки на насадковій колоні ректифікаційної установки і фракціонування суміші на колонці препаративного хроматографа показав наявність спільних характеристик:

висока ефективність розділення складної суміші; процес розділення багатокомпонентної суміші здійснюється в колонах;

ступінь розділення характеризується ефективністю колони і оцінюється одним поняттям «числом теоретичних тарілок»;

основним параметром як дистиляції, так і газохроматографічного розділення є температура кипіння компонентів суміші.

Ці висновки підтверджуються роботами зарубіжних дослідників, в яких препаративною газовою хроматографією «імітують» процеси фізичної розгонки сирової нафти за дійсними температурами кипіння [5,6].

Метою даного дослідження є обґрунтування застосування механізмів препаративної газової хрома-

тографії для імітаційного моделювання фракційної дистиляції ефірних олій за істинними температурами кипіння. Це дозволить за 80 хвилин аналізу з 1 мл зразку отримати результати розподілу фракцій дослідної ефірної олії адекватні фракційній розгонці на ректифікаційній колоні. Разом із цим з'являється можливість оперативно і спрямовано управляти процесом перегонки, оперативно змінювати режими одержання компонентів (фракцій), проводити підбір нових видів перспективної сировини; забезпечувати ринок стабільними натуральними ароматизаторами.

Відповідно прийнятій в міжнародних публікаціях термінології [5] фракційний розподіл рідкої суміші препаративною газовою хроматографією за дійсними температурами кипіння має назву імітаційна дистиляція. У основу способу імітаційної дистиляції покладено закономірність, за якою індивідуальні компоненти рідкої суміші елюються (виходять) із газохроматографічної колонки в порядку зростання їх температур кипіння. Препаративна колонка імітує собою ректифікаційну колону.

Препаративне виділення окремих компонентів або фракцій ефірних олій характеризується двома якісними критеріями: продуктивністю препаративної колонки і селективністю насадки, що визначається хімічною природою нерухої фази та її взаємодією з багатокомпонентною сумішшю.

Зважаючи на це, нами було досліджено наукові засади виготовлення насадки препаративної колонки для імітованого моделювання фракційної розгонки ефірних олій на насадковій колоні ректифікаційної установки. Дослідження проводилися за такими етапами.

В першу чергу це наукове обґрунтування та підбір твердого носія (ТН). Основним призначенням ТН в хроматографії є забезпечення значної, однорідної поверхні для рівномірного утримання плівки рідкої фази. Фірмою «Johns Manville» (США) розроблено спеціальний носій для препаративного розділення — хромосорб А. Він володіє великою ємністю по відношенню до нерухої рідкої фази (до 25 % мас.); високою механічною міцністю; малою адсорбційною і каталітичною активністю поверхні.

Спираючись на дослідження Лаптева та Карханіна [7] нами встановлено залежність продуктивності колонки від фракційного складу ТН. Встановлено, що колонки з вузькими фракціями ТН ефективніші за інші, але це може спричиняти збільшення тиску на кінцях колонки. Пояснення цього витікає з рівняння визначення висоти еквівалентної теоретичній тарілці ВЕТТ за Ван Деем-тером (формула 1):

$$\text{ВЕТТ} = A + B/\mu + C \cdot \mu, \quad (1)$$

де μ — лінійна швидкість газу носія, A — коефіцієнт вихрової дифузії, B — коефіцієнт молекулярної дифузії, C — коефіцієнт опору масопередачі між газом і рідкою фазою.

Коефіцієнти A , B і C не є константами і залежать від багатьох факторів. Чим менший розмір часток ТН, тим менша величина коефіцієнта дифузії A і менший опір масопередачі C в газовій фазі, тобто ефективність колонки, таким чином, збільшується. Зменшення коефіцієнта дифузії A і опору масопередачі C в газовій фазі, навпаки, збільшує опір колонки на її кінцях. У разі використання дуже малих часток ТН опір колонки настільки зростає, що стає неможливим створення необхідної швидкості потоку газу-носія.

Крім того дослідження показали, що колонки заповнені однією фракцією ТН по всій її довжині не в повній мірі ефективні. При заповненні колонки фракціями з почерговим зменшенням розміру часток фракцій час утримання зменшується у два рази, порівняно з колонкою, заповненою однією фракцією.

Тому було вирішено при виборі розміру зерен ТН використати поступове зменшення діаметру часток, що забезпечує достатню швидкість газу-носія і задану ефективність колонки. Характеристика фракцій сорбенту хромосорб А вказана у таблиці 1.

Відомо, що продуктивність колонки в значній мірі залежить від ефективності насадки, тобто рідкої нерухої фази нанесеною на ТН, тому за другим етапом розроблення препаративної колонки обиралася нерухома фаза (НФ).

Таблиця 1

Характеристика фракцій твердого носія для препаративного розділення ефірних олій

Номер фракції	Розмір зерен, мм	Розмір часток, меш
Фракція 1	2 — 3	10 — 20
Фракція 2	1 — 2	10 — 30
Фракція 3	0,56 — 1	20 — 30

меш — одиниця вимірювання, яка означає число отворів на один лінійний дюйм (25,4 мм)

Універсального способу підбору нерухої фази (НФ) на базі теоретичних розрахунків не існує. Світовий і вітчизняний досвід переконливо свідчить, що остаточний висновок залишається за експериментальною перевіркою.

Ефективність НФ характеризується міжмолекулярною взаємодією контактуючих речовин. Така взаємодія в значній мірі залежить від полярності речовин. Час утримання неполярних сполук зростає на неполярних нерухомих фазах, і розділення здійснюється за температурами кипіння. Полярні сполуки, однакової температури кипіння, що і неполярні, на неполярній нерухої фазі утримуються значно менше. Зрозуміло, що їх утримання збільшується з ростом полярності НФ.

Полярність НФ характеризується за Родшнайдером і Мак-Рейнольдсом [9]. Детальний аналіз газохроматографічних характеристик НФ із низькою та середньою полярністю, які за системою Nawkes'a відносяться до класів В.1, В.2,

С.4, D1 дозволив сформулювати наступні умови вибору НФ:

хімічна формула основи подібна до класу ароматичних компонентів ефірних олій;

максимальна робоча температура відповідна температурам кипіння ароматичних компонентів ефірних олій (240°C і вище);

висока в'язкість без вимивання з газохроматографічної колонки при значних температурах експерименту;

низькі значення полярності за Родшнайдером, а саме від 0 до 15 %, що відповідає неполярним і слабополярним НФ;

високі значення полярності за Мак-Рейнольдсом, що свідчить про високу селективність до ароматичних компонентів ефірних олій.

У препаративній хроматографії великі проби зазвичай вимагають вищих температур розділення, ніж в аналітичній хроматографії, оскільки збільшується рівень конденсації речовин в хроматографічній колонці. Ця обставина підвищує вимоги до стійкості НФ. При цьому, використання навіть відносно стійких НФ призводить до забруднення розділених компонентів суміші домішками рідкої фази. Вміст домішок П (в %) зумовлених леткістю рідкої фази визначається наступним виразом:

$$П = P_{ж} \omega t_c / 10m, \quad (2)$$

де $P_{ж}$ — леткість рідкої фази, мг на 1 л газу-носія; ω — об'ємна швидкість газу-носія, мл/хв.; t_c — час збору, хв.; m — маса виділеної речовини, мг.

Щоб зменшити вихід з колонки парів НФ та забруднення нею виділених речовин, препаративне розділення зазвичай проводять при температурі на 50 °С нижче за рекомендовану максимально допустиму температуру НФ. Завдяки цьому, суттєво зменшується тиск парів НФ і не порушується стабільність колонки.

Однією з умов вибору НФ є подібність до класу ароматичних компонентів ефірних олій. В основному ефірна олія є сумішшю терпенових вуглеводів з загальною формулою $C_{10}H_{16}$ і їх кисневмісних похідних. Тому НФ за будовою молекули і сукупністю фізико-хімічних властивостей повинна бути близькою до характерних властивостей ароматують речовин ефірних олій. Подібно до терпеноїдів НФ повинна мати циклічну будову молекули і володіти електронно-акцепторними властивостями. До речовин з такими характеристиками відносяться складні ефіри, фосфати, фталати, себацинати, стеарати, а також складні поліефіри.

Вимогам до НФ, селективних до компонентів ефірних олій з малою полярністю відповідають силікони: сквалан, полі- (диметилсилоксан), апізон, поліметилфенілсилоксан та деякі інші. Диметил- і метилфенілсилоксан мають широкий температурний інтервал — (-50...+350 °С), що сприяє їх різноплановому практичному застосуванню. До неполярних силіконових НФ зарубіжного і вітчиз-

няного виробництва відносяться: SE-30, OV-1, OV-101, SP-2100, ПМС-100, ВКЖ-94.

За викладеними науковими засадами і експериментальними дослідженнями обрано для виготовлення насадки препаративної колонки способу імітованої дистиляції нерухомої фази — ПМС-100, виробництва "Реакхім". Ця НФ володіє низькою полярністю як за константами Роршнейдера, так і за показниками Мак-Рейнольдса, є доступною за ціною. Характеристика НФ ПМС-100 наведена у таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики нерухомої фази ПМС-100

Показник	Значення
Хімічна формула	$CH_3[-SiO(CH_3)_2]_n CH_3$
Максимальна робоча температура, °С	200...250
В'язкість, ν_{20} м ² /с	100
Розчинник	Діетиловий ефір
Полярність по Роршнайдеру	9
Полярність по Мак-Рейнольдсу	16 (по бензолу)

Завдяки своїй високій в'язкості, ПМС-100 може використовуватися при температурах до 300 °С, що є особливо важливим для виділення висококиплячих компонентів ефірних олій. Крім того силіконові масла до яких відноситься обрана НФ порівняно хімічно інертні і фізіологічно нешкідливі.

На ефективність розділення і роздільну здатність колонки впливає концентрація НФ на твердому носії. За дослідженнями Верзела встановлено вплив кількості НФ на величину ВЕТТ [8]. За його висновками в препаративній хроматографії зміна концентрацій рідкої фази в межах 10...35 % практично не впливає на ефективність колонки. Вирішальним фактором виступає масопередача в газовій фазі.

Експериментально встановлено, що концентрація нанесення ПМС-100 в кількості 20 % на Хромосорб А. має наступні переваги: можливість проведення аналізу проб великого об'єму; здатність до покриття практично всіх активних центрів на поверхні твердого носія; висока продуктивність препаративної колонки; мінімальні (1-2%) втрати не повністю адсорбованої фази, оскільки адсорбуюча здатність носія використана не максимально. Обробка результатів досліджень показала, що раціональна концентрація НФ при нанесенні на ТН становить 17...20 %.

У значній мірі величини утримування компонентів суміші залежить від розподілу НФ на поверхні ТН. В літературі відомо декілька моделей розподілу НФ на ТН, обґрунтовані експериментальними даними та теоретичними уявленнями [10]: В цілому можна сказати, що характер розподілу НФ на твердому носії достатньо складний. Спочатку НФ заповнює, в основному, вузькі пори ТН, а потім відбувається заповнення пор більшого діаметру та збільшення товщини плівки НФ на стінках макропор. При вмісті НФ на твердому носії більше де-

кількох відсотків та хорошій змочуваності твердого носія НФ утворюється суцільна плівка. При поганій змочуваності, НФ знаходиться на поверхні у вигляді окремих крапель. Великий вплив на характер розподілу справляє спосіб нанесення НФ та подальші умови кондиціювання колонки.

У залежності від довжини препаративної колонки, розміру часток фракцій ТН, їх розташування відносно місця вводу проби та допустимих значень концентрації НФ визначались фракційні масові співвідношення ТН у колонці, концентрація НФ для кожної з цих фракцій. При цьому враховувалося наступне: чим менший розмір часток фракцій ТН і ближче їхнє розташування відносно місця введення проби, тим більші повинні бути фракційні масові співвідношення ТН у колонці та концентрації НФ.

Аналіз експериментальних даних та теоретичних уявлень дозволив визначити масові співвідношення трьох фракцій Хромосорбу А різного розміру часток та концентрацію ПМС-100, нанесену на кожну фракцію. За рахунок того, що розрахована кількість НФ для третьої фракції ТН є досить значною, фракцію 3 поділено на дві частини (3.1, 3.2). (таблиця 3).

Таблиця 3

Концентрація ПМС-100 для фракцій Хромосорба А насадки препаративної колонки

Хромосорб А	Масове співвідношення фракцій у колонці, %	Кількість ПМС-100, %
Фракція 1	15	17
Фракція 2	25	17
Фракція 3.1	25	19
Фракція 3.2	35	14

Проведені дослідження дозволили розробити принципову схему приготування насадки для препаративної колонки способом імітованої дистиляції ефірних олій (рисунок 1).

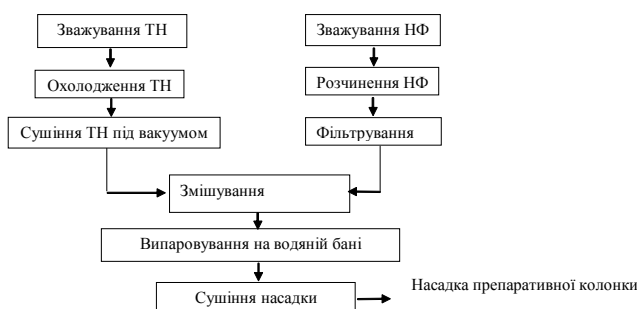


Рис. 1. Принципова схема приготування колонки для препаративного розділення ефірних олій

Висновки. Проблема отримання нових стабільних джерел натурального аромату для харчової промисловості пов'язана з необхідністю детального вивчення і вдосконалення технологій перероблення природної ароматичної сировини. Ключовими аспектами у вирішенні даної проблеми є фракційна перегонка ефірних олій з оптимальними режимами

проведення процесу. Проведеними дослідженнями обґрунтовано можливість імітаційного моделювання фракційної перегонки ефірних олій препаративною газовою хроматографією з використанням спеціально розробленої препаративної колонки. Задача вирішувалася індивідуальним підходом до вибору твердого носія, нерухомої фази, способу нанесення даної нерухомої фази на твердий носій колонки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нечаев А.П., Смирнов Е.В. Пищевые ароматизаторы. / Пищевые ингредиенты. 2000. № 2. - С. 26-28.
2. Мишарина Т.А., Андреевков В.А., Ващук Е.А. Состав, получение и свойства пищевых ароматизаторов. / Пищ. пром-сть. — 1998. — № 6. — С. 29 — 31.
3. Фролова Н.Е., Чепель Н.В., Усенко В.О. Отримання натурального ароматизатора з ефірної олії кропу як функціональної складової продуктів оздоровчого спрямування / Наукові праці НУХТ, 2006. - №18, - С.40-42.
4. M.F. Benassy, M. Dorbon, and P.Valentin. Оцінка параметрів препаративної дистиляції з використанням методу СИМДИС/the Catalyst, AC Analytical Control, 1995. №1. p. 12.
5. Aromatisation des aliments approches sensorielles et physico-chimiques/ Philippe Ellen, Voilley Andree (Laboratoire GPAB-ENSBANA) / Ind. alim. et agr.– 2001. — 118, № 4. — С. 11–18.
7. Бардышев И.И., Куликов В.И., Чемрук Л.С. Исследование различных твердых носителей для проведения газо-жидкостной хроматографии терпенов / Доклады Академии наук БССР. — Т 12. — 1968., № 6.- С.76-82.
8. Лейбница Э. Руководство по газовой хроматографии / Э.Лейбница, Х.Г.Штруппе; пер. с нем. В.В. Соболя. [т.1, 2] — М.: Мир, 1998. — с 479,509.
9. Аналитическая хроматография / Сакодынский К.И., Бражников В.В., Волков С.А. и др. — М.: Химия, 1995. — 464с.

Одержана редколлегиею 25.05.2009 р.

М.М. ПУШАНКО, доктор технічних наук
 Національний університет харчових технологій
 О.І. ХОМЕНКО,
 О.Б. АБРАМОВ
 Смілянський технікум харчових технологій НУХТ

РОЛЬ СТОРОННІХ ВПЛИВІВ ПРИ СУХОМУ ОЧИЩЕННІ БУ- РЯКОСИРОВИНИ

Досліджені додаткові фактори видалення з бурякосировини вільних забруднень в ході вільного польоту, побудовані математичні моделі відокремлення вільних забруднень з потоку бурякосировини.

Ключові слова: вільні забруднення, повітряний потік, математична модель.

Исследованы дополнительные факторы удаления из свеклосырья свободных загрязнений в ходе свободного полёта, построены математические модели отделения свободных загрязнений из потока свеклосырья.

Ключевые слова: свободные загрязнения, воздушный поток математическая модель.

Можливості сухого очищення бурякосировини [1, 2] можуть бути значно розширені за рахунок введення додаткових факторів. Одним із них, зокрема, може бути штучний повітряний потік, направлений на бурякосировину, що знаходиться у стані вільного польоту. До сил, що діють у такому випадку на частинки потоку, додається сила опору штучному повітряному потоку.

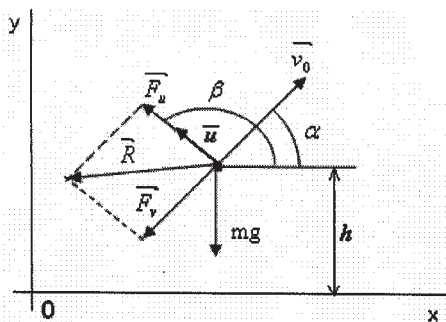


Рис. 1. Сили, що діють на частинку бурякогрунтової суміші під час вільного падіння

Рух частинки з врахуванням дії повітряного потоку з швидкістю \bar{u} описується рівнянням:

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = -\delta(\bar{v} - \bar{u}) - \bar{g}; \quad (1)$$

Спроєктувавши складові рівняння (1) на координатні осі, одержимо систему:

$$\begin{cases} \frac{dv \cos \alpha}{dt} + \delta(v \cos \alpha - u \cos \beta) = 0 \\ \frac{dv \sin \alpha}{dt} + \delta(v \sin \alpha - u \sin \beta) = -g \end{cases}; \quad (2)$$

Розв'язання даної системи диференціальних рівнянь дає параметричні рівняння руху частинок бурякогрунтової суміші.

© М.М. Пушанко, О.І. Хоменко, О.Б. Абрамов, 2009 р.

$$\begin{cases} x = u \cos \beta \cdot t + \frac{1}{\delta} (v_0 \cos \alpha - u \cos \beta) (1 - e^{-\delta t}); \\ y = h + \left(u \sin \beta - \frac{g}{\delta} \right) \cdot t + \frac{1}{\delta} \left(v_0 \sin \alpha - u \sin \beta + \frac{g}{\delta} \right) (1 - e^{-\delta t}); \end{cases} \quad (3)$$

де v_0 — початкова швидкість частинок бурякогрунтової суміші, α — кут між напрямом швидкості частинок бурякогрунтової суміші і додатним напрямом осі ОХ; u — швидкість штучного повітряного потоку; β — кут між напрямом швидкості штучного повітряного потоку і додатним напрямом осі ОХ; g — прискорення вільного падіння; h — висота точки відриву частинок над нульовий рівнем; δ — приведений коефіцієнт опору, що визначається за формулою $\delta = \frac{k}{m}$, де k — коефіцієнт пропорційності між силою опору повітря, і швидкістю руху частинки, m — маса частинки. Приведений коефіцієнт опору δ характеризує властивості частинки при взаємодії з повітряним потоком.

Задача полягає у підборі таких параметрів моделі, які забезпечать максимальне розшарування потоку бурякогрунтової суміші з метою одержання фракції бурякосировини з мінімальною кількістю вільних домішок.

Покладемо за функцію мети різницю між координатами точок перетину осі ОХ частинками бурякогрунтової суміші з найбільшими і найменшими значеннями параметру δ .

$$z = x_1 - x_2 \quad (4)$$

Для цього запишемо рівняння координати x_1 з розв'язку диференціального рівняння (4) при значенні $\delta = \delta_{\min} = \delta_1$, та рівняння координати x_2 розв'язку того ж диференціального рівняння при $\delta = \delta_{\max} = \delta_2$. Задача полягає в знаходженні максимуму вказаної функції мети.

$$\begin{aligned} x_1 &= u \cos \beta \cdot t_1 + \frac{1}{\delta_1} (v_0 \cos \alpha - u \cos \beta) (1 - e^{-\delta_1 t_1}); \\ x_2 &= u \cos \beta \cdot t_2 + \frac{1}{\delta_2} (v_0 \cos \alpha - u \cos \beta) (1 - e^{-\delta_2 t_2}). \end{aligned} \quad (5)$$

В цих рівняннях величини t_1 і t_2 — моменти часу, коли частки бурякогрунтової суміші з найбільшими і найменшими значеннями параметру δ перетинають вісь ОХ. Ці величини можна знайти як розв'язки відповідних трансцендентних рівнянь:

$$\begin{aligned} y_1 &= h + \left(u \sin \beta - \frac{g}{\delta} \right) \cdot t + \frac{1}{\delta} \left(v_0 \sin \alpha - u \sin \beta + \frac{g}{\delta} \right) (1 - e^{-\delta t}) = 0; \\ y_2 &= h + \left(u \sin \beta - \frac{g}{\delta} \right) \cdot t + \frac{1}{\delta} \left(v_0 \sin \alpha - u \sin \beta + \frac{g}{\delta} \right) (1 - e^{-\delta t}) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

де y_1 і y_2 — вертикальні координати відповідних частинок. Задача ускладнена тим, що різні за параметром δ частинки бурякогрунтової суміші досягають нульового рівня за різні проміжки часу. Тому проста підстановка розв'язків (5) у формулу (6) не дає розв'язку раніше поставленої задачі. Для подолання цієї проблеми введемо лінії одночасності. Це лінії, що утворюються об'єднаними точками траєкторій різних за коефіцієнтом δ частинок, в один і той же момент часу. Такі лінії побудовані для різних моментів часу з деяким інтервалом показані на рис. 2.

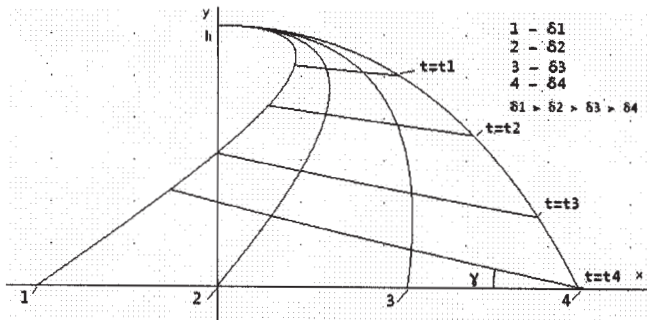


Рис. 2. Траєкторії частинок з різним параметром δ та лінії одночасності.

Параметричні рівняння лінії одночасності для будь-якого моменту часу одержимо з розв'язків диференційного рівняння (3), поклавши $t = t_\phi$,

$$\begin{cases} x = u \cos \beta \cdot t_\phi + \frac{1}{\delta} (v_0 \cos \alpha - u \cos \beta) (1 - e^{-\delta t_\phi}); \\ y = h + \left(u \sin \beta - \frac{g}{\delta} \right) \cdot t_\phi + \frac{1}{\delta} \left(v_0 \sin \alpha - u \sin \beta + \frac{g}{\delta} \right) (1 - e^{-\delta t_\phi}); \end{cases} \quad (7)$$

де t_ϕ — будь-який фіксований момент часу.

В цих параметричних рівняннях час $t = t_\phi$ є величина постійна, а параметр δ — змінна величина, у встановлених межах $\delta_1 \leq \delta \leq \delta_2$.

Розглянемо різницю координат x_1 і x_{21} частинок з найбільшими і найменшими значеннями параметру δ , що знаходяться на одній лінії одночасності. Враховуючи, що лінії одночасності з достатньою для завдань дослідження точністю можуть вважатися прямими, маємо нове представлення цільової функції

$$z = x_1 - x_2 = \frac{x_1 - x_{21}}{\cos^2 \gamma} \quad (8)$$

де γ — кут між лінією одночасності, початок якої визначає точка дотику до нульового рівня для частинок з значенням параметру $\delta = \delta_{\min}$ і віссю ОХ.

Величину $\cos \gamma$ знайдемо із залежності:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{y'_\delta}{x'_\delta}; \quad (9)$$

де y'_δ і x'_δ — похідні по величині δ параметричного задання лінії одночасності в точці дотику до нульового рівня для важких частинок. Тоді $\cos \gamma$ легко обчислимо за тригонометричною формулою:

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}}; \quad (10)$$

Оскільки досліджується лише тенденція до максимуму функції мети, яку з геометричних міркувань, як знаходження гіпотенузи за проекцією прилеглого катета наближено можна задати формулою (8):

Координати x_1 і x_{21} задані одним і тим же моментом часу, тому:

$$\begin{aligned} x_1 &= u \cos \beta \cdot t_1 + \frac{1}{\delta_1} (v_0 \cos \alpha - u \cos \beta) (1 - e^{-\delta_1 t_1}); \\ x_{21} &= u \cos \beta \cdot t_1 + \frac{1}{\delta_2} (v_0 \cos \alpha - u \cos \beta) (1 - e^{-\delta_2 t_1}). \end{aligned} \quad (11)$$

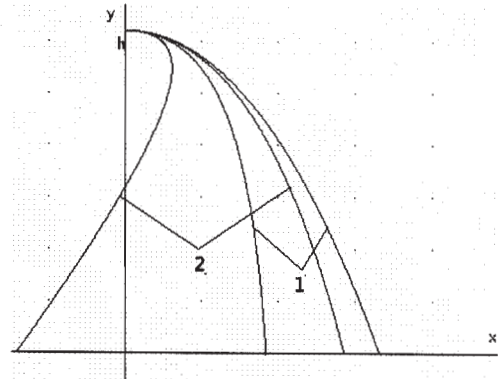


Рис. 3. Розділення компонентів бурякогрунтової суміші 1 — без впливу зовнішнього фактора, 2 — із впливом зовнішнього фактора — повітряного дуття.

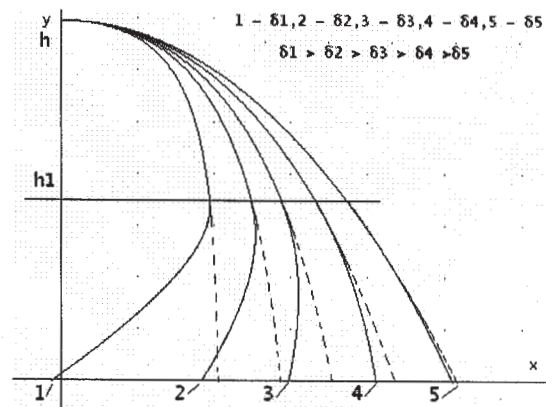


Рис. 4. Траєкторії компонентів бурякогрунтової суміші при дії повітряного потоку лише на частину висоти її польоту.

Тоді вираз для функції мети приймає вигляд:
 $z = \cos \epsilon^2 \gamma (x_1 - x_{21})$ і після перетворень:

$$z = \operatorname{cosec}^2 \gamma (v_0 \cos \alpha - u \cos \beta) \left(\frac{1 - e^{-\delta_1 t_1}}{\delta_1} - \frac{1 - e^{-\delta_2 t_1}}{\delta_2} \right). \quad (12)$$

Множник $\operatorname{cosec}^2 \gamma \left(\frac{1 - e^{-\delta_1 t_1}}{\delta_1} - \frac{1 - e^{-\delta_2 t_1}}{\delta_2} \right)$ – стала вели-

чина, тому максимальне значення функції мети визначається виразом

$$z_{\text{ев}} = v_0 \cos \alpha - u \cos \beta \quad (13)$$

Аналіз (13) показує, що значення функції буде тим більше, чим більші за модулем будуть значення u і v_0 . При сталих швидкостях u і v_0 найбільшого значення функція досягне у випадку, коли $\cos \alpha = 1$, $\cos \beta = -1$, тобто коли кут наряду руху бурякогрунтової суміші відносно горизонталі $\alpha = 0^\circ$, а кут наряду руху повітряного потоку $\beta = 180^\circ$. На рис. 3 показано, на скільки зростає ефективність розділення бурякогрунтової суміші при застосуванні додаткового фактора впливу. При введенні зовнішнього впливу розсіювання повітряного потоку траєкторії усіх частинок потоку зміщуються в сторону потоку в різній мірі. При цьому відстань розсіювання збільшується майже в три рази.

З метою полегшення технічного вирішення проблеми зовнішнього впливу, повітряний потік може формуватися лише на частину висоти польоту бурякогрунтової суміші. У такому випадку координати частинок та проекції їх швидкостей не терплять розриву у точках спряження, а кінцеві параметри кожного виду частинок в точках входження

в дію повітряного потоку при розв'язанні відповідного диференційного рівняння є початковими.

Висновки. Побудована математична модель підтверджує можливість реалізації методу виведення вільних домішок з потоку бурякосировини у стані вільного польоту у повітряному середовищі та доцільність інтенсифікації такого процесу шляхом створення штучного повітряного потоку. Отримані залежності дозволяють здійснювати визначення оптимальних параметрів проведення такого процесу у реальному технічному об'єкті. Для досягнення максимального ефекту сегрегації при оптимальних техніко-економічних показниках процесу доцільним є збільшення швидкості повітряного потоку при одночасному виборі початкової швидкості бурякогрунтової суміші на рівні досяжної у розповсюджених транспортних пристроях швидкості руху сировини. Ефективність застосування штучного повітряного потоку зменшується при звуженні смуги дуття, проте існують достатньо широкі технічні межі, при яких його використання залишається доцільним.

ЛІТЕРАТУРА

1. Н.М. Сапронов, А.Н. Морозов, В.Н. Цуканов. Заготовка и хранение сахарной свеклы: организационные, технологические инновации. / Сахар. — №8. — 2007. — с.24-30.
2. Л.А.Кузнецова, Н.А. Бруханский, Л.К. Сироватко. Испытание нового оборудования для очистки свеклы от легких примесей. УДК 664.121.031

Одержано редколлегією 12.05.09 р.

УДК 664.002.5

С. М. ВАСИЛЕНКО
Т. О. ВАЩУК
В. І. БОНДАР
В. В. ШУТЮК
С. М. САМІЙЛЕНКО

Національний університет харчових технологій

ТЕПЛОБМІН У ПЛІВКОВИХ ТЕЧІЯХ У РОТОРНО-ПЛІВКОВИХ АПАРАТАХ ІЗ РОТОРАМИ СПІРАЛЬНОГО ТИПУ

В статті наведено матеріали, що стосуються аналізу режимів течії в плівці, перенесення імпульсу та енергії низхідних плівок томатопродуктів в роторно-плавкових виперних апаратах зі спіральним ротором.

Ключові слова: плівка, томатопродукти, течія, ротор, режим, теплообмін.

В статье представлены материалы, касающиеся анализа режимов течений в пленках, переноса импульса и энергии низходящих пленок томатопродуктов в роторно-пленочных выперных аппаратах с спиральным ротором.

Ключевые слова: пленка, томатопродукты, течение, ротор, режим, теплообмен.

Для експериментального дослідження режимів роботи роторно-плівкових випарних апаратів (РПА) з роторами спірального типу для випаровування томатопродуктів розроблено, виготовлено і змонтовано дослідно-промислову установку, що складається з трьох РПА пілотної моделі.

Дослідно-промислову установку розроблено ПФ «Спектр» при НВО «Селта» УААН, виготовлено на Сакському дослідно-механічному заводі НВО «Йодобром», впроваджено і досліджено її роботу на Нижньогірському консервному заводі (АР Крим).

Конструктивні параметри дослідно-промислового зразка РПА: внутрішній діаметр циліндра — 0,638 м, довжина циліндрової частини — 1,0 м, відношення довжини циліндрової частини до діаметра — 1,567, довжина конусної частини — 0,22 м; кут її нахилу — 45°, загальна робоча довжина ротора — 1,22 м, загальне відношення довжини до діаметра — 1,912, крок гвинтової лінії шнека ротора — 0,15 м, кількість витків шнека на циліндровій частині — 6,67, на конусній — 1,47, кут нахилу створюючої стрічки шнека — 45°, частота обертів ротора $n_p = 0,667 \text{ с}^{-1}$.

У дослідних об'єктах густина зрошування поверхні теплообміну продуктом змінювалася в межах $\Gamma = 7 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2\text{с}$; вміст сухих речовин у томатопродукті $CP = 4-28\%$; значення плівкового числа Рейнольда $Re_a = 0,2-142$; середній температурний напір у корпусах випарної установки 8–13°C; тиск вторинної пари третього корпусу випарної установки — $(2,5-3,2)10^{-4} \text{ Па}$.

Під час аналізу перенесення імпульсу й енергії в низхідних плівках томатопродуктів як дискретно-локальні (квазілокальні) теплогідродинамічні характеристики бралися їх усереднені значення вздовж поверхні теплообміну окремого апарату.

Попередній аналіз механізму пароутворення в плівках рідини в усьому діапазоні зміни витратних і режимних характеристик, що були в дослідних, свідчить, що у всіх режимах роботи випарних апаратів відбувалося випаровування з поверхні плівки за відсутності кипіння в ній. Слід зазначити, що це взагалі характерно для плівкових випарних апаратів харчових виробництв, в яких реалізуються одночасно низькі витратні характеристики плівкових течій з відносно невисокими значеннями різниці температур у плівці.

З метою аналізу режимів течії в плівці проведено попередній аналіз результатів експериментального дослідження. Порівнювалися експериментально отримані значення інтенсивності теплопереносу в плівці з розрахунком по найбільш апробованих моделях, які описують процеси перенесення в плівках рідини в різних режимах течії.

Порівняні дослідні дані з розрахунком по моделі, отриманій у наближенні вільно стічної ламінарно-хвильової плівки в рамках спряженої теплопередачі. В результаті зроблено висновок про те, що у всьому діапазоні змін характеристик двофазної течії

© С.М.Василенко, Т.О.Ващук, В.І.Бондар, В.В.Шутюк, С.М.Самійленко, 2009

дослідні дані систематично перевищують розрахункові. Це може бути пов'язано:

- 1) із зменшенням товщини плівки внаслідок її взаємодії з ротором;
- 2) з наявністю хвильової структури на поверхні ламінарної плівки;
- 3) з турбулізацією течії рідини в плівці.

Враховуючи результати аналізу поділу про перехід до турбулентного режиму руху в плівках, можна зробити висновок про те, що, незважаючи на низькі значення плівкових чисел Рейнольдс унаслідок високої в'язкості томатопродуктів, цілком обґрунтованим є останнє припущення про турбулізацію плівки. Про це ж свідчать результати експериментального дослідження гідродинаміки плівок, які вільно стікають без взаємодії з ротором, згідно якою навіть у ламінарно-хвильовому режимі руху рідини складну хвильову структуру плівки можна розглядати як рух гребенів хвиль з турбулентним режимом течії в них по поверхні ламінарного пласта практично постійної товщини.

Також порівнювали результати експериментального дослідження з розрахунком по моделях, в яких плівка рідини розглядається як пристінний шар однофазного потоку рідини. Основною перевагою моделей цього типу є те, що вони ґрунтуються на фізично адекватних уявленнях про механізми процесів перенесення. Розглядалися моделі процесів турбулентного перенесення імпульсу, енергії і маси в суцільних середовищах, що ґрунтуються на диференціальних рівняннях збереження імпульсу, енергії і маси в частинних похідних для прилеглої області.

Традиційно для аналізу процесів перенесення у вільно стічних плівках рідини використовують модель двовимірного плоского прилеглої області.

Розглянемо адекватність аналогічної двовимірної моделі під час аналізу плівок рідини в роторно-плівкових випарних апаратах.

У апаратах лопатевого типу вектор швидкості ребра лопаті спрямований перпендикулярно до вектора сили земного тяжіння. Тому, вочевидь, в апаратах такого типу за високих відносних лінійних швидкостей ребра лопаті слід аналізувати тривимірні нестационарні моделі.

У апаратах з ротором спірального типу потрібен додатковий попередній аналіз. На перший погляд, багатократне циклічне повторення взаємодії ротора з плівкою повинно зняти питання про потребу такого аналізу, оскільки абстрактно можна стверджувати про повне вирівнювання параметрів в об'ємі плівки рідини у процесі тривалої роботи ротора. Проте, насправді, кінематичні і динамічні характеристики не схильні до «згладжування», їх розподіли (скалярні і векторні поля) за відносно малої частоти обертання ротора трохи відрізнятимуться від розподілу в одиничних циклах.

Тому проведемо аналіз у рамках макроскопічної моделі руху рідини під дією ротора. Розглянемо макроскопічний баланс сил, що діють на контрольний об'єм рідини розмірами « $\delta \times \delta \times \delta$ » на стику поверхні ротора і внутрішньої поверхні корпусу. Розрахункову схему процесу зображено на рис. 1. Колова лінійна швидкість точок на кромці ротора V де контрольний об'єм проковзує відносно кромки ротора зі швидкістю V_p , тому сумарна швидкість його руху відносно поверхні теплообміну V_n спрямована під кутом ω до швидкості V . Проекція V_n на вісь ротора V_0 є швидкістю переміщення контрольного об'єму в осьовому напрямку.

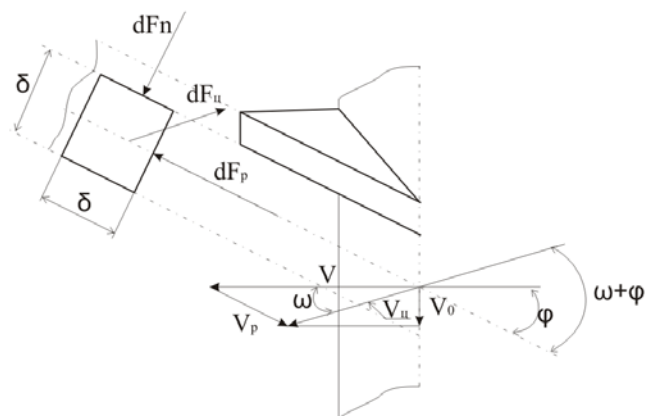


Рис. 1. Розрахункова схема процесу

Тоді баланс сил тертя в проекції на лінію кромки ротора запишеться у вигляді

$$dF_p - dF_n \cos(\omega + \varphi) = 0, \quad (1)$$

де dF_p , dF_n — сили тертя рідини об поверхню ротора і поверхню теплообміну відповідно, спрямовані протилежно відповідним складовим швидкості V_p , V_n .

Виразимо сили, що діють на елемент, через силу тиску P і коефіцієнти тертя рідини на поверхні ротора f_p і поверхні теплообміну f_n :

$$dF_p = P f_p dS_p, \quad (2)$$

$$dF_n = P f_n dS_n, \quad (3)$$

де dS_p — площа поверхні тертя контрольного об'єму об поверхню ротора, m^2 , $dS_p = \delta(\delta - \Delta)$; dS_n — площа поверхні тертя контрольного об'єму об поверхню теплообміну, m^2 , $dS_n = \delta^2$,

звідки за умови $f_p \approx f_n$:

$$\cos(\omega + \varphi) = dF_p / dF_n = dS_p / dS_n = 1 - \Delta / \delta. \quad (4)$$

Неважко помітити, що зі збільшенням складової V_p збільшується кут і величина V_0 . Тобто, чим менша сила тертя рідини об поверхню ротора, тим вища низхідна складова швидкості і відповідно нижча колова складова швидкості.

Як свідчить аналіз, у досліджуваному діапазоні параметрів можна з достатньою точністю прийняти $(1 - \Delta / \delta) \rightarrow 0$. Відповідно $(\omega + \varphi) \rightarrow \pi / 2$. А оскільки в дослідних зразках роторно-плівкових випарних апаратів $\omega = 0,075$ ($4,25^\circ$), то, очевидно $\omega \rightarrow \pi / 2$.

Отже, $V_n \approx V_0$, тобто колова складова швидкості руху контрольного об'єму рідини, здійснюваного під дією ротора, прагне до нуля, і, отже, нею можна нех-

тувати. В той же час одним з основних завдань подальшого аналізу є облік додаткової низхідної складової швидкості руху в плівці рідини V_0 .

Тому як базову модель для порівняльного аналізу результатів експериментального дослідження використовуємо двовимірну модель стаціонарної течії турбулентної квазістабільної плівки, що стікає по вертикальній плоскій поверхні за наявності міжфазної дотичної напруги на поверхні поділу «пара-рідина».

Двовимірне рівняння руху (диференціальне рівняння збереження механічної енергії в плівці) в рамках нуссельтових припущень набуває одно-мірного вигляду:

$$\frac{d}{dy^+}(1 + \varepsilon_\sigma^+) \frac{dv_x^+}{dy^+} + gvv_*^{-3} = 0; \quad (5)$$

за граничних умов

$$v_x^+ = 0 \text{ при } y^+ = 0, (1 + \varepsilon_\sigma^+) \frac{dv_x^+}{dy^+} = 1 - gvv_*^{-3} d^+ \text{ при } y^+ = d^+ \quad (6)$$

де $v_x^+ = v_x/v_*$; $y^+ = yv_*/v$; $\varepsilon_\sigma^+ = \varepsilon_\sigma/v$ — відповідно безрозмірні швидкість, координата і кінематичний коефіцієнт перенесення кількості руху; $v_* = \sqrt{\tau_{CT}/\rho}$ — динамічна швидкість (швидкість тертя).

Профіль безрозмірної швидкості рідини в плівці описуватиметься рівнянням

$$v_x^+ = \int_0^{y^+} \frac{1 - gvy^+v_*^{-3}}{1 + \varepsilon_\sigma/v} dy^+, \quad (7)$$

а плівкове число Рейнольдса розчину —

$$Re_p = 4 \int_0^{d^+} v_x^+ dy^+ = 4 \int_0^{d^+} dy^+ \int_0^{y^+} \frac{1 - gvy^+v_*^{-3}}{1 + \varepsilon_\sigma/v} dy^+. \quad (8)$$

Рівняння перенесення теплоти (диференціальне рівняння збереження внутрішньої енергії) для випадку випарювання запишеться у вигляді

$$\left(\frac{1}{Pr} + \frac{\varepsilon_\sigma^+}{Pr_T} \right) \frac{dT^+}{dy^+} = 1, \quad (9)$$

за граничних умов

$$T^+ = 0 \text{ при } y^+ = 0, \quad (10)$$

де $T^+ = (T_{CT} - T) \cdot c_p (pv^*/q)$ — безрозмірна температура.

Профіль усередненої температури для випадку випарювання з поверхні плівки набуває вигляду

$$T^+ = \int_0^{y^+} \left(\frac{1}{Pr} + \frac{\varepsilon_\sigma^+}{Pr_T} \right)^{-1} dy^+. \quad (11)$$

Безрозмірні форми коефіцієнта тепловіддачі для випадку випарювання з поверхні плівки визначаються так:

$$St^{-1} = \int_0^{d^+} \left(\frac{1}{Pr} + \frac{\varepsilon_\sigma^+}{Pr_T} \right)^{-1} dy^+; \quad (12)$$

$$Nu = St Pr v^* ((g) - 1/3). \quad (13)$$

Для замикання завдання необхідно задати величини кінематичного коефіцієнта турбулентного

перенесення кількості руху і турбулентного числа Прандтля. Всі відомі моделі вихрової в'язкості і турбулентного числа Прандтля напівемпіричні або емпіричні.

Застосування до аналізу зсувних, у тому числі плівкових, перебігу методу аналогії між турбулентним перенесенням імпульсу і енергії, який ґрунтується на чисельному аналізі диференціальних рівнянь перенесення в частинних похідних, вимагає задання турбулентного аналога числа Прандтля в числі умов однозначності крайової задачі. Відповідно, вибір моделі турбулентного числа Прандтля відіграє важливу роль в оцінюванні адекватності результатів аналізу цієї задачі.

Як свідчить аналіз результатів експериментального дослідження теплообміну при випарюванні яблучних соків у плівках, добру відповідність у досліджуваному діапазоні зміни характеристик плівкової течії дає застосування рівняння

$$Pr_t = 1 - 0,1(\delta^+)^{0,28}. \quad (14)$$

Тобто, зі збільшенням безрозмірної товщини плівки і, відповідно, Re_p , значення турбулентного числа Прандтля падає. Цей результат можна пояснити тим, що зі збільшенням δ^+ відносний вплив пристенного шару рідини, в якому величина Pr_t різко зростає, зменшується.

Кінематичний коефіцієнт турбулентного перенесення кількості руху може бути виражений через довжину шляху змішування

$$\varepsilon_\sigma = \ell^2 \left| \frac{\partial v_x}{\partial y} \right|. \quad (15)$$

Якщо записати

$$\frac{\partial v_x}{\partial y} = \frac{\tau}{\rho(v_p + \varepsilon_\sigma)}, \quad (16)$$

то цей вираз для безрозмірного кінематичного коефіцієнта турбулентної в'язкості з використанням поняття довжини шляху змішування набуде вигляду

$$\varepsilon_\sigma^+ = -\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left(1 + \ell^{+2} \frac{\tau}{\tau_{CT}} \right)^{1/2}, \quad (17)$$

де $\ell^+ = \ell v_* / v$ — безрозмірна довжина шляху змішування.

У ядрі плівки довжину шляху змішування задамо виходячи з однофазової моделі в модифікації Ван-Дріста

$$\ell^+ = 0,4 y^+ [1 - \exp(-y^+/26)] \quad (18)$$

Відповідно, розрахункова модель містить рівняння перенесення механічної енергії, внутрішньої енергії, коефіцієнта турбулентної в'язкості, турбулентного аналога числа Прандтля, розподілів дотичної напруги і щільності теплового потоку.

Як свідчить аналіз, значення коефіцієнтів тепловіддачі, отримані з результатів експериментального дослідження, в цілому перевищує значення коефіцієнтів тепловіддачі, розрахованих по однофазовій моделі для вільно стічної плівки.

При цьому слід врахувати, що в плівках рідини, що вільно стікають по вертикальній поверхні, дійсні значення коефіцієнтів тепловіддачі, навпаки, нижчі за розраховані по однофазній моделі через наявність заглушення турбулентності в плівці поблизу поверхні поділу фаз поверхневим натягом.

Очевидно, єдиним поясненням високих значень інтенсивностей теплообміну, зафіксованих у дослідах, може бути динамічна взаємодія ротора із стічною плівкою рідини.

Проведений попередній аналіз підтвердив, що існуючі моделі молекулярного і турбулентного перенесення не дають можливості однозначно описати результати наших експериментальних досліджень. А оскільки рекомендацій щодо розрахунку інтенсивності теплообміну в такому режимі течії рідини в плівках на сьогодні немає, виникає потреба в розробленні відповідної моделі перенесення імпульсу і енергії в плівках рідини, що ґрунтувалася яка базувалася б на адекватних уявленнях про механізм перенесення.

Для числового опису процесу турбулізації рідини в плівці скористаємося поняттям перехідного режиму від ламінарного до турбулентного. Загалом, будь-які зміни інтенсивності тепловіддачі можна описати шляхом маніпуляцій з відповідними моделями турбулентного перенесення. Проте при цьому, очевидно, втрачається фізична адекватність моделей. Адже експериментально доведена наявність у плівкових течіях і ламінарного, і ламінарно-хвильового, і турбулентного режимів, а також відповідних перехідних режимів між ними.

Перехідний від ламінарного до турбулентного режим руху характеризується явищем так званої переміжності (intermittency), за якого течія у відповідній точці течії має то ламінарний, то турбулентний характер. Статистичною характеристикою течії в перехідній від ламінарного до турбулентного режиму області є так званий коефіцієнт переміжності. Він є часткою часу існування турбулентного режиму у відповідній точці перерізу течії. У загальнішому сенсі він розглядається як вірогідність того, що локальний рух є турбулентним.

Коефіцієнт переміжності можна розглядати як міру стійкості ламінарного руху: при 0 ламінарна течія стійка до дії збурень, а при 1 течія повністю нестійка, тому внаслідок дії збурень течія стає розвиненою турбулентною.

Побудуємо модель теплоперенесення у вільно стічній плівці рідини, умовно уявивши її як ділянки, що послідовно чергуються, з ламінарним і турбулентними режимами течії в кожній з них. При цьому, можна дати таку гідродинамічну інтерпретацію переміжності турбулентності:

1. Товщина плівки на ділянках з ламінарним режимом течії відповідає мінімальному значенню.

2. Ділянки з турбулентним режимом течії є хвилями відповідної амплітуди, в межах яких турбу-

лентні вихори внаслідок турбулізуючої дії ротора проникають до твердої поверхні.

Значення коефіцієнта переміжності беремо постійним по товщині усередненої плівки в даному перерізі. Тобто коефіцієнт переміжності повинен задаватися у вигляді функції деяких зовнішніх чинників.

Введемо поняття коефіцієнта переміжності турбулентного руху рідини в плівці у вигляді рівняння

$$\gamma = \frac{F(y^+/\delta^+) - F_1(y^+/\delta^+)}{F_2(y^+/\delta^+) - F_1(y^+/\delta^+)}, \quad (19)$$

де $F(y^+/\delta^+) = \ell^+$ — поточне значення довжини шляху змішування.

Тоді, величина, що визначає міру стійкості ламінарної течії, визначиться як

$$k = 1 - \gamma \quad (20)$$

адже при $\gamma = 0$ матимемо $k = 1$ і ламінарна течія існує, і, навпаки, при $\gamma = 1$ матимемо до $k = 0$, і ламінарна течія поступається розвиненій турбулентній.

Для визначення величини k передбачимо, що величина k підлягає релаксаційній залежності, яка визначає пропорційну залежність відносної зміни величини k і «умовної напруги тертя» на поверхні поділу «рідина-пара» τ_i .

$$dk/d\tau_i \approx -k. \quad (21)$$

Інтегруючи останнє рівняння за граничної умови до $k = 1$ при $\tau_i = 0$, отримаємо

$$k \approx \exp(-\tau_i) \quad (22)$$

і, відповідно,

$$\gamma = 1 - k \approx 1 - \exp(-\tau_i). \quad (23)$$

Тоді, підставляючи вираз (23) у рівняння (19), отримаємо

$$F(y^+/d^+) \approx F_1(y^+/d^+) + [F_2(y^+/d^+) - F_1(y^+/d^+)] [1 - \exp(-\tau_i)]. \quad (24)$$

Функцію $F_1(y^+/\delta^+)$ задамо, допускаючи, що при ламінарному режимі руху в плівці $\epsilon_\tau^+(y^+/\delta^+) = 0$, тобто

$$F_1(y^+/\delta^+) = 0. \quad (25)$$

При розвиненій турбулентній течії довжину дороги змішення задамо, виходячи з одинфазової моделі в модифікації Ван-Дрїста.

Тоді рівняння зміни довжини дорозі змішення в плівці придбає вигляд

$$F(y^+/\delta^+) = \ell^+ \approx 0,4y^+ [1 - \exp(-y^+/26)] [1 - \exp(-\tau_i)]. \quad (26)$$

Відповідно рівняння для визначення зв'язку між товщиною плівки і її витратними характеристиками набуде вигляду

$$Re = 4 \int_0^{\delta^+} y^+ \left[\frac{1 - \frac{g \cdot y}{\tau_1 + \rho \cdot g \cdot \delta}}{\rho} \right] \left[1 + \frac{1}{2} \left[1 + 0,64 y^+ \left[1 - \exp\left(-\frac{y^+}{26}\right) \right] \cdot \left[(1 - \exp(-\tau_i))^2 \right] \right] \right] \left[\frac{y^+ \cdot v}{\tau_1 + \rho \cdot g \cdot \delta} \cdot \frac{y^+ \cdot v}{\tau_1 + \rho \cdot g \cdot \delta} \right]^{-1/2} dy^+ \quad (27)$$

де $\delta^+ = \frac{\delta \cdot \left(\frac{\tau_1 + \rho \cdot g \cdot \delta}{\rho} \right)^{1/2}}{v}$ безрозмірна товщина плівки.

А зв'язок між товщиною плівки і безрозмірною інтенсивністю тепловіддачі запишеться так:

$$\Gamma = \int_0^{\delta^+} \frac{1}{Pr} \left[\frac{1}{2} \left(1 + 0,64 y^2 \left[1 - \exp\left(\frac{-y}{26}\right) \right]^2 \right) \left[(1 - \exp(-\tau)) \right]^2 \right] \left[\frac{\tau + \rho \cdot g \cdot \delta \cdot \frac{y^2 \cdot v}{\rho}}{\tau + \rho \cdot g \cdot \delta} \right]^{1/2} dy \quad (28)$$

$St = (\Gamma^+)^{-1}$ — безрозмірне плівкове число Стентона;

$Nu = St \cdot \sqrt{\frac{\tau_i + \rho \cdot g \cdot \delta}{\rho}} \cdot Pr \cdot g^{1/3} \cdot v^{1/3}$ — безрозмірне, плівкове число Нуссельта.

За наведеною методикою для результатів експериментального дослідження розраховано значення «умовної напруги тертя», що відповідають отриманим у досліді значенням інтенсивності тепловіддачі. Для цього, розв'язуючи систему рівнянь (27), (28) щодо з підстановкою в них значень плівкових чисел Нуссельта і Рейнольдс, розрахованих з використанням результатів, отриманих в дослідженні, знаходили експериментальні значення «умовної напруги тертя». (При цьому застосовували систему Mathcad-2000).

При апроксимації дослідних даних щодо набутих значень «умовної напруги тертя» використовували метод «аналізу розмірності».

У загальному вигляді залежність «умовної напруги тертя» за постійних значень кількості обертів ротора і величини зазору між ротором і поверхнею теплообміну, по якій стікає плівка рідини від параметрів течії може бути виражена у вигляді

$$\tau_i = f(\Gamma_v, \rho, v, g, \sigma) \quad (29)$$

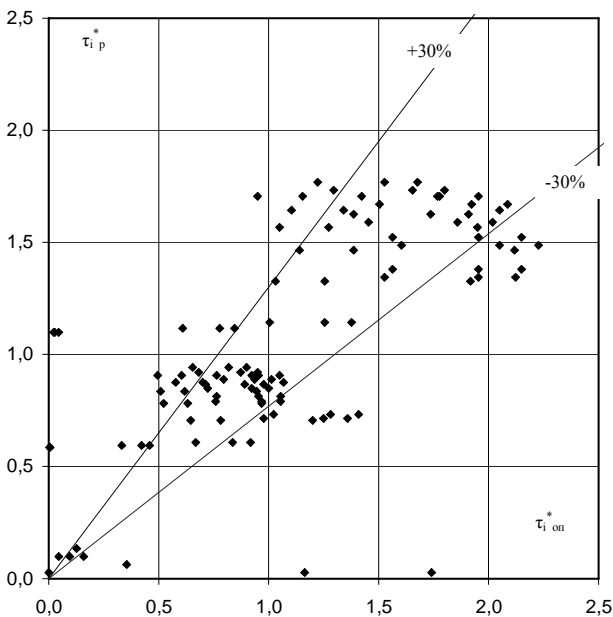


Рис. 2. Порівняння дослідних і розрахованих за формулою (32) значень τ_i^*

В результаті аналізу розмірнісної залежності (3.33) була отримана безрозмірна залежність

$$\tau_i^* = f_1(Re_d, Ar_b) \quad (30)$$

Але оскільки в діапазоні зміни фізичних властивостей рідини, що були в досліді, з достатньою точністю величину хвильового числа Архімеда Ar_b можна подати у вигляді функції числа Прандтля Pr , то залежність (30) при апроксимації результатів експериментального дослідження була замінена залежністю вигляду

$$\tau_i^* = f_1(Re_d, Pr) \quad (31)$$

Відповідну залежність отримано у вигляді

$$\tau_i^* = 6,2 \cdot 10^{-5} Re_d^{0,902} Pr^{1,32} \quad (32)$$

(Коефіцієнт детерміації — 0,768).

На рис. 2 показано порівняння значень «умовної напруги тертя», розрахованих за рівнянням (32), з визначеними згідно з наведеною вище методикою на базі експериментальних даних.

Як впливає з аналізу, весь діапазон розбіжних характеристик рідини в плівці умовно можна поділити на дві області:

1. Область слабкої взаємодії ротора з плівкою рідини.
2. Область сильної взаємодії ротора з плівкою рідини.

Як межу областей можна взяти значення середньої товщини плівки, що довінює ширині зазору між ротором і поверхнею теплообміну. Відповідно, якщо товщину вільно стічної плівки у ламінарно-хвильовому режимі руху рідини визначити з рівняння П.Л. Капіці

$$d_{л-в} / (v^2/g)^{1/3} = 0,848 \cdot Re_d^{1/3} \quad (33)$$

те рівняння початку області сильної взаємодії ротора і плівки визначиться рівнянням

$$Re_d^{1/3} (v^2/g)^{1/3} = 2,36 \cdot 10^3 \quad (34)$$

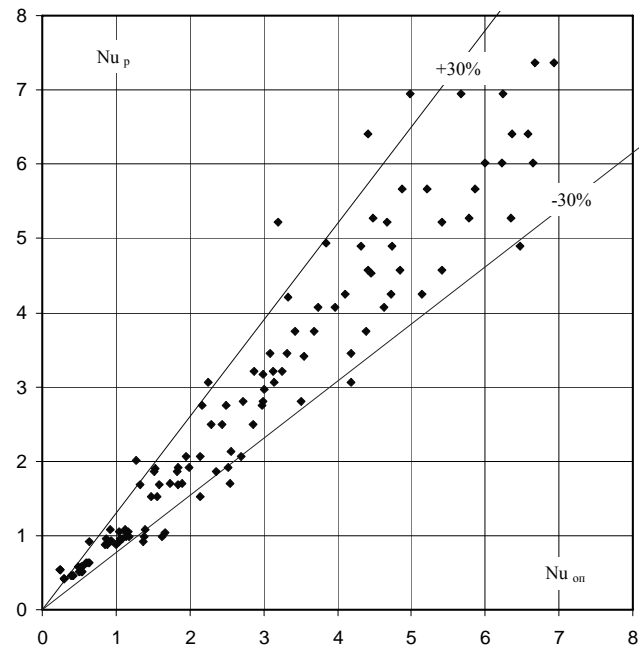


Рис. 3. Порівняння дослідних і розрахованих згідно з пропонованою моделлю значень Nu

або

$$\Gamma_v = 3,22 \cdot 10^{-8} \cdot v^{-1}. \quad (35)$$

Тобто, зі збільшенням в'язкості значення густини зрошування, за якої починається інтенсивна турбулізація, зменшується. А це означає, що за високих значень в'язкості практично у всьому діапазоні зміни витрати рідини режим її руху в роторно-плівкових апаратах з ротором спірального типу є турбулентним.

На рис. 3 показано порівняння значень Nu , розрахованих за результатами експериментального дослідження, і значень Nu , розрахованих за пропонованою методикою при підстановці значень ϕ згідно з (32). Можна зробити висновок про задовільну відповідність експериментально визначених і розрахованих за пропонованою методикою значень безрозмірного коефіцієнта тепловіддачі.

Перелік позначень, використаних у статті:

α — коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

δ — середня товщина плівки продукту, м;

Δ — радіальний зазор між кінцями лопатей і робочою поверхнею, м;

e_y, e_q — кінематичні коефіцієнти турбулентного перенесення імпульсу і енергії, м²/с;

$\varepsilon_\sigma^+, \varepsilon_q^+$ — безрозмірні кінематичні коефіцієнти турбулентного перенесення імпульсу і енергії $\varepsilon_\sigma^+ = e_q/v_p$; $= e_q/a_p$.

θ — крайовий кут змочування продуктом робочої поверхні, град;

λ — коефіцієнт теплопровідності розчину, Вт/(м·К);

μ — динамічний коефіцієнт в'язкості продукту, Па·с;

ν — кінематичний коефіцієнт в'язкості розчину, м²/с;

ρ — густина, кг/м³;

σ — поверхневий натяг, Н/м;

ϕ — умовна напруга тертя на поверхні плівки, Н/м²;

$\phi^* = \phi/(\rho g (v^2/g)^{1/3})$ — безрозмірна «умовна напруга тертя»;

ω — кутова швидкість обертання ротора с⁻¹;

a_p — коефіцієнт температуропровідності розчину, м²/с;

c — питома теплоємність, Дж/(кг·К);

g — прискорення вільного падіння, м/с²;

Δhfg — питома теплота випарування, Дж/кг;

— довжина шляху змішування, м;

q — густина теплового потоку, Вт/м²;

T — температура, К;

t — температура, °С;

Δt — середній температурний напір, К;

T^+ — безрозмірна температура, $T^+ = (T_{ct} - T) c_p c_p v^*/q$;

v^* — динамічна швидкість, м/с;

v, v_x, v_y, v_z — швидкість і її компоненти, м/с;

y^+ — безрозмірна координата; $y^+ = yv_{*}/v_p$;

x, y, z — декартові координати, м;

Γ_v — об'ємна густина зрошування продуктом робочої поверхні, м²/с;

Ar_B — хвильове число Архімеда, $Ar_B = \sigma^3/(g c^3 v^4)$;

Nu — безрозмірне число Нуссельта;

Re_d, Re_p — безрозмірне число Рейнольдса плівково-визначальний розмір — еквівалентний діаметр плівки), $Re_d = Re_p = 4\Gamma/\mu$;

$Pr = \nu/a$ — безрозмірне число Прандтля;

$St = \alpha/(c_p v_{*})$ — число Стентона.

Висновок. В результаті комплексного експериментального та аналітичного дослідження розроблена модель динамічної взаємодії спірального ротора з плівкою томато-продукту в роторно-плівкових випарних апаратах, яка базується на введенні поняття «умовної напруги тертя» на поверхні плівки.

Розроблена математична модель процесів перенесення імпульсу та енергії в плівках томато-продуктів, що базується на введенні поняття черговості турбулентності.

Т.А. РЕПІЧ, канд. екон. наук.
Національний університет харчових технологій

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ АСОРТИМЕНТОМ НА СУЧАСНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ В УМОВАХ КРИЗИ

У статті розглядаються способи оптимізації асортименту продукції промислового підприємства з метою скорочення загальних витрат. За допомогою розглянутих способів підприємство може опрацювати різні стратегії підтримки або відновлення балансу свого продуктового портфеля.

Ключові слов: Скорочення витрат, структура асортименту, оптимізація, управління асортиментом.

В статье рассматриваются способы оптимизации ассортимента продукции промышленного предприятия с целью сокращения общих расходов. С помощью рассмотренных способов предприятие может проработать разные стратегии поддержки или возобновления баланса своего продуктового портфеля.

Ключевые слова: сокращение расходов, структура ассортимента, оптимизация, управление ассортиментом.

Більшість компаній в умовах економічного спаду і нестабільності на світових ринках починають шукати «рецепт втечі від кризи» у зниженні витрат, і це — абсолютно правильне рішення. Керівники впевнені в необхідності оптимізації витрат, але вжиті заходи часто не приносять бажаних результатів. Занадто великою виявляється спокуса віддати перевагу заходам, спрямованим на швидкий результат, який шкодить досягненню стратегічних цілей. Щоб не зазнати такого розчарування, скорочувати треба зайві, неефективні витрати, а не інструменти одержання доходу.

Серед потенційних напрямів скорочення витрат можна назвати наступні: скорочення витрат на персонал; оптимізація використання ресурсів; оптимізація вартості залучення ресурсів; зростання ефективності виробництва; аутсорсинг; оптимізація стратегії продажів; оптимізація асортименту продукції.

Асортиментна політика — одна з найважливіших складових конкурентної стратегії компанії. Тому пошук способів економії варто починати з асортименту продукції або послуг. Оптимізація асортименту випускаємої продукції є одним зі способів підвищення ефективності роботи компанії. Чому таким важливим є оптимальний асортиментний портфель? Причин тому декілька. Оптимальний портфель заощаджує ресурси для розвитку нових напрямків і підвищення мобільності підприємства. При правильній оптимізації можливе значне збільшення прибутку при незмінній або меншій кількості продуктів, що випускаються. Які етапи включає цей процес, які методи оптимізації застосовуються на практиці і на що варто звернути увагу при зміні асортименту?

У процесі оптимізації асортименту виділимо три основних етапи.

I етап. Аналіз динаміки ринку і структури попиту. Підрозділ, відповідальний за управління асортиментом (як правило, це маркетингова служба), із встановленою періодичністю ініціює процес оптимізації.

Маркетинговий підрозділ аналізує динаміку продажів по товарних групах (окремим товарам), оцінює перспективи зміни попиту і конкуренції в сегментах, на яких представлена або куди збирається виходити компанія зі своєю продукцією (послугами). На підставі отриманої інформації фахівці з маркетингу готують варіанти рішень по зміні структури асортименту, спрямовані на підвищення задоволеності споживачів, зміцнення конкурентної позиції компанії і збільшення частки ринку.

II етап. Фінансовий аналіз розроблених пропозицій. Планово-економічна служба аналізує фінансові показники по товарних групах або окремих товарах і виносить свої висновки про зміну структури асортименту.

III етап. Затвердження остаточного варіанта структури асортименту. Робоча група, у яку входять фахівці маркетингового, економічного та інших підрозділів (виробництво, закупівля, логістика), розробляє і узгоджує остаточний варіант рішення по оптимізації асортименту продукції компанії.

Процес оптимізації структури асортименту варто починати з визначення цілей компанії. Такими цілями в короткостроковому періоді можуть бути необхідність введення нових позицій або, навпаки, скорочення асортименту, коригування обсягів виробництва та цін.

Оптимальна структура асортименту повинна забезпечувати максимальну рентабельність і достатню стабільність компанії в цілому. На нашу думку, для більшості українських підприємств основ-

ний резерв оптимізації закладений у скороченні асортиментного ряду. Занадто великий асортимент погано позначається на економічних показниках: з'являється багато позицій, які за обсягами продажів не можуть вийти навіть на рівень беззбитковості. Крім того, великий асортимент змушує розпорошувати сили компанії, утрудняє грамотну позицію товару клієнтові.

Потрібно обов'язково враховувати, що асортимент не можна розширювати бездумно. Адже кожен продукт в асортименті віднімає ресурси підприємства, однак продукти з часом втрачають актуальність, застарівають, тому робота з інвентаризації повинна проводитися регулярно на основі новітніх методик оцінки ролі продукту і його перспективності на ринку. Оптимізація асортименту являє собою ухвалення компромісного рішення, що найбільш повно враховує фінансові очікування, виробничі і логістичні можливості та обмеження, а також сформовану на ринку ситуацію.

При ухваленні рішення про структуру асортименту необхідно керуватися не тільки міркуваннями економічної ефективності, але і враховувати стратегічні інтереси. Зрозуміло, що якщо сьогодні скоротити частку низькорентабельних товарів, то завтра стануть неминучими втрати покупців, які хочуть купувати всі товари в одного постачальника. Тому підприємства змушені балансувати між власними інтересами та інтересами клієнтів.

Не можна забувати також, що продуктової портфель підприємства впливає не тільки на прямий рівень продажів, але і на такі фактори як репутація компанії, довгострокова лояльність до марки і пізнаваність основного бренду. Деякі продукти при однобічній оцінці асортименту можуть не виправдано зникнути з портфеля підприємства, що позначиться на його репутації. У зв'язку із цим потрібно вміти сполучати тверезий кількісний розрахунок з урахуванням неочевидних довгострокових факторів.

Можна з великою долею ймовірності припустити, що виробничі витрати досить чутливі до розмірів асортименту. Значить, будь-яке розширення асортименту неминуче спричиняє збільшення витрат. У більшості випадків зі збільшенням асортименту витрати збільшуються — зазвичай на 20-35% на одиницю продукції при подвоєнні загального асортименту. При цьому позитивні фінансові результати від змін в асортименті можуть мати місце тільки в майбутньому.

Однак, надмірне скорочення асортименту, крім зниження виробничих витрат може також спричинити різке зниження продажів, тому що вузький асортимент не буде задовольняти споживачів. Необхідно так збалансувати асортимент, щоб підприємство не несло зайвих виробничих витрат, а споживач лишився задоволеним запропонованим йому вибором продукції.

Тому ми розглянемо в цій публікації основні методи кількісного дослідження продуктового портфеля, їхні особливості, переваги і недоліки. Для проведення повноцінного аналізу асортименту бажано сполучати кілька відомих і універсальних методів, можливих для адаптації до ситуації в конкретній компанії.

АВС/XYZ аналіз стосовно до продуктового портфеля. Ідея методу АВС-аналізу ґрунтується на підставі принципу Парето: «за більшість можливих результатів відповідає відносно невелике число причин». Даний метод аналізу отримав велике розповсюдження, завдяки своїй універсальності, простоті і ефективності. Тому про нього — зовсім коротко.

За допомогою цього аналізу групи продукції розбиваються за ступенем впливу на загальний результат. Принципом групування може бути розмір виручки, одержаної від конкретної групи продуктів, обсяг продаж або інші параметри.

Метод оцінки продуктового портфеля Дібба-Сімкіна. Одержана в результаті даного аналізу класифікація товарів дозволяє визначити основні напрямки розвитку окремих товарних груп, виявити пріоритетні позиції асортименту, оцінити ефективність структури асортименту і шляхи її оптимізації. Для аналізу використовуються дані про динаміку продажів і змінних витрат. На основі співвідношення обсягу продажів у вартісному вираженні і внеску в покриття витрат товар відноситься до однієї з 4 груп. Внесок у покриття витрат — це виручка від реалізації мінус змінні витрати.

Аналіз продуктового портфеля за адаптованою матрицею BCG. Матриця Бостонської Консалтингової Групи є класичним універсальним інструментом для аналізу асортиментного портфеля організації. За результатами побудови матриці BCG виділяються чотири групи товарів: «зірки», «дійні корови», «важкі діти» і «собаки». Для кожної із цих груп існує власна пріоритетна стратегія розвитку.

Часто неможливо побудувати класичну матрицю BCG через відсутність необхідних даних і виникнення складностей у визначенні частки ринку конкурентів. Адаптована матриця будується на підставі внутрішньої інформації компанії і дозволяє зробити повноцінний аналіз і висновки. Вона будується за такими принципами:

- Вісь X — частка продажів продукту в обсязі продажів компанії;
- Вісь Y — темпи росту продажів продукту стосовно попереднього періоду;
- Точку розподілу товарів за темпами зростання можна визначити як середній темп зростання всіх продуктів компанії за оцінюваний період.
- Точка розподілу товарів за розміром частки в обсязі продажів визначається шляхом експертної оцінки після нанесення на матрицю всіх товарів.

— Розмір точки відображає внесок даного товару в прибуток компанії.

Метод оптимізації структури асортименту при існуванні ряду обмежень. Ще один спосіб визначення оптимальної структури асортименту — використання математичних методів, зокрема методу лінійного програмування.

Процедуру оптимізації асортименту випускаємої продукції можна звести до вирішення системи нерівностей (обмежень). Серед найбільш характерних обмежень, властивій більшості компаній, виділяють наступні: **обмеження по обсягу продажів**, по виробничих потужностях, **по доступності ресурсів**, **за ціною**. Можуть бути розраховані і інші види обмежень.

Останнє, що необхідно визначити — це критерій оптимізації для запропонованих обмежень. Як правило, показником, щодо якого проводиться оптимізація структури асортименту, виступає максимум прибутку компанії.

Оцінка за методом Боровинського. Розглянути вище методики аналізу асортименту є більшою мірою класифікаторами наявного асортименту і не відповідають на всі поставлені запитання (наприклад, аналіз отриманих ззовні пропозицій). Запропонована Дмитром Боровинським [1] концепція дозволяє робити комплексний аналіз досліджуваного сегмента ринку, зокрема визначити рівень продажів конкурентів і визначити місткість ринку в цілому.

У розробці Боровинського використовуються методи структурного, факторного, порівняльного аналізу, комплексний метод дослідження асортиментної політики, а також економіко-математичні, статистичні методи і методи вирішення завдань оптимізації із застосуванням комп'ютерного аналізу.

На кількість продажів впливає багато непорівнянних факторів, таких як рівень цін, наявність реклами на телебаченні, зовнішній вигляд та ін. Врахувати всі ці фактори, можна лише запровадивши шкалу оцінки кожного параметра (наприклад, три- або п'ятибальну). Першим кроком формалізації асортиментної політики є аналіз наявного асортименту, тому автор методики пропонує свою схему як доповнення до аналізу. Оцінюється кожен товар, отримується таблиця значень параметрів за всім наявним асортиментом [1].

Метод «директ-костинг». Одним з найважливіших факторів успіху конкурентної боротьби компанії є лідерство у витратах, і, як наслідок — мобільність ціни, що дозволяє швидко реагувати на дії конкурентів, знизити негативні наслідки сильних цінових «ударів» ринку, а також залишає можливість отримати прибуток при найнесприятливішій поточній ринковій ситуації. Тому, керуючи асортиментом, крім досягнення відповідності асортименту цілям і ресурсам бізнесу, необхідно забезпечити його відповідність умовам зовнішнього середовища (ринку) розглянутого суб'єкта.

Новий підхід до розв'язання асортиментної задачі заснований на системі «директ-костинг». Сутність системи — в організації роздільного обліку змінних і постійних витрат і використання його переваги з метою підвищення ефективності управління. При розробці асортиментної політики виходять із наступних міркувань — якщо проміжний маржинальний дохід покриває хоча б частину постійних витрат підприємства, то даний вид продукції гідний лишатися в асортименті. При цьому перевага віддається тим видам продукції, які беруть на себе більше постійних витрат.

Комплексна оцінка асортименту Варламова. Відповідно до концепції А.Варламова, проблему формування асортименту необхідно розглядати з урахуванням всіх трьох змінних — цілей бізнесу, його ресурсів і зовнішніх умов. Оскільки існуючі методики орієнтуються тільки на першу із змінних, то виникла потреба створити комплексну методику, що враховує всі змінні [2].

Для цього має сенс увести новий показник — коефіцієнт адекватності ринку. Він характеризує ступінь наближення аналізованого товару до якогось еталонного зразка, що буде відповідати найбільш конкурентоспроможному на ринку виробу. Інтерпретація показника рівня адекватності ринку наступна: дана позиція асортименту тим більше ефективна для підприємства, чим ближче значення її показника адекватності ринку до еталона. Автор методики вважає, що чим ближче до одиниці коефіцієнт адекватності ринку по кожній асортиментній позиції підприємства, тим більше стійко воно функціонує.

Аналіз взаємозалежного попиту на основі кореляції. Асоціативний аналіз (або аналіз взаємозалежного попиту) краще використовувати на початку діяльності компанії, при плануванні асортименту і при наявності чітких логічних груп. Згодом, з появою результатів продажів і при відсутності чітких логічних груп правильним буде визначити взаємозалежний попит. Подальше дослідження відбувається за допомогою кореляційно-регресивного аналізу.

Метод експертних оцінок. Найпоширеніший із способів аналізу асортименту, але не завжди найбільш ефективний. Перевага використання методу експертних оцінок полягає в тому, що він дозволяє враховувати і оцінювати неформалізовані фактори, наприклад перспективність товару.

При оптимізації структури асортименту потрібно знайти рішення, яке буде найкращим з погляду збільшення прибутку, доступності ресурсів, росту продажів і завоювання нових ринків. До складу експертної комісії, на наш погляд, доцільно вводити наступний персонал підприємства:

— Головного технолога або технолога асортиментного напрямку, що відповідає за технологічну розробку і узгодження нового продукту;

— Менеджера по маркетингу і продажам, який оцінює попит на схожу продукцію, і формулює рекламну підтримку нового товару;

— Логістика або менеджера відділу постачання. Він повинен проаналізувати забезпеченість потрібними сировиною і матеріалами за налагодженими контактами, транспортними домовленостями;

— Бухгалтера або фінансового менеджера, що оцінює перспективну прибутковість (рентабельність) продажів нового товару.

Формування оптимальної структури асортименту в рамках цього методу зводиться до визначення набору показників, які експерти оцінюють за десятибальною шкалою. Як правило, у якості напрямків аналізу вибираються перспективність, економічна привабливість товарної позиції, доступність ресурсів. Рішення про набір показників для кожного напрямку приймає відповідний підрозділ.

Після того як показники відібрані, експерти з відповідних підрозділів присвоюють їм бали. Потім по кожній аналізованій товарній позиції розраховуються сумарний бал з урахуванням її вагомості, а також питома вага в загальній сумі балів. За підсумками ранжирування, проведеного експертною комісією, на підставі виділених критеріїв (список критеріїв може бути розширений до кількості, необхідної для ухвалення остаточного рішення) необхідно вивести інтегральний коефіцієнт по кожному виду нової продукції. Відповідно до результату і формується структура асортименту.

При використанні будь-якого із способів аналізу асортименту необхідно враховувати час присутності

товару на ринку, аналіз представленості даної продукції у конкурентів та існуючі ринкові тенденції, наприклад, зростання популярності прихильників здорового способу життя диктує виробникам наявність спеціальних продуктів в асортименті.

Висновки. Провівши таку діагностику свого асортименту, підприємство може визначити перспективи розвитку асортименту на найближчий період, знайти напрями підвищення його прибутковості, опрацювати різні стратегії підтримки або відновлення балансу свого продуктового портфеля.

На закінчення потрібно відзначити, що ефективність оптимізації асортименту залежить від того, наскільки регулярно вона проводиться. Структура асортименту повинна переглядатися приблизно раз у півроку, а при зміні маркетингової політики — негайно.

Крім оптимізації існуючого асортименту необхідно брати до уваги перспективи виведення на ринок нових продуктів. І вже на етапі планування варто враховувати, який вплив на діяльність компанії вчинить просування на ринок нового товару.

ЛІТЕРАТУРА

1. Боровинский Д. Что продавать? // «Маркетолог». — № 2. — 2004. — С.22-25
2. Варламов А.С. Совершенствование управления асортиментом // Известия ЧНЦ — 2002. — С.18-21.
3. Николаева С.А. Особенности учета затрат в условиях рынка: система «директ-костинг»: теория и практика. — М.: Финансы и статистика. 1993.
4. www.zhuk.net/articles.asp

Надійшла до редколегії 20.02.2009 р.

УДК 338.33

Н.П. СКРИГУН, канд. екон. наук.

Національний університет харчових технологій

ВИКОРИСТАННЯ ПОРТФЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ В МАРКЕТИНГОВОМУ СТРАТЕГІЧНОМУ ПЛАНУВАННІ

Розглянуто сутність, принципи та задачі портфельного аналізу в системі стратегічного аналізу, досліджено основні параметри та характеристики сучасних методів матричного аналізу, встановлено переваги та недоліки основних матричних моделей.

Ключові слова: портфельний аналіз, стратегічний аналіз, портфельні матриці, стратегічне маркетингове планування.

Рассмотрена сущность, принципы и задачи портфельного анализа, в системе стратегического анализа, исследованы основные параметры и характеристики современных методов матричного анализа, установлены преимущества и недостатки основных матричных моделей.

Ключевые слова: портфельный анализ, стратегический анализ портфельные матрицы, стратегическое маркетинговое планирование.

Сучасні умови функціонування підприємств характеризуються високою динамічністю зовніш-

нього середовища, що обумовлює необхідність використання в процесі стратегічного маркетингово-

© Н.П. Скригун, 2009

го планування гнучких інструментів, які дозволятимуть вчасно та адекватно реагувати на зміни в економіці. Невід'ємною складовою стратегічного маркетингового планування є стратегічний аналіз, зокрема, портфельний аналіз, який в умовах вітчизняних реалій (відсутність надійних правових гарантій, нестабільність законодавства, нестача у підприємств власних коштів на розвиток, низький рівень ділової активності та технічної оснащеності, проблеми зі збутом продукції) набуває особливої актуальності. В умовах, коли швидкі зміни в маркетинговому середовищі, нечіткість, часткова формалізація інформації призводить до її швидкого застарівання за час оброблення та прийняття управлінських рішень, виникає потреба в удосконаленні інструментів стратегічного аналізу задля можливості вчасного корегування стратегій підприємства.

Проблеми розроблення теоретичних основ та практичних рекомендацій щодо проведення стратегічного аналізу досліджували такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Ансофф І., Дем'янова О., Єфремов В., Карлофф Б., Портер М., Саєнко М., Стрікленд А, Томпсон А., Шендель Д., Хассі Д., Хаттен С., Циганкова Т. та інші. Особлива роль в розвитку портфельного аналізу належить колективним дослідженням консалтингових фірм McKinsey&Co, Arthur D.Little, BCG. Однак, незважаючи на існуючі напрацювання в області використання діагностичних підходів в системі стратегічного аналізу, залишаються невирішеними ряд важливих аспектів, що стосуються використання аналітичних методів при плануванні стратегій господарського портфеля підприємства. Незавершеність наукових розробок щодо вказаних проблем визначила мету даного дослідження, яка полягає у виявленні основних параметрів та характеристик сучасних методів матричного аналізу, а також у встановленні переваг та недоліків моделей з метою їхнього подальшого широкого використання в стратегічному аналізі вітчизняних підприємств.

Вихідним етапом стратегічного маркетингового планування є стратегічний аналіз, зокрема, аналіз господарського портфеля підприємства. Під час стратегічного аналізу підприємство оцінює перспективи того чи іншого напрямку діяльності, зокрема, визначає ефективність окремих стратегічних господарських підрозділів (СГП) задля прийняття ефективного рішення щодо стратегій їхнього подальшого розвитку. Портфельний аналіз виступає інструментом стратегічного аналізу, з допомогою якого керівництво підприємства може виявити і оцінити свою господарську діяльність та обґрунтувати доцільність вкладання коштів в найбільш прибуткові та перспективні напрями та зменшити (припинити) інвестування в неефективні СГП. Для ефективної діяльності портфель підприємства має бути збалансованим, тобто містити в собі як СГП, які відчувають потребу в коштах для подальшого розвитку, так і СГП, які мають

певний надлишок капіталу. Тому мета портфельного аналізу полягає в узгодженні бізнес-стратегій і розподілі фінансових ресурсів між відповідними стратегічними господарськими підрозділами. Предметом портфельного стратегічного аналізу є «процес побудови і балансування портфеля бізнесів» [2, с. 151]. Погоджуємося, що побудова матриць має ґрунтуватися на таких принципах [3]: об'єктивності; інформативності; достовірності; єдності та узгодженості; співставності; практичної значимості. На осях матриці повинні відображатися ті чинники, між якими немає суворої функціональної залежності, інакше втрачається сенс побудови матриць — формування оптимального портфеля. Портфельний аналіз сприяє вирішенню таких задач: узгодження стратегій існуючих бізнес-одиниць; розподіл ресурсів між підрозділами; аналіз портфельного балансу тощо.

Вважаємо, що проведення портфельного аналізу має визначатися такою послідовністю етапів: 1) всі види діяльності підприємства (номенклатура продукції) поділяються на стратегічні господарські підрозділи; 2) обираються ті СГП, які позиціонуватимуться на матрицях аналізу бізнесового портфеля; 3) визначаються параметри матриць, за якими буде проводитися портфельний аналіз, з метою уточнення змінних, за якими здійснюватиметься аналіз; 4) визначається відносна конкурентоспроможність окремих СГП і перспективи розвитку відповідних ринків; 5) будуються і аналізуються портфельні матриці задля уточнення поточного стану бізнесового портфеля; 6) розробляється стратегія для кожного СГП.

З метою прийняття виважених стратегічних рішень керівництво повинно здійснити оцінювання всіх бізнес-одиниць на предмет їхньої відповідності корпоративній стратегії шляхом співставлення прибутку і ресурсів, необхідних кожному СГП. Таке оцінювання здійснюють з допомогою матриць портфельного аналізу, за допомогою яких бізнес-одиниці порівнюють за такими критеріями, як темпи приросту обсягів реалізації, відносна конкурентна позиція, частка ринку, привабливість галузі, стадія життєвого циклу товару тощо. Зауважимо, що при цьому матриці аналізу бізнес-одиниць самі по собі не є інструментом прийняття рішення, оскільки лише показують стан СГП, який необхідно враховувати при прийнятті рішень.

Залежно від планів підприємства щодо реалізації певної стратегії, цілей його подальшого розвитку обираються підходи до оцінювання конкурентних позицій бізнес-одиниць та привабливості ринку. Проведений аналіз показав, що найбільш вживаними є такі матричні методи портфельного аналізу: портфельна матриця Boston Consulting Group (матриця BCG); матриця General Electric-McKinsey; метод Дібба-Сімкіна; матриця ADL/LC; модель Shell/DPM; модель Hofer/Schendel; матриця Д. Абеля; модель Томпсона-Стрікленда; матриця

Hussey; матриця Стейнера; матриця MACS. Основні параметри та характеристики окремих матриць узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1

Основні параметри та характеристики окремих методів матричного аналізу

Матриця	Основні характеристики	Формат матриці	Показники, за якими визначається позиція бізнес-одиниці	
			вісь X	вісь Y
Boston Consulting Group (BCG)	Аналіз темпів зростання (приросту)	2x2	Відносна частка ринку	Темп приросту ринку
Розширена концепція BCG	та частки ринку	2x3		
General Electric-McKinsey	Аналіз привабливості ринку та конкурентоспроможності	3x3	Конкурентоспроможність бізнес-одиниці	Привабливість ринку (галузі)
Дібба-Сімкіна	Аналіз обсягів реалізації та фінансового вкладу в покриття витрат	2x2	Виручка від реалізації	Маржинальний прибуток
Артура Д. Лігла (ADL/LC)	Аналіз життєвого циклу галузі та відносного стану на ринку	5x4	Конкурентна позиція бізнес-одиниці	Стадія життєвого циклу галузі
Shell/DPM	Аналіз привабливості капіталоемної галузі залежно від конкурентоспроможності	3x3	Сила позиції бізнесу	Привабливість галузі
Hofer/Schendel	Аналіз еволюції ринку та конкурентної позиції	4x4	Конкурентна позиція бізнес-одиниці	Стадія життєвого циклу галузі
«Товарино» (матриця Ансоффа)	Аналіз стратегії відносно ринків та товару	2x2	Ринок	Товар
Томпсона-Стрікленда	Аналіз темпів росту ринку та конкурентної позиції	2x2	Конкурентна позиція бізнес-одиниці	Темпи росту ринку
Hussey	Аналіз конкурентної позиції бізнес-одиниці в динаміці	-	Середній темп росту обсягів реалізації	Середній темп росту глобального попиту

Порівняльна характеристика вказаних портфельних методів стратегічного аналізу дозволила встановити основні їхні переваги та недоліки, а також головну мету використання (табл. 2).

Таблиця 2

Головні переваги та недоліки найбільш поширених методів матричного аналізу

Матриця	Мета методу	Переваги	Недоліки
1	2	3	4
Boston Consulting Group (BCG)	Вироблення стратегій підтримання чи відновлення балансу продуктового портфеля	-простота, доступність, наочність; -можливість збалансувати портфель бізнесу в плані фінансування, поєднати види діяльності; -дає можливість визначити стратегії подальшого розвитку бізнес-одиниць	-незначна кількість аналізованих чинників, значення яких переоцінене; -ігнорування багатьох параметрів, що впливають на прибутковість бізнесу; -увага акцентується лише на фінансових потоках, розподіл інвестицій між СГП відповідно до їх позиції на матриці; -можуть бути труднощі, пов'язані з оцінкою і визначенням масштабів ринку, ринкової частки підприємства і темпів зростання ринку; -не враховується взаємозв'язок окремих бізнес-одиниць (синергетичний ефект)
General Electric-McKinsey	Визначення пріоритетів для інвестування	-ширші можливості стратегічного вибору порівняно з матрицею BCG; -гнучкість; -широта застосування	-складність вибору границь і масштабів ринку, велика кількість критеріїв; -суб'єктивність оцінок; -статичний характер моделі; -занадто загальний характер рекомендацій, тому вони потребують подальшого уточнення
Дібба-Сімкіна	Виявлення пріоритетних асортиментних позицій, оцінення структури асортименту та визначення шляхів її оптимізації	-встановлення фінансового вкладу бізнес-одиниць в покриття витрат; -дає можливість сформулювати оптимальний бізнес-портфель	-врахування лише двох чинників; -існує певна складність у визначенні точної величини змінних та постійних витрат окремих бізнес-одиниць; -рекомендовані стратегії потребують подальшого уточнення
Артура Д. Лігла (ADL/LC)	Визначення напрямів диверсифікації діяльності	-широкий діапазон вибору стратегій (24 уточнені стратегії ADL); -матриця корисна для високотехнологічних галузей, життєвий цикл товару яких дуже короткий	-матриця занадто схематична, тому потребує творчих рішень; -не дає рекомендацій щодо можливих стратегій для галузей, життєвий цикл яких потрібно змінити
Shell/DPM	Визначення напрямів перерозподілу грошових потоків	-поєднує якісні і кількісні показники в єдину параметричну систему; -порівняно з моделлю GE/McKinsey більше уваги акцентовано на кількісних параметрах бізнесу; -велика кількість змінних дозволяє здійснити глибокий і системний аналіз чинників	-складність вибору із значної кількості змінних найбільш значимих; -відсутність критерію, за яким можна визначити необхідну для аналізу кількість змінних; -ускладненість присвоєння питомої ваги змінним при конструюванні шкал матриці; -складно порівнювати бізнес-одиниці, які належать до різних галузей, оскільки змінні занадто прив'язані до галузі; -використання обмежене капіталоемними галузями промисловості (хімія, металургія тощо)
Hofer/Schendel	Визначення типу бізнес-портфеля та його збалансованості	-дає можливість визначити ідеальний бізнес-портфель	-приспосована в основному для корпоративного бізнес-портфеля або взаємозалежних видів бізнесу

Закінчення табл. 2

1	2	3	4
«Товарино» (матриця Ансоффа)	Вибір стратегії бізнес-одиниці в умовах зростаючого ринку	-простота; -наочність	-врахування лише двох чинників; -одностороння орієнтація на зростання
Томпсона-Стрікленда	Вибір стратегії залежно від динаміки росту ринку та конкурентної позиції бізнес-одиниці	-гнучкість; -комплексний розгляд бізнес-одиниць	-врахування лише двох чинників; -суб'єктивність оцінок; -відсутність критерію, за яким можна визначити необхідну для аналізу кількість змінних
Hussey	Визначення еволюції конкурентної позиції бізнес-одиниці на ринку	-можливість використання в динамічному режимі	-врахування лише двох чинників; -відсутність рекомендацій щодо конкретної стратегії; -одностороння орієнтація на зростання

Отже, головними перевагами портфельних методів стратегічного аналізу є: комплексне дослідження бізнес-одиниць, простота і наочність представлення можливих стратегій, в більшості випадків — конкретні варіанти стратегій, акцент на якісні сторони аналізу. Серед основних недоліків варто відзначити статичний характер (за винятком моделі Hussey), обмежена кількість позицій, показників, а також стратегій, суб'єктивізм. Простота методів оманлива, оскільки всі вони вимагають повної і надійної інформації щодо стану ринку, сильних та слабких сторін підприємства та його основних конкурентів. Побудова матриць супроводжується роботою по сегментації ринку, по збиран-

ню інформації, яка в більшості випадків відсутня в необхідній формі.

Висновки. Дослідження та порівняння портфельних методів стратегічного аналізу дало можливість сформулювати ряд висновків: портфельний аналіз допомагає виявити і оцінити доходність і перспективність розвитку окремих бізнес-одиниць; призначення портфельного аналізу полягає в узгодженні стратегій господарських підрозділів підприємства, розподілі ресурсів між бізнес-одиницями, встановленні портфельного балансу; більшість моделей орієнтовані на застосування на корпоративному рівні, а самі стратегічні рекомендації зводяться до визначення оптимальної структури інвестицій (пріоритетів для інвестування).

ЛІТЕРАТУРА

1. Ламбен Ж.Ж. Стратегический маркетинг. Европейская перспектива / Жан-Жак Ламбен; [пер. с французского Б.И. Лифляндчик, В.Л. Дунаевский]. — С.Пб.: Наука, 1996. — 589 с.
2. Саєнко М.Г. Стратегія підприємства: [підручник] / Саєнко М. Г. — Тернопіль: Економічна думка. — 2006. — 390 с.
3. Яшин С.Н. Некоторые аспекты методологии портфельного анализа / С.Н. Яшин, Д.А. Корнилов // Финансы и кредит. — 2006. — №2. — С. 24–27.

Надійшла до редколегії 20.02.2009 р.

УДК: 005.21

О. СТРЕТОВИЧ, канд. екон. наук.

Національний університет харчових технологій

СТРАТЕГІЇ ВИРОБНИЧИХ КОМПАНІЙ В РИНКОВИХ УМОВАХ

Розглядаються питання успішних стратегій виробничих компаній по підвищенню ефективності функціонування в ринкових умовах. Акцентується увага топ-менеджменту компаній на необхідності перманентного пошуку нових стратегій поведінки. Описано бізнес процедури, яких слід дотримуватися керівництву компаній з метою забезпечення еволюційного впровадження механізмів ринкової конкуренції.

Ключові слова: менеджмент, стратегія, ефективність, витрати виробництва.

Рассматриваются вопросы успешных стратегий производственных компаний по повышению эффективности функционирования в рыночных условиях. Акцентируется внимание топ-менеджменту компаний на необходимости перманентного поиска новых стратегий поведения. Описаны бизнес процедуры, каких следует придерживаться руководству компаний с целью обеспечения эволюционного внедрения механизмов рыночной конкуренции.

Ключевые слова: менеджмент, стратегия, эффективность, расходы производства.

Основною метою функціонування компанії є одержання максимального прибутку. Максимальний розмір прибутку пов'язаний з двома речами: це максимізація доходів від реалізації товарів та послуг і мінімізація власних витрат. Це два паралельні шляхи, якими іде менеджмент компанії.

© О.Стретович, 2009

В період економічної кризи купівельна спроможність населення знижується. В таких умовах, всі підприємства, а особливо сфери FMCG (fast moving consumer goods) мають можливість ефективно працювати все менше за рахунок розширення обсягів реалізації продукції та послуг і все більше за рахунок суттєвого зменшення власних витрат ви-

робництва. Таким чином, в період стагнації економіки, питання мінімізації виробничих витрат максимально актуалізується. В даній статті ми зупинимося в основному на шляхах мінімізації витрат.

Більшість керівників компаній та команди їх менеджерів — це розумні, освічені та практичні люди. Кожен із них має певну уяву про необхідність і можливість зниження витрат на виробництво продукції та надання послуг. Мета автора в цій статті проаналізувати та акумулювати накопичений практичний досвід і надати менеджменту виробничих компаній алгоритм дій з мінімізації витрат.

Як етапи (step by step) на шляху підвищення ефективності господарської діяльності за рахунок максимального зменшення витрат виробництва, представляється доцільним здійснення наступних кроків по впровадженню економічних і соціальних заходів:

- забезпечити кожному працівнику на кожному робочому місці можливість користування нормативною документацією, де це визвано технологічною необхідністю;

- навчити робітників розуміння шляхів і вміння досягти нормативних витрат на своєму робочому місці;

- забезпечити можливість налаштування обладнання на виконання нормативів. У випадку, коли можливості обладнання не дозволяють витримати галузеві вимоги до питомих витрат, слід розробити та затвердити внутрішньозаводські нормативи питомих витрат на одиницю продукції або послуг;

- побудувати систему обліку показників, що відображають питомі витрати виробництва та поточні витрати підприємства (управлінський облік);

- оскільки управляти можна лише тим, що можна виміряти, необхідно упровадити єдину інформаційно-облікову систему збору, накопичення і обробки інформації;

- запровадити економічний механізм об'єктивного планування поточних витрат підприємства та контролю за досягненням потенційно можливих мінімальних витрат структурних підрозділів та підприємства в цілому (фінансова структура підприємства та механізм бюджетування);

- розробити і впровадити механізм зниження непродуктивних витрат підприємства та прискорення обігу коштів (зменшення запасів товарно-матеріальних цінностей та готової продукції на складах);

- розробити і впровадити систему участі (систему матеріального стимулювання) працівників у зменшенні непродуктивних витрат компанії, максимізації прибутку та управління корпоративною стратегією (Balanced Scorecard — збалансована система показників);

- забезпечити безперервний систематизований процес удосконалення різних аспектів діяльності компанії. По-перше, це порівняння показників роботи підприємства з показниками роботи інших організацій (конкурентами і компаніями-лідерами); по-друге, вивчення і впровадження успішного

досвіду інших фірм в своїй організації, незалежно від того, працюють вони з нею в одній галузі чи ні (бенчмаркінг);

- реальна матеріальна зацікавленість всіх працівників в ефективній роботі підприємства та максимізації отриманого прибутку шляхом бізнес-партнерства (володіння працівниками частиною акцій підприємства або часткою в статутному фонді товариства).

Світова практика мінімізації витрат виробництва накопичила чималий досвід. Особливо великих успіхів в цьому досягли японські фірми.

Отже, кожне конкретне підприємство вибирає свій ексклюзивний шлях вирішення проблеми мінімізації витрат, але практичний досвід показує, що краще узяти перевірені практикою алгоритми вирішення питання і адаптувати їх під свої умови. Не треба намагатися усунути ненормативні витрати хаотичними діями. Така робота завжди повинна бути системною, послідовною та ефективною.

1. Кожний працівник, задіяний у технологічному процесі, повинен знати розмір нормативних питомих витрат, що утворюються на його робочому місці. Завдання працівника контролювати ці витрати, не допускати їх перевищення, знати і вміти регулювати параметри обладнання у випадку його неправильної роботи. Для мінімізації часу на пошук і перегляд нормативної літератури, інструкцій по роботі і регулюванню устаткування, їх слід зберігати поблизу робочого місця.

2. Ефективна система управлінського обліку обов'язково повинна включати наступні основні елементи:

- центри (зони) відповідальності;
- контрольовані показники;
- первинні документи управлінського обліку;
- облікові реєстри для групування даних;
- форми управлінської звітності;
- облікові процедури збору, обробки і представлення інформації користувачам.

3. Для оперативного отримання цільових і контрольних показників роботи технологічних ліній та компанії в цілому, їх групування, обробки та представлення спеціалістам і топ-менеджерам, слід упровадити єдину інформаційно-облікову систему збору, накопичення і обробки інформації. Ідеально, коли така облікова система працює в режимі реального часу.

4. Після систематичного отримання реальних показників роботи компанії слід переходити до запровадження механізму об'єктивного планування доходів і витрат та механізму контролю за досягненням потенційно можливих максимальних доходів і мінімальних витрат. С цією метою впроваджується механізм бюджетування, який є інструментом управління на основі аналізу причин відхилення значень фактичних показників від планових.

Навіть найретельніша розробка бюджету компанії не гарантує його виконання. Потрібні захо-

ди, які забезпечать досягнення планових показників. Умовно можна виділити наступні основні процедури виконання бюджету:

- управління договорами;
- управління платежами;
- управління надзвичайними подіями і резервами;
- авторизація господарських операцій, перевірка їх на відповідність бюджету;
- оперативне планування і облік;
- коректування бюджету.

Всі процедури мають бути описані і затверджені у внутрішніх регламентах і інструкціях. Щоб бюджетування реально працювало в компанії, необхідне комплексне впровадження всіх основних процедур виконання бюджету.

5. Коли виявлено відхилення фактичних показників роботи від планових і встановлено причини, слід розробити і впровадити дієвий механізм зниження непродуктивних витрат компанії та прискорення обігу коштів. Основними тут є зменшення запасів товарно-матеріальних цінностей та готової продукції на складах, зменшення дебіторської і оптимізація кредиторської заборгованості. Такі процедури не пов'язані із зміною в технології виробництва, це є оптимізація організації виробництва.

Дуже корисно для вітчизняних менеджерів вивчення та впровадження на підприємствах системи управління виробництвом фірми «Тойота». Вона заснована на двох, практично автономних, підсистемах. Це комплексна підсистема управління якістю продукції «Дзідока» та підсистема організації виробництва «Канбан». Мета розробки вищезазначеної системи управління полягає в підвищенні ефективності роботи компанії, а основний шлях за допомогою якого це досягається полягає у зниженні витрат виробництва.

6. На сьогоднішній день концепції, що розвиваються в рамках управлінського обліку виходять далеко за рамки традиційних уявлень. В теперішній час, для підвищення ефективності роботи підприємства, слід застосовувати більш прогресивні інструменти, не обмежуючись використанням лише традиційних моделей. В процесі прийняття ефективних рішень власники і керівники компаній відчують потребу в інформації не лише фінансового характеру. В умовах швидкого розвитку ринків і гострої конкуренції нефінансова інформація, що базується на оцінці нематеріальних активів підприємства, набуває все більшого значення. Поряд з отриманням максимального прибутку і підвищенням капіталізації компанії, сьогодні великого значення набувають цілі завоювання ринку і придбання конкурентних переваг. Лояльність клієнтів, здатність компанії забезпечити їх довготривалу прихильність до своєї продукції та послуг, прогресивні технології та оптимізація бізнес-процесів, висококваліфікований кадровий склад, — це чин-

ники, які мають величезне значення і вплив на вартість компанії в майбутньому.

Для того щоб ефективно управляти своєю стратегією компаніям слід використовувати систему управління, яка дозволяє здійснювати моніторинг стратегічних ініціатив, що впроваджуються. Збалансована система показників (*Balanced Scorecard*) дає можливість оцінити ці чинники і відкриває нові можливості для управління корпоративною стратегією.

7. На ефективну роботу компанії повсякчасно впливають нові виклики ринку. Умови в яких функціонує компанія постійно змінюються і практично завжди в бік нових труднощів, непорозумінь, втрати конкурентних переваг тощо. В ринковому середовищі існує девіз «Якщо ти йдеш — ти стоїш, якщо ти біжиш — ти ідеш, якщо ти стоїш — ти помер», сутність якого полягає в необхідності перманентного пошуку нових стратегій поведінки компанії. Зупинитися в своєму розвитку це великий ризик для будь-якої компанії. Тільки пошук та застосування успішної стратегії (прогресивних методів і заходів в роботі фірми) дозволяє їй повноцінно конкурувати.

Таким чином, компанії необхідно використовувати технологію вивчення і впровадження успішних комплексних бізнес-рішень, які можуть застосовуватися в будь-якому підрозділі компанії. Така технологія називається бенчмаркінг (*англ. Benchmarking*), а успішною стратегією варто вважати ту, яка в певному контексті, тобто за певних умов, дає максимальну ефективність.

8. Прийнято вважати що вирішення питань підвищення ефективності роботи компанії є прерогативою власників і команди топ-менеджерів. У більшості випадків так воно і є, але світовий досвід показує що бізнес стратегії частіше мають позитивний результат, коли в їх реалізації зацікавлені всі члени трудового колективу. Дуже важливо щоб кожний працівник відчував себе частинкою великої громади, великої сім'ї, яка вболіває за ефективну роботу компанії. Вчені і практики помітили таку закономірність давно. Тому існує практика, коли основні власники фірми (акціонери компанії), залишаючи за собою контрольний пакет акцій (долю в уставному фонді), поступово продають іншу частину акцій (долю) найманим працівникам. Такий підхід до вироблення у працівника відчуття власності називають бізнес-партнерством.

Висновки. Розглянуті питання успішних стратегій виробничих компаній є важливими для підприємств України. Фаза первинного накопичення капіталу і «легких грошей» закінчилася, наступила фаза жорсткої ринкової конкуренції, коли кожній компанії необхідно витратити великі обсяги людських і матеріальних ресурсів з метою пошуку і впровадження раціональних рішень, які дозволять забезпечити постійне зростання ефективності господарської діяльності підприємства. Пропонува-

ний алгоритм дій дає змогу топ-менеджменту оптимізувати витрати компаній.

Зважаючи на реалії сьогодення, слід акцентувати увагу спеціалістів на такому моменті — запропо-

новані заходи мають найвищу ефективність лише в умовах публічного ведення бізнесу.

Надійшла до редколегії 20.02. 2009 р.

УДК 339.138:637.1

І.В. СУХА, канд. екон. наук.

Національний університет харчових технологій

ВПЛИВ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ТОРГОВИХ МАРОК НА КОНКУРЕНТНІ ПОЗИЦІЇ МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ В СЕГМЕНТІ ПИТНОГО МОЛОКА

Запропоновано методику інтегральної оцінки конкурентоспроможності торгових марок. Проведено дослідження популярності торгових марок підприємств молочної промисловості в сегменті питного молока та визначено найбільш конкурентоспроможні із них.

Ключові слова: торгова марка, конкурентоспроможність продукції, конкурентна позиція, ринковий сегмент.

Предложена методика интегральной оценки конкурентоспособности торговых марок. Проведено исследование популярности торговых марок предприятий молочной промышленности в сегменте питьевого молока и определено наиболее конкурентоспособные из них.

Ключевые слова: торговая марка, конкурентоспособность продукции, конкурентная позиция, рыночный сегмент.

Розглядаючи конкурентну позицію підприємства, через призму конкурентоспроможності продукції, можна говорити, що вона виражається через представлені торгові марки. Саме популярність продукції визначених торгових марок та прихильність до неї споживачів формує високий рівень конкурентоспроможності підприємства в певних ринкових сегментах. Торгові марки закріплюють позитивний імідж за підприємством-виробником продукції і слугують засобом ідентифікації його асортиментного ряду продукції.

Для обґрунтування викладених позицій нами було проведено дослідження конкурентоспроможності торгових марок потужних виробників молочної продукції в сегменті питного молока. Вибір даного сегменту для виконання аналітичних розрахунків конкурентоспроможності продукції різних торгових марок пояснюється тим, що питне молоко користується найбільшим попитом у всіх верств населення.

Базуючись на даних проведеного опитування компанією Ukrainian Marketing Group, стосовно надання переваг споживання молочних продуктів, голоси 1000 респондентів із шести найбільших міст України (м. Київ, м. Харків, м. Донецьк, м. Дніпропетровськ, м. Одеса та м. Львів) розподілилися таким чином: молоко — 29%, сметана — 18,4%, кефір — 17,1%, сир — 14,9%, йогурт — 6,5%, ряжанка

— 4%, інші молочні продукти — 5%, не вживають молочної продукції — 5,1% опитаних громадян. Отже, треба відмітити, що найбільшою популярністю у споживачів користуються традиційні молочні продукти: молоко, сметана, кефір та сиркова продукція.

Для виконання аналізу конкурентоспроможності продукції підприємств молочної промисловості нами було адаптовано методику інтегральної оцінки конкурентоспроможності торгових марок, послідовність реалізації якої представлена на рис. 1.

Перший етап — «проведення сегментації споживачів» передбачає процес їх розподілу на групи відповідно до географічних, демографічних, психографічних та поведінкових факторів, які впливають на формування потреб та здійснення покупки.

Другий етап — «опитування споживачів окремих сегментів молочних продуктів» дає можливість зібрати більше інформації про вподобання споживачів для врахування їх побажань та задоволення виникаючих потреб найкращим чином.

Третім етапом є визначення найпопулярніших торгових марок молочних продуктів в певному сегменті, тобто з'ясування прихильності споживачів до них, їх переваг в порівнянні з аналогічною продукцією на ринку.

Четвертий етап — «розподіл основних характеристик певного молочного продукту за визначени-

© І.В. Суха, 2009

ми групами показників». Відповідно до проведених опитувань споживачів, нами було згруповано характеристики питного молока за групами показників, що дало можливість систематизувати дані та полегшити виконання розрахунків.

За результатами опитування, на наступному етапі, шляхом статистичного аналізу даних, проводилась обробка оцінок споживачів для розрахунку конкурентоспроможності певного молочного продукту різних торгових марок. Отримані значення показників було переведено у бальну оцінку.

Так як для розрахунку інтегрального показника конкурентоспроможності молочної продукції потрібно визначити коефіцієнти вагомості даних показників, то спочатку було здійснено вибір експертів серед споживачів молочної продукції, яким і було запропоновано оцінити їх значущість.

Наступним етапом є перевірка достовірності отриманих оцінок експертів за допомогою коефіцієнта конкордації. Отже, якщо думки експертів є узгодженими, і підтверджується достовірність отриманих даних, можливо, використовуючи коефіцієнти вагомості для кожного показника, розрахувати інтегральний показник конкурентоспроможності для кожної торгової марки певного молочного продукту.

Отримавши сумарну оцінку за всіма показниками конкурентоспроможності по різних торгових марках певного продукту, доцільно провести їх розподіл за рейтингом конкурентоспроможності, де відповідно найвища отримана оцінка свідчить про лідируючі позиції торгової марки в певному сегменті, і навпаки, найменша оцінка — про задовільну ринкову позицію підприємства.

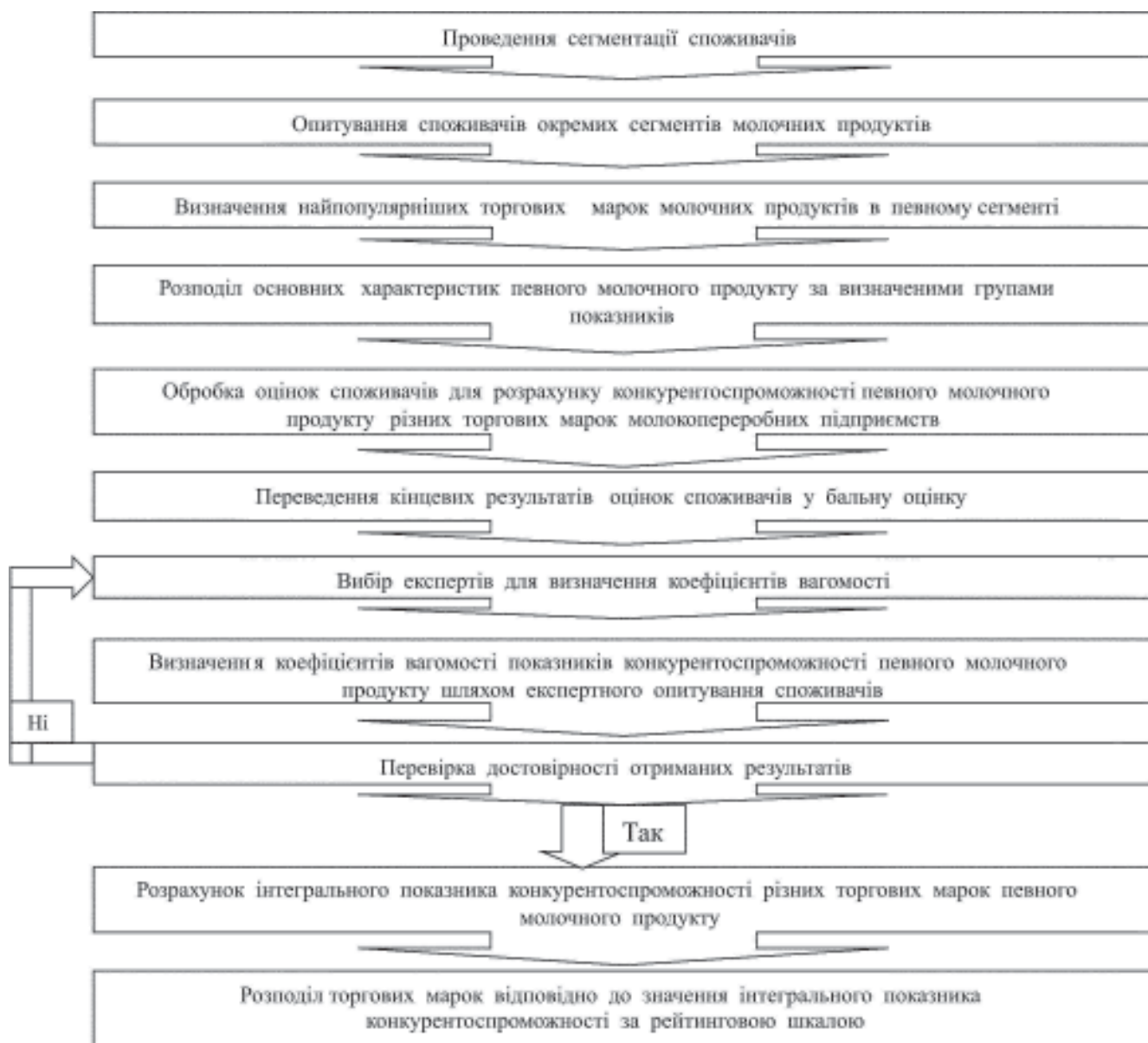


Рис. 1. Розподіл торгових марок відповідно до значення інтегрального показника конкурентоспроможності за рейтинговою шкалою

В процесі дослідження сегменту питного молока за результатами опитування споживачів було з'ясовано, які торгові марки молока найчастіше купують споживачі. Аналіз діяльності підприємств дозволив визначити компанії — лідери у виробництві питного молока (табл. 1).

Таблиця 1

Підприємства — лідери з виробництва питного молока, які представлені на ринку України

Підприємства	Торгові марки	Частка покупців, %	
		Грудень 2005 р.	Грудень 2006 р.
ТОВ «Люстдорф»	Виробник ТОВ «Люстдорф»	27,6	22,3
	Селянське	13,1	12,1
	Буренка	11,4	8,0
	На здоров'я	3,1	2,2
ВАТ «Галактон»	Виробник ВАТ «Галактон»	23,8	17,4
	Галактон	10,6	8,4
	Простоквашино	8,1	5,9
	Баланс	5,1	3,1
Вімм-Білл-Данн	Виробник Вімм-Білл-Данн	16,1	16,3
	Слов'яночка	7,6	8,7
	Веселий молочник	5,7	6,1
	Домик в деревне	2,8	1,5
ЗАТ «Балтський МКК»	Виробник ЗАТ «Балтський МКК»	14,0	12,8
	Ласуна	12,8	12,4
	Му	1,2	0,4
Інші виробники	Злагода	6,8	7,9
	Білосвіт	8,5	8,4
	Заречье	8,2	6,5
	Добриня	11,2	11,2
	President1	9,0	8,4
	КМЗ	6,1	6,2
	Щодня	4,3	3,5
	Кагма	1,2	2,4
	Фанні	5,7	2,1
	Галичина		2,3
	Комо		4,1
Всього кількість опитаних осіб		1000	1000

Згідно проведеного опитування, всі споживчі характеристики питного молока нами були розподілені на шість груп показників: якість, прихильність споживачів до певної торгової марки, широта асортименту, корисність для здоров'я, доступність за ціною, зручність упаковки. Вони лягли в основу порівняльного аналізу конкурентоспроможності різних торгових марок за певними показниками.

Конкурентоспроможність питного молока різних торгових марок визначалась на базі експертних оцінок споживачів, шляхом використання статистичного аналізу (зокрема, середньої арифметичної). Розрахунки проводились по 14 торгових марках найпотужніших підприємств України, які займають провідні позиції в рейтингу виробників молочної продукції. Вибір саме цих торгових марок пояснюється найбільшою їх популярністю в шести

містах України, високою прихильністю до них споживачів певного регіону.

Отримані значення показників було переведено у бальну оцінку. Для того, щоб виконати дані розрахунки нами було визначено розмах варіації по кожній групі відповідного показника згідно якого, було здійснено розподіл балів. Відповідно до 5-ти бальної оцінки формувалися рівні інтервали закритого типу. Результати розподілу балів за 5-ною шкалою, де 1 бал показує низький рівень прояву показника, а відповідно 5 — високий, наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Бальна оцінка конкурентоспроможності питного молока різних торгових марок

Торгові марки	Показники					
	Якість	Прихильність споживачів до певної ТМ	Широта асортименту	Корисність для здоров'я	Доступність за ціною	Зручність упаковки
ТМ «Білосвіт»	4	5	2	5	5	1
ТМ «Галактон»	5	4	2	4	4	2
ТМ «Галичина»	2	4	2	3	3	3
ТМ «Добриня»	5	5	5	3	5	1
ТМ «Заречье»	5	4	5	3	4	2
ТМ «Злагода»	3	3	3	3	3	2
ТМ «Комо»	3	4	2	5	5	2
ТМ «Кагма»	2	3	3	4	3	3
ТМ «Молоко (1 КМЗ)»	3	4	1	3	4	3
ТМ «Му»	1	1	4	1	1	5
ТМ «Селянське»	5	5	5	5	3	1
ТМ «Слов'яночка»	5	5	2	4	4	2
ТМ «Фанні»	1	1	5	1	1	4
ТМ «Щодня»	3	4	4	2	4	2

Для розрахунку інтегрального показника конкурентоспроможності було визначено вагомість коефіцієнтів приведених показників експертним методом шляхом опитування потенційних споживачів молочної продукції. Для цього споживачі були згруповані у вісім груп відповідно до психографічних характеристик. Їм було запропоновано оцінити вагомість основних обраних показників конкурентоспроможності питного молока, а саме: якості, корисності для здоров'я, доступності за ціною, широти асортименту, зручності упаковки та прихильності споживачів до певної торгової марки. При визначенні групових оцінок було використано середньоарифметичне значення оцінок експертів, що брали участь в опитуванні. Отримані результати розрахунків наведені у табл. 3.

Для можливого використання у подальших розрахунках визначених експертами коефіцієнтів було

проведено оцінку узгодженості їх думок за допомогою коефіцієнту конкордації [2, с. 87-88; 3, 213-214]. Проведені розрахунки підтвердили достовірність отриманих результатів, що дало можливість, в подальшому, застосувати визначені коефіцієнти вагомості для розрахунку інтегрального показника конкурентоспроможності.

Таблиця 3

Коефіцієнти вагомості показників конкурентоспроможності питного молока	
Показники конкурентоспроможності	Коефіцієнт вагомості (R _i)
Якість	0,25
Корисність для здоров'я	0,20
Доступність за ціною	0,20
Широта асортименту	0,15
Зручність упаковки	0,15
Прихильність споживачів до певної торгової марки	0,05
Разом	1,0

Таблиця 4

Розрахунок інтегрального (групового) показника конкурентоспроможності різних торгових марок питного молока

Торгові марки	Показники						Сумарна оцінка
	Якість	Прихильність споживачів до певної ТМ	Широта асортименту	Корисність для здоров'я	Доступність за ціною	Зручність упаковки	
ТМ «Біловіт»	1	0,25	0,3	1	1	0,15	3,7
ТМ «Галактон»	1,25	0,2	0,3	0,8	0,8	0,3	3,65
ТМ «Галичина»	0,5	0,2	0,3	0,6	0,6	0,45	2,65
ТМ «Добриня»	1,25	0,25	0,75	0,6	1	0,15	4
ТМ «Заречье»	1,25	0,2	0,75	0,6	0,8	0,3	3,9
ТМ «Злагода»	0,75	0,15	0,45	0,6	0,6	0,3	2,85
ТМ «Комо»	0,75	0,2	0,3	1	1	0,3	3,55
ТМ «Кагма»	0,5	0,15	0,45	0,8	0,6	0,45	2,95
ТМ «Молоко (1 КМЗ)»	0,75	0,2	0,15	0,6	0,8	0,45	2,95
ТМ «Му»	0,25	0,05	0,6	0,2	0,2	0,75	2,05
ТМ «Селянське»	1,25	0,25	0,75	1	0,6	0,15	4
ТМ «Слов'яночка»	1,25	0,25	0,3	0,8	0,8	0,3	3,7
ТМ «Фанні»	0,25	0,05	0,75	0,2	0,2	0,6	2,05
ТМ «Щодня»	0,75	0,2	0,6	0,4	0,8	0,3	3,05

Інтегральний (груповий) показник конкурентоспроможності (I_i) для кожної торгової марки виз-

начався як добуток параметричної одиничної експертної оцінки (g_i) та коефіцієнту вагомості даного фактору (R_i) (формула 1) [1, с. 52–53].

$$I_i = g_i \cdot R_i \quad (1)$$

Сумарна оцінка (S_i) здійснювалася за всіма (n) показниками для кожної торгової марки (I_i) (формула 2) [1, с. 53].

$$S_i = \sum_{i=1}^n I_i \quad (2)$$

Виконаний розрахунок інтегрального (групового) показника конкурентоспроможності різних торгових марок питного молока наведений у табл. 4.

Із проведених розрахунків видно, що найбільш конкурентоспроможними торговими марками питного молока є «Біловіт», «Галактон», «Добриня», «Заречье», «Комо», «Селянське» та «Слов'яночка». Згідно отриманої сумарної оцінки можливо розподілити дані торгові марки за рейтинговою шкалою, починаючи з лідерів ринку і закінчуючи підприємствами, які займають задовільну позицію в сегменті питного молока (табл. 5).

Таблиця 5

Розподіл торгових марок питного молока за рейтингом

Торгові марки	Значення інтервалу	Місце у рейтингу
«Біловіт», «Галактон», «Добриня», «Заречье», «Комо», «Селянське», «Слов'яночка»	4,0-3,51	1
«Щодня»	3,5-3,01	2
«Галичина», «Злагода», «Кагма», «Молоко (1 КМЗ)»	3,0-2,51	3
«Му», «Фанні»	2,5-2,01	4

Висновки. В умовах мінливого середовища, швидкої зміни ринкової ситуації, як на ринку сировини, так і на ринку готової продукції, весь час відбувається перерозподіл ринкових часток підприємств-конкурентів. Тому саме гнучкість, готовність підприємств до змін, вміння без великих втрат виходити з тієї чи іншої складної ситуації, створює їм додаткові конкурентні переваги. Отже, для успішно діючого підприємства важливим є не тільки утримання лідуючих позицій на даний час, але й запровадження певних заходів для забезпечення динамічного розвитку в майбутньому. В своєму стратегічному портфелі таке підприємство повинно мати певні розробки нової продукції та маркетингові прийоми, які б давали змогу передбачити дії конкурентів, розрахувати можливі варіанти розвитку подій на ринку, шляхи активізації своєї діяльності. Потрібно не тільки відповідати на стратегічні рішення конкурентів, а й вміти знехатньо атакувати їх своїми прорахованими діями, створюючи собі сприятливі умови для розвитку та вдосконалення.

Для підвищення рівня конкурентоспроможності підприємства на ринку, портфель торгових марок

повинен бути збалансований, тобто торгові марки в ньому мають знаходитися на різних стадіях розвитку (починаючи від виведення на ринок — нові бренди, до відомих та популярних торгових марок). Постійна робота в напрямку вдосконалення розташування торгових марок в портфелі підприємства забезпечує йому стабільне зростання, а ретельний аналіз популярності торгових марок інших виробників створює можливість виявлення недоліків у власній діяльності стосовно виробництва, просування і позиціонування продукції та впровадження заходів щодо усунення існуючих прорахунків. Такі дії будуть сприяти виробленню чіткої та зро-

зумілої тактики поведінки на ринку та забезпечать досягнення запланованих цілей та задач.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гетьман О.О. Економічна діагностика: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів] / О.О. Гетьман, В.М. Шаповал. — К.: Центр навчальної літератури, 2007. — 307 с.
2. Сборник задач по общей теории статистики: [учеб. пособие] / [В.Е. Овсиенко, Н.Б. Голованова, Ю.Г. Королев и др.]. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — М.: Финансы и статистика, 1986. — 191 с.
3. Шмойлова Р.А. Практикум по теории статистики: [учеб. пособие] / Р.А. Шмойлова. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 416 с.

Надійшла до редколегії 20.02.2009

УДК 334.012

О.М. ТКАЧЕНКО, канд. екон. наук.

Національний університет харчових технологій

УМОВИ ІСНУВАННЯ ВІЛЬНОЇ КОНКУРЕНЦІЇ НА ТОВАРНИХ РИНКАХ УКРАЇНИ

Стаття присвячена дослідженню державного регулювання конкурентних відносин на ринках споживчих товарів в Україні. Розглянута необхідність такого регулювання вільної конкуренції. Запропоновані основні напрями державного регулювання конкурентного середовища взагалі та конкретно на ринках харчових продуктів.

Ключові слова: вільна конкуренція, державне регулювання конкуренції, стан ринку, ринок харчових продуктів

Статья посвящена исследованию государственной регуляции конкурентных отношений на рынках потребительских товаров в Украине. Рассмотренная необходимость такой регуляции свободной конкуренции. Предложены основные направления государственной регуляции конкурентной среды вообще и конкретно на рынках пищевых продуктов.

Ключевые слова: свободная конкуренция, государственная регуляция конкуренции, состояние рынка, рынок пищевых продуктов.

Для більш ефективного функціонування ринків та процвітання виробників, які на них працюють, повинна здійснюватися розумна державна політика, спрямована на захист економічних ринкових відносин та всіх учасників таких відносин. Конкурентні відносини поряд з державним регулюванням здатні забезпечити сталий розвиток економіки, не допустити дискримінації окремих, як правило, слабких підприємств у розподілі ресурсів, наявних в галузях.

Проблемою державного регулювання ринкових економічних відносин, його необхідності, меж та засобів займаються такі вітчизняні науковці як Стеченко Д.М., Головка Л.С., Борисенко З.М. та інші.

Метою дослідження є аналіз стану конкуренції на окремих ринках харчових продуктів та необхідність державного регулювання конкуренції.

© О.М. Ткаченко, 2009

Під час дослідження використовувалися методи аналізу і синтезу, систематизації та абстрактно-логічний метод.

Принципи державного захисту конкуренції в підприємницькій діяльності закріплені в Україні на найвищому рівні — в Конституції. Відповідно до статті 42 Конституції, держава забезпечує захист конкуренції у підприємницькій діяльності. [1, ст. 42]

Наявність конституційних гарантій захисту конкуренції є ключовим елементом державного регулювання ринкових відносин в Україні. Внаслідок вжитих державою протягом останніх років правових та організаційних заходів в державі створено умови для практичної реалізації положень Конституції щодо забезпечення захисту конкуренції у підприємницькій діяльності, запобігання зловживанню монопольним становищем на рин-

ку, неправомірному обмеженню конкуренції та недобросовісній конкуренції. Вимоги статті 42 Конституції — фундамент, на якому тримається вся система захисту конкуренції в Україні.

Важливим є усвідомлення з одного боку урядовцями і законодавцями, а з іншого — суб'єктами господарювання необхідності не контролювати та обмежувати, а захищати та всіляко стимулювати ринкову конкуренцію.

Багаторічний світовий досвід ринкового розвитку наводить чимало прикладів краху економічних систем цілих країни в результаті вивільнення потужних конкурентних сил з-під регулювання з боку владних структур.

На початку свого зародження існувала так звана вільна конкуренція, яка нічим не обмежувалася, передбачала повну свободу підприємництва, існування значної кількості порівняно однакових за розмірами капіталу, переважно дрібних і середніх підприємств. Пізніше з розвитком вільного підприємства та виробництва подальший її розвиток призвів до збільшення пропозиції товару, криз перевиробництва, падінню цін, нераціонального витрачання ресурсів, загостренню та появи нових форм конкурентної боротьби.

Вільна конкуренція в своєму розвитку веде до концентрації та централізації капіталу, що призводить до панування на ринку монополій та руйнівних наслідків для економіки. Фахівці з економічної історії однастайно стверджують, що саме поступовий розвиток конкуренції призводить до утворення монополії. Ще К.Маркс у «Капіталі» доводив, що вільна конкуренція породжує концентрацію виробництва, а ця концентрація на певному ступені свого розвитку призводить до монополії. Причому чим гостріше проявляє себе конкурентна боротьба в певній сфері суспільного виробництва, тим імовірніше виникнення там потужних монополій.

Можемо підсумувати, що конкуренція є добродійна та має позитивні прояви лише на ранніх стадіях свого розвитку. Пізніше, на останній стадіях, вона має руйнівну силу, розорює підприємства, сприяє розшаруванню населення та веде до утворення монопольних утворень. Без відповідного регулювання сама конкурентна боротьба може настільки загострюватися, що її негативні наслідки для суспільства значно перевершують позитивний результат такої конкуренції.

Кожна держава спираючись на існуючий економічний, науковий та природний потенціал, людські ресурси повинна вирішити межі та засоби державного втручання в конкурентну боротьбу між підприємствами на товарних ринках. Більшість урядів схильні застосовувати засоби, що дають легкий короткостроковий вигравш — субсидії, захист, злиття компаній, і саме це сповільнює довгостроковий розвиток країн.

Досягнувши підвищення рівня розвитку ефективного конкурентного середовища, зменшення частки монопольного сектору, вдосконалення правил конкуренції, інституційного забезпечення держава здатна впливати на зростання внутрішнього ринку, посилити тиск на зовнішні ринки.

Реалізація державної політики у сфері забезпечення формування конкурентного середовища з нашої позиції має включати:

- фінансову політику стимулювання конкуренції шляхом визначення умов кредитування, депозитних ставок, особливості оподаткування, норми рентабельності;

- регулювання експорту й імпорту продукції на підставі ліцензування й квотування, зміни митної політики;

- участь держави у виробництві й реалізації продукції за рахунок підтримки державної власності в галузевих підприємствах, здійснення державних капітальних вкладень, державних замовлень;

- патентно-ліцензійну політику, що законодавчо закріплює виключні права на відкриття, винаходи, раціоналізаторські пропозиції, ноу-хау й іншу інтелектуальну власність;

- забезпечення соціального захисту споживачів за допомогою законодавчо закріплених прав споживачів, організації союзів споживачів, системи дотацій і пільг.

Обґрунтування необхідності державного втручання в розвиток конкурентних відносин та встановлення більш жорсткого контролю за діяльністю підприємств, на нашу думку, має ґрунтуватися на вивченні стану ринку.

Для вивчення конкуренції на ринках потрібно пересвідчитися щодо наявності умов, за яких вона виникає. Борисенко З.М виділяє наступні умови виникнення конкуренції:

- 1) наявність на ринку великої кількості незалежно діючих виробників будь-якого конкретного продукту або ресурсу;

- 2) свобода виробників щодо вибору гос-подарської діяльності — що виробляти, скільки, необхідні модифікації;

- 3) відповідність між обсягами попиту та пропозиції — конкуренція можлива лише у випадку перевищення попиту пропозицією;

- 4) наявність ринку засобів виробництва. [4, с. 21]

Державним органом, який покликано реалізувати державну політику в сфері захисту економічної конкуренції та регулювання діяльності монополій є Антимонопольний комітет України. Одним із завдань Антимонопольного комітету України є моніторинг конкурентного середовища. В 2007 році в процесі дослідження конкуренції на ринках споживчих товарів він прийшов до висновку, що більшість суб'єктів господарювання визначають конкуренцію на ринках, де вони працюють, як значну та помірну (табл. 1).

Таблиця 1
**Відчутність конкуренції підприємствами
України у 2005 — 2007 роках**

	Відсоток підприємств від загальної їх кількості по роках, %		
	2005 р.	2006 р.	2007 р.
Оцінюють внутрішню конкуренцію як:			
значну	52	45	44
помірну	34	47	47
слабку	8	5	5
відсутню	6	3	4
Відчувають значну конкуренцію з боку товарів, вироблених у:			
країнах СНД	29	21	12
інших зарубіжних країнах	50	36	20
Відчувають значний конкурентний тиск з боку підприємств з:			
країн СНД	16	18	26
інших зарубіжних країн	15	17	20

Джерело: Антимонопольний комітет України [3]

За даними Антимонопольного комітету України, близько третини всіх товарів, робіт і послуг реалізовується в Україні на ринках з високим рівнем концентрації, в тому числі на ринках, на яких діє один продавець — близько 7%, і 53% — на ринках, де не було істотних перешкод для конкуренції між їхніми учасниками (рис. 1).

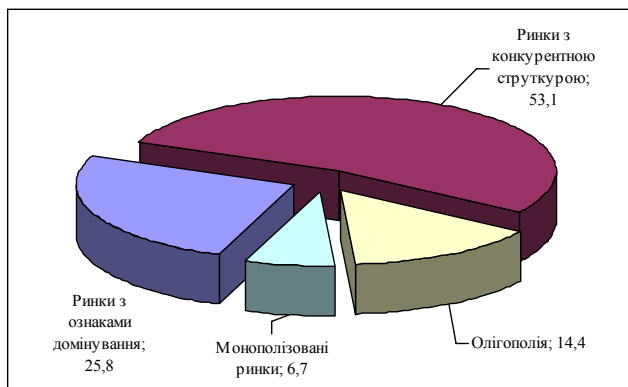


Рис. 1. Частка підприємств, що діяли на ринках певних типів, у загальному обсязі реалізованої продукції, %
Джерело: Антимонопольний комітет України [3]

Для визначення основних напрямів державного регулювання конкурентних відносин проаналізуємо стан конкуренції на ринках харчових продуктів шляхом розрахунку ринкових питомих часток п'яти найбільших підприємств-лідерів на відповідних ринках (табл. 2).

Для дослідження стану конкуренції в економічній та юридичній літературі зустрічається чимало методик. Ми скористаємося наступними з них:

1) Розрахунок сукупної ринкової частки суб'єктів господарювання. Цей метод використо-

вується Антимонопольним комітетом України і передбачена в Методиці визначення монопольного (домінуючого) положення суб'єкта господарювання на ринку, затвердженій Розпорядженням Антимонопольного комітету України № 49-р від 5 березня 2002 року. [2]

Пункт 10.1.2. зазначеної Методики визначає, що суб'єкти господарювання займають монопольне (домінуюче) положення якщо їх сукупні частки перевищують 35% для одного суб'єкта, 50% — для двох або трьох суб'єктів та 70% — для п'яти або чотирьох суб'єктів господарювання. При цьому, у відповідності до п. 10.2.2, між ними не повинно бути значної конкуренції та вони разом узяті мають конкурента(ів) на ринку та зазнають значної конкуренції¹ внаслідок відсутності обмеженості можливостей доступу інших суб'єктів господарювання щодо закупівлі сировини, матеріалів та збуту товарів, відсутності бар'єрів для вступу а ринок інших суб'єктів господарювання, відсутності пільг чи інших обставин.

2) Розрахунок показника концентрації CR4, що дозволяє оцінити ступінь монополізації ринку та є величиною, оберненою до інтенсивності конкуренції. Цей показник розраховується як відношення суми обсягів реалізації чотирьох найбільших підприємств до загального обсягу реалізації продукції на ринку. Показник дозволяє аналізувати не лише 4, а й іншу кількість підприємств, що займають найбільшу частку ринку. В нашому дослідженні ми будемо розраховувати цей показник для п'яти підприємств, і відповідно він набуде вигляду — CR5.

3) Розрахунок індексу Херфіндела-Хіршмана (IХХ), який представляє собою суму квадратів питомих ваг підприємств, що діють на ринку. Зі збільшенням концентрації ринку величина IХХ теж збільшується, досягаючи максимального значення 10000, однак ринок вважається нормальним для конкуренції і дозволяється злиття фірм, якщо IХХ < 1000. У випадку коли IХХ > 1800, ринок вважається неконкурентним.

Результати дослідження ринків за названими методиками на визначених ринках представлені в таблиці 3.

Дослідження концентрації ринків та часток їх найбільших представників за названими методиками дозволило класифікувати ринки на три групи:

1) ринки з високим рівнем концентрації, де п'ятірка лідерів контролюють більше 70% ринку — ринок шоколадних виробів, квасу, чаю;

¹ Жодний нормативний акт не містить будь-яких об'єктивних критеріїв визначення поняття «значна конкуренція». Ступінь «значущості» конкуренції, з якою стикається суб'єкт господарювання, може визначити лише Антимонопольний комітет України. Однак, законодавство не містить жодних гарантій неупередженості Антимонопольного комітету та, відповідно, гарантій захисту інтересів суб'єкта господарювання.

2) монополізовані ринки, де наявні суб'єкти господарювання з ринковими частками понад 35% — ринок м'ясних паштетів, холодного чаю, соків, пива;

3) ринки з конкурентною структурою — ринок майонезу, м'ясних консервів, морозива, мучних кондитерських виробів, солодкої води, кисломолочних продуктів.

Дослідження показують, що в харчовій промисловості на товарних ринках наявні ознаки і монополізму, і конкуренції. До того ж, розрахунок ІХХ показав, що лише на п'яти ринках наявна безпечна конкуренція, і так само на п'яти інших — ринкова ситуація не може вважатися конкурентною.

Окремим напрямом державного регулювання конкурентних відносин має бути контроль за діяльністю підприємств, що вже займають монополічне становище, попередження зловживань ними свого становища та подальше зменшення рівня монополізації економіки.

Стан монополізації ринку, особливо ринку харчових продуктів, є небажаним. Однак, чи можна вважати, що ринки м'ясних паштетів, холодного чаю, соків та пива є абсолютно монополізовані?

Чинне законодавство дозволяє не визначати монополістами навіть ті підприємства, які займають більше 35% ринку (або 50% для двох чи трьох та 70% для чотирьох чи п'яти суб'єктів господарювання). За такими підприємствами залишається право самостійно довести, що вони зазнають значної конкуренції з боку інших виробників. [2, п.10.2.2]

Керуючись зазначеною правовою нормою вважаємо, що хоча кількісні показники і доводять стан монополізму, однак якісні такий стан заперечують. На підтвердження цього розглянемо більш деталь-

но стан ринку пива. Дослідження показало, що в 2007 році четвірка виробників («САН Інтербрю Україна», ЗАТ «Оболонь», ЗАТ «Сармат» та «Славутич», Carlsberg Group» (раніше — Baltic Beverages Holding)) володіла в сукупності 96,8 % ринку.

Згідно з умовами визначення монополічної (домінуючої) частки суб'єктів господарювання на ринку можна стверджувати, що на ринку пива наявне колективне монополічне становище (4 суб'єкти займають понад 70% ринку пива, всі вони начебто мають ознаки монополістів). Тобто, кожного з них можна було б визначити монополістом. Однак визначення «сукупна частка» діє лише у випадку, коли між цими суб'єктами господарювання немає конкуренції взагалі або вона незначна. Реальні факти підприємницької поведінки суб'єктів свідчать, що якраз між цими суб'єктами господарювання є конкуренція і навіть дуже жорстка. Про це може свідчити, зокрема, бурхливий корпоративний конфлікт між ЗАТ «Сармат» та ЗАТ «Оболонь» в 2004 році. Ознакою наявності конкуренції є також інтенсивні рекламні кампанії, які проводять українські пивовари, тривала стабільність цінової ситуації, помітне підвищення показників якості, різноманітність упаковок, оформлення товару й інші заходи для приваблення на свою сторону споживачів.

Аналогічна ситуація спостерігається і на інших ринках — м'ясних паштетів, холодного чаю, соків.

Беззаперечним є той факт, що державне регулювання конкурентного середовища потрібно розглядати в розрізі економічної ситуації кожного окремого з наведених ринків. Оскільки на кожному з них існують властиві лише йому пріоритети розвитку, державні програми та інтереси. Однак, ми

Таблиця 2

Питоми частки найбільших підприємств на окремих ринках харчових продуктів України

Підприємство-лідер галузі	Питома частка підприємств на ринках, %												
	майонезу	м'ясних консервів	м'ясних паштетів	морозива	шоколадних виробів	мучних кондитерських виробів	квасу	холодного чаю	чаю	соків	солодкої води	пива	кисломолочних продуктів
1	26	28	51	16	26	18	40	79,8	26,3	47	13,4	36	12,9
2	11	23	20	16	20	13	20	9,2	14	23	10,2	30,1	10,8
3	7	6	16	9	10	7	9	4,7	11,2	20	9,5	17,5	6,9
4	7	5	10	8	7	5	6	2,7	11	7	9,5	13,2	6,7
5	6	5	1	7	7	5	5	0,6	10,7	3	5,4	-	6,5
Сума	57	67	98	56	70	48	80	97	73,2	100	48	96,8	43,8

Джерело: розраховано за даними Держкомстату України та операторів ринків

Таблиця 3

Показники стану конкуренції на окремих ринках харчових продуктів України

Критерій	Значення критеріїв на ринку												
	майонезу	м'ясних консервів	м'ясних паштетів	морозива	шоколадних виробів	мучних кондитерських виробів	квасу	холодного чаю	чаю	соків	солодкої води	пива	кисломолочних продуктів
Сукупна частка підприємств	<70	<70	>70	<70	=70	<70	>70	>70	>70	>70	<70	>70	<70
CR5	0,57	0,67	0,98	0,56	0,7	0,48	0,8	0,97	0,73	1	0,48	0,97	0,44
ІХХ	931	1399	3358	706	1274	592	2142	6482,4	1248,6	3196	493,3	2682,5	417,8

пропонуємо виділити наступні напрями, на які має бути направлено державне регулювання з метою захисту економічної конкуренції і які є спільними для всіх ринків споживчих товарів харчової промисловості:

— підтримка середнього та малого бізнесу шляхом надання податкових пільг, дотацій і пільгових кредитів;

— стимулювання відкритості ринків, подолання й мінімізація ринкових бар'єрів;

— захист від імпортової готової продукції;

— спрощення умов організації бізнесу в даній галузі;

— регулювання цін на сировину, матеріали, енергію й інші ресурси.

Особливістю харчової промисловості України є її тісний зв'язок із сільським господарством, яке забезпечує підприємства переробної сфери необхідною сировиною. Найголовнішим пріоритетом в здійсненні державного регулювання конкуренції в галузях харчової промисловості має бути стимулювання та всіляка підтримка сільського господарства України.

Окрім того, одним із можливих засобів державного регулювання конкурентного середовища на ринках споживчих товарів є мито. В умовах вступу до світових торгових та економічних союзів, в тому числі і до Світової організації торгівлі, Україна змушена знижувати мито, і тим самим відкривати свій національний незахищений ринок для продукції інших країн. Проте, останнім часом ми спостерігаємо урядову політику, що направлена на підвищення мита на певні групи товарів. На нашу думку, для збереження конкурентного середовища обґрунтованим та досить актуальним має бути підвищення мита на готову імпортовану продукцію (для захисту вітчизняної продукції) та зменшення митної ставки на сировину для харчової промисловості (для захисту вітчизняної промисловості).

Висновки. На сьогодні в країні не стоїть завдання захисту від негативів вільної конкуренції — у

нас її просто немає. Насамперед потрібно захистити широке коло підприємців, які намагаються працювати та піднімати економіку країни. Але, безумовно, це слід зробити, намагаючись захищати і підприємницький клімат загалом. У тих сферах, де все ж спрацьовує конкуренція, безперечно, слід її захищати.

Ситуація на ринках харчових продуктів має велике значення для кожного споживача. Ринок харчових продуктів — це, можливо, єдиний різновид ринків, де є неприйнятна будь-яка монополізація, оскільки в суспільстві є постійною потреба в корисному та якісному харчуванні. Окрім якості та корисності до харчових продуктів споживачі вимагають ще одну не менш важливу ознаку — належну ціну. Підтримувати на ринку належний рівень якості, корисності та ціни, а також попиту та пропозиції на будь-які товари, в тому числі і харчові продукти, можливо лише за умови ефективного та обґрунтованого державного регулювання конкурентного середовища.

Держава має усвідомлювати, що її політика, спрямована на розвиток та захист економічної конкуренції між виробниками, має визначальний вплив на розвиток національних товарних ринків. Причому потрібен не просто захист конкуренції, а й усіяка її підтримка.

ЛІТЕРАТУРА

1. Конституція України від 28 червня 1996 р. // Відомості Верховної Ради України. — 1996. — № 30. — Ст. 141.
2. Розпорядження Антимонопольного комітету України від 5.03.2002 р. № 49-р «Про затвердження Методики визначення монопольного (домінуючого) становища суб'єктів господарювання на ринку» // Офіційний вісник України. — 2002. — № 14. — С. 396.
3. Звіт Антимонопольного комітету України за 2007 р. // <http://www.amc.gov.ua/amc/control/uk/publish/article>
4. Борисенко З.М. Основи конкурентної політики: Підручник. — К.: Таксон, 2004. — 704 с.

Надійшла до редколегії 20.02.2009

ДО ВІДОМА АВТОРІВ.....	3
------------------------	---

Технологія

<i>Осейко М.І., Шеманська Є.І., Геращенко Т.М.</i> Дослідження фосфоолієвмісних матеріалів і місел у системі ктіол	5
<i>Пирог Т.П., Антонюк С.І., Сорокіна А.І.</i> Перспективи використання поверхнево-активних речовин <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> К-4 для деградації нафтових забруднень	8
<i>Пирог Т.П., Шевчук Т.А., Клименко Ю.О., Тарасенко Д.О.</i> Особливості синтезу трегалозоміколатів за різних умов росту <i>Rhodococcus erythropolis</i> Ек-1 на етанолі і гексадекані	11
<i>Мукоїд Р.М., Ємельянова Н.О., Українець А.І., Свидинюк І.М.</i> Амінокислотний склад білків зерна різних сортотипів вівса	14
<i>Кравцова О.В., Скорченко Т.А.</i> Якість кисломолочного напою залежно від способу збагачення його харчовим волокном «Фіброгам»	16
<i>Зубченко В.С., Вітряк О.П., Ткаченко Л.В.</i> Підвищення біологічної стійкості ферментованих напоїв шляхом НВЧ-оброблення	20
<i>Зубченко В.С., Ткаченко Л.В., Процан Н.В.</i> Зміна метаболізму спиртових дріжджів під дією магнітного поля	22
<i>Бучек В.И., Тимченко В.К.</i> Технологічні аспекти гідрогенізації пальмової олії та пальмового олеїну	25
<i>Грищенко Ф.В.</i> Технологічні процеси в харчовій промисловості: зовнішнє порівняння показників розвитку національної нормативної бази	28
<i>Анісімова С.І., Волошина О.С., Антонюк М.М.</i> Ожиріння та методи його лікування	33
<i>Цирульнікова В.В., Войтович О.Б., Олянська С.П., Купчик М.П.</i> Доцільність використання фільтроперліту для покращення якісних показників очищеного соку	38

Процеси та обладнання

<i>Смірнова Г.В., Мазуренко О.О., Мазуренко О.Г., Смірнов В.С.</i> АЧХ-тести для стандартизації та ідентифікації технологічних середовищ	42
<i>Палаш А.А., Бут С.А., Таран В.М.</i> Термодинаміка і масообмін в процесах аерації рідинних середовищ	45
<i>Лобок О.П., Гончаренко Б.М.</i> Синтез оптимальних асимптотично стійких спостерігачів неповного порядку для лінійних динамічних багатомірних об'єктів	48
<i>Шинкарик М.М., Ворощук В.Я., Єресько Г.О., Кимачинський С.І.</i> Витрати енергії при механічній обробці продуктів в емульсорах роторно-вихрового типу	52
<i>Піддубний В.А., Білик О.А.</i> Інтенсифікація масообмінних процесів в газорідинних середовищах	56
<i>Піддубний В.А.</i> Енергетичні впливи явищ коаліценсії газової фази	59
<i>Верченко Л.М., Кос Т.С., Попова І.В.</i> Лабораторний пристрій для проведення процесу карбонізації	62
<i>Бут С.А., Костюк В.С., Васильківський К.В.</i> Особливості тепло-і масообмінних процесів в термодинамічних циклах	64
<i>Кулінченко В.Р., Деменюк О.М.</i> Динаміка піноутворення в'язкої рідини з бульбашками	68
<i>Кроніковський Д.О., Ладанюк А.П.</i> Застосування багатопараметричних регуляторів для складних технологічних об'єктів	73
<i>Глущенко М.С., Трегуб В.Г.</i> Оптимізація процесу кристалізації за ситуаційним підходом	76
<i>Палаш А.А., Шевченко О.Ю., Соколенко А.І.</i> Особливості масообміну в газорідинних культуральних середовищах	79
<i>Павлов С.О., Соколенко А.І., Васильківський К.В.</i> Кінематика і динаміка створення збільшених вантажних одиниць	82

<i>Мирончук В.Г., Пономаренко В.В., Лудченко С.А.</i> Методика розрахунку розпилюючого абсорбера двосекційного сатуратора	84
<i>Мирончук В.Г., Єщенко О.А.</i> Методика моделювання процесу промислової кристалізації цукрози	87
<i>Фалес В.М., Хіврич О.В., Литвиненко А.М.</i> Аналіз виробництва та застосування лимонної кислоти	91
<i>Павлов С.О., Шевченко О.Ю.</i> Особливості кінематики і динаміки орієнтувальних пристроїв	94
<i>Фролова Н.Е., Українець А.І., Силка І.М.</i> Спосіб імітованої дистиляції — раціональна основа фракційної перегонки ефірних олій	96
<i>Пушанко М.М., Хоменко О.І., Абрамов О.Б.</i> Роль сторонніх впливів при сухому очищенні бурякосировини	100
<i>Василенко С.М., Ващук Т.О., Бондар В.І., Шутюк В.В., Самійленко С.М.</i> Теплообмін у плівкових течіях у роторно-плівкових апаратах із роторами спірального типу	103

Економіка

<i>Репіч Т.А.</i> Удосконалення управління асортиментом на сучасних підприємствах в умовах кризи	109
<i>Скригун Н.П.</i> Використання портфельного аналізу в маркетинговому стратегічному плануванні	112
<i>Стретович О.</i> Стратегії виробничих компаній в ринкових умовах	115
<i>Суха І.В.</i> Вплив конкурентоспроможності торгових марок на конкурентні позиції молокопереробних підприємств в сегменті питного молока	118
<i>Ткаченко О.М.</i> Умови існування вільної конкуренції на товарних ринках України	122

Наукове видання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ХАРЧОВА ПРОМИСЛОВІСТЬ

Науковий журнал

№8

Київ, НУХТ

Журнал “Харчова промисловість” зареєстрований президією ВАК України (постанова № 1-05/1 від 15.01.03 р.) як наукове видання з технічних наук.

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 6890 від 23.01.03 р.

Засновник і видавець: Національний університет харчових технологій

Журнал є продовженням міжвідомчого тематичного збірника “Харчова промисловість”, заснованого в 1965 р. Виходить два рази на рік

Видання подається в авторській редакції

Комп’ютерна верстка *М.О. Каленкової*

Підп. до друку 11.09.09 р. Обл.-вид. арк. 18,32. Наклад 300 пр.

Формат 60 × 80/8. Вид. № 19/09. Зам. № 17-09

РВЦ НУХТ, 01033, Київ-33, вул. Володимирська, 68

www.book.nuft.edu.ua

Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.