

УДК 004.021:664.1

**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ЗАКЛЮЧНОГО
ОЧИЩЕННЯ ДИФУЗІЙНОГО СОКУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ
ТЕНЗОРНОГО АНАЛІЗУ**

В. М. Сідлецький, кандидат технічних наук, доцент

Н. С. Федорич, студент

Національний університет харчових технологій

email: vmsidletskiy@gmail.com

Анотація. *Наведено приклад використання тензорного аналізу в автоматизованій системі керування апаратами ділянки другої сатурації, де необхідно врахувати зміну роботи технологічного обладнання та зміну налаштувань для регуляторів. Значення рН підбирають залежно від вмісту нецукрів в соку та його кольоровості, від яких залежить необхідність та кількість подачі на другу сатурацію вапнякового молока. Тобто, для процесу другої сатурації значення витрати молока та значення рН можуть вибиратися у діапазоні значень, який суттєво змінюються залежно від стану дифузійного соку, що в свою чергу спричиняє зміну технологічного режиму і як наслідок зміну роботи системи керування. Показано використання тензора для опису технологічного процесу та процесу керування, з можливістю як структурної зміни (при зміні підходів до керування), так і адаптації, при коригуванні технологічного режиму. Саме тому вибір тензорного аналізу для моделювання процесів на ділянці апаратів другої сатурації є найбільш доцільним.*

Ключові слова: *друга сатурація, система керування, тензор, базис*

Актуальність. До однієї із основних стадій заключного очищення дифузійного соку входить ділянка другої сатурації (рис.1) – це стадія очищення дифузійного соку вапном та діоксидом вуглецю від нецукрів (сокоочисне відділення) [1]. Схема очищення дифузійного соку на ділянці другої сатурації складається з таких основних операцій: підігрівання; гарячий дефекатор; апарат другої сатурації. Це є універсальна схема, в якій передбачена можливість очищення дифузійного соку різними варіантами, що вибираються залежно від якості перероблюваного буряка, тобто якості дифузійного соку.

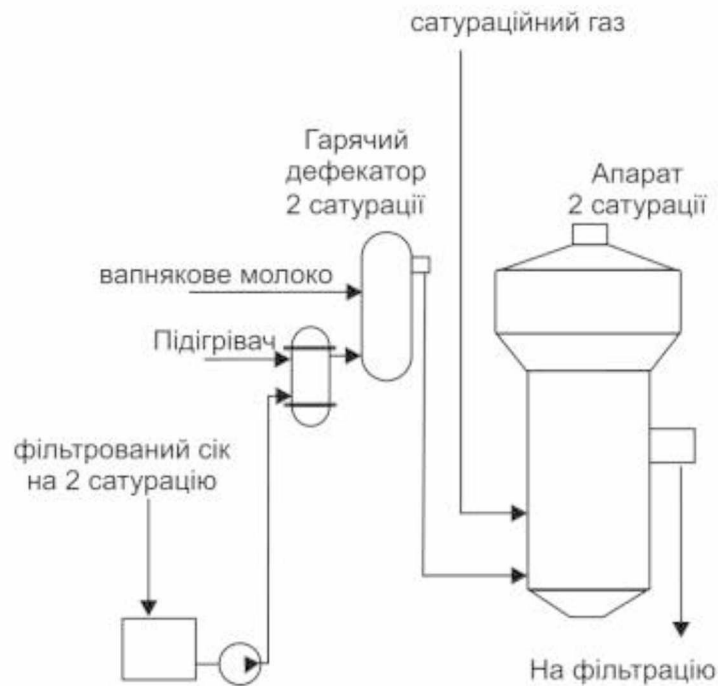


Рис 1. Спрощена схема технологічної ділянки 2 сатурації

Різні варіанти обробки дифузійного соку на станції дефекосатурації передбачають зміну роботи технологічного обладнання, як введення в роботу апаратів, так і виключення їх із роботи, а також можливу зміну параметрів технологічного режиму в регламентних межах (таблиця). Тобто залежно від якості перероблюваного буряка технологічний процес (кількість та послідовність працюючого обладнання) та технологічний режим будуть підбиратися для досягнення відповідних показників якості дифузійного соку на виході апарату другої сатурації, а також техніко-економічних показників всього підприємства, та будуть накладені обмеження по використанню ресурсів і часу проходження технологічного процесу.

Зміни в технологічному процесі також накладають вимоги до системи керування цією ділянкою. Це пов'язано насамперед із тим, що при зміні роботи технологічного обладнання потрібно і змінювати задані значення для регуляторів (як наслідок можуть виникнути затяжні перехідні процеси), так і

змінювати налаштування самих регуляторів: пропорційну, інтегральну та диференційну складові. Але при цьому необхідно зауважити, що при зміні ведення технологічного процесу самі підходи до керування можуть також змінитися.

Параметри технологічного режиму ділянки 2 сатурації

	Гаряча дефекація перед 2-ю сатурацією	2 сатурація
Температура процесу, °С	95	95
Тривалість процесу, хв	5,0-5,8	10,0
Витрата вапна, % СаО до маси буряка	0,2-0,5	0,25
Лужність соку за допомогою фенолфталеїну, % СаО	0,3-0,5	0,015-0,035
pH ₂₀ соку		9,6 ± 0,1
Вміст СО ₂ в сатураційному газі, не менше, %		28

Тобто для процесу очищення дифузійного соку характерна значна варіативність, але наведена варіативність відносилася до технологічного процесу. Така ж ситуація і є по відношенню до системи керування.

Для другої сатурації характерними є декілька підходів до керування, найбільшого поширення набула схема керування подачею вапнякового молока за співвідношенням до витрати дифузійного соку та подачею сатураційного газу зв відхиленням величини рН на виході із сатуратора. Кращі показники регулювання тоді, коли сатураційний газ подається за співвідношенням кількості дифузійного соку до кількості газу із корекцією за рН на виході та за вмістом СО₂ в сатураційному газі.

Для вибору способу керування та налаштування регуляторів необхідне чітке розуміння технологічного процесу: фізико-хімічні складові, час його проходження, інерційність, транспортне запізнення процесу. Саме тому в процесі керування широко використовується моделювання, як технологічного

процесу так і процесів керування. Використання моделей вносить розуміння причино наслідкових зв'язків, та полегшує вибір підходів керування. Нині для моделювання широко використовують методи диференціальних та алгебраїчних рівнянь, але розроблена модель повинна враховувати всі вхідні та вихідні параметри технологічного процесу; мати можливість структурної зміни (тобто мати можливість включення або виключення із моделі окремих елементів які пов'язані із роботою окремих технологічних апаратів); можливість реагувати на зміну діапазону управляючих діянь; враховувати попередні технологічні процеси та мати здатність інтегруватись у наступні моделі або розрахунки керуючих дій. Тобто розроблена модель процесу очищення дифузійного соку та керування цим процесом повинна враховувати всі можливі варіанти роботи та надати можливість провести їх аналіз, рішення.

Саме тому в цій роботі запропоновано використати методи тензорного аналізу для розробки компонентів моделі та виконання розрахунків в системі керування процесом очищення дифузійного соку. Тензорний аналіз дозволяє спростити процес моделювання практично для будь-якої області за рахунок введення категорії багатовимірному простору. Розроблена тензорна модель дозволяє описувати всі задачі незалежно від їх складності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тензор узагальнює поняття скаляра, вектора і матриці. При цьому правила перетворення компонента тензора влаштовані так, що ми можемо конструювати нові тензори з наявних за деякими простими правилами.

Тензорний аналіз є узагальненням понять з векторного аналізу та дозволяє об'єднати масиви даних та фізичні величин складної природи, які не можуть бути описані або представлені у вигляді скалярів або векторів [2]. Тому використання тензорного методу для побудови моделі виробничого процесу є найбільш виправданим.

Тензорний аналіз та тензорне розкладання стали застосовуватися для розробки нейронних мереж, проектування систем штучного зору, обробки сигналів, обробки та аналізу даних [3].

Насамперед тензор – це математичний об'єкт, який не залежить від зміни системи координат, але його компоненти при зміні системи координат перетворюються за певними математичними законам. Із тензором тісно пов'язаний його ранг і він може бути: нульового, першого, другого і так далі, рангу. Тензор нульового рангу – це скаляр і є наслідком прямого вимірювання параметра, наприклад, температури, густини, витрати, тиску тощо. Більш складніші вимірювання, наприклад, спектроскопія дозволяє отримати комплекс параметрів, який можна задати у вигляді вектора – це тензор першого рангу. У двовимірному просторі тензор другого рангу найпростіше уявити як матрицю, яка описує неоднорідність заданого простору та діє на вхідний вектор, змінюючи його напрям і масштаб. Як правило, для аналізу комплексних даних n -го порядку формується тензор n -го рангу який використовується для моделювання функцій великого числа змінних.

Теорія тензорного аналізу дозволяє спростити моделювання законів практично для будь-якої області за рахунок введення категорії багатовимірною простору. Вона дозволяє описувати всі поверхні незалежно від їх складності. Тензорний аналіз та тензорне розкладання стали застосовуватися у багатьох областях, наприклад, нейронні мережі, проектування систем штучного зору, обробки сигналів та обробки і аналізу даних. Тензорний аналіз представляє собою узагальнення понять з векторного аналізу та дозволяє об'єднати масиви даних і фізичні величин складної природи, які не можуть бути описані або представлені у вигляді скалярів або векторів. Тому використання тензорного методу для побудови моделі виробничого процесу є найбільш виправданим.

Для роботи із тензорами широко використовуються програмні пакети для ЕОМ. Вони дозволяють вирішувати завдання представлення та обробки даних у

вигляді тензорів. Ці програмні пакети застосовуються для обробки сигналів, систем контролю, нейронних мереж, нечіткої логіки, статистичної обробки та моделювання.

Мета дослідження – використання методів тензорного аналізу для розробки компонентів моделі та виконання розрахунків у системі керування процесом очищення дифузійного соку.

Матеріали та методи дослідження. Системи керування 2-ю сатурацією діляться на системи стабілізації рН соку і системи оптимізації за мінімумом солей юкальцію. Найпростіша і найпоширеніша схема керування 2-й сатурацією передбачає стабілізацію величини рН шляхом зміни подачі газу в апарат, але така схема не враховує подачі вапна в апарат, що значно погіршує якість регулювання. Тому ця схема доповнюється регулюванням співвідношення «сік - вапняне молоко», де які регулюючий орган використовується дільник вапняного молока.

На рис 2 показана структурна схема керування частиною обладнання цукрового заводу, до якої входить апарат другої сатурації

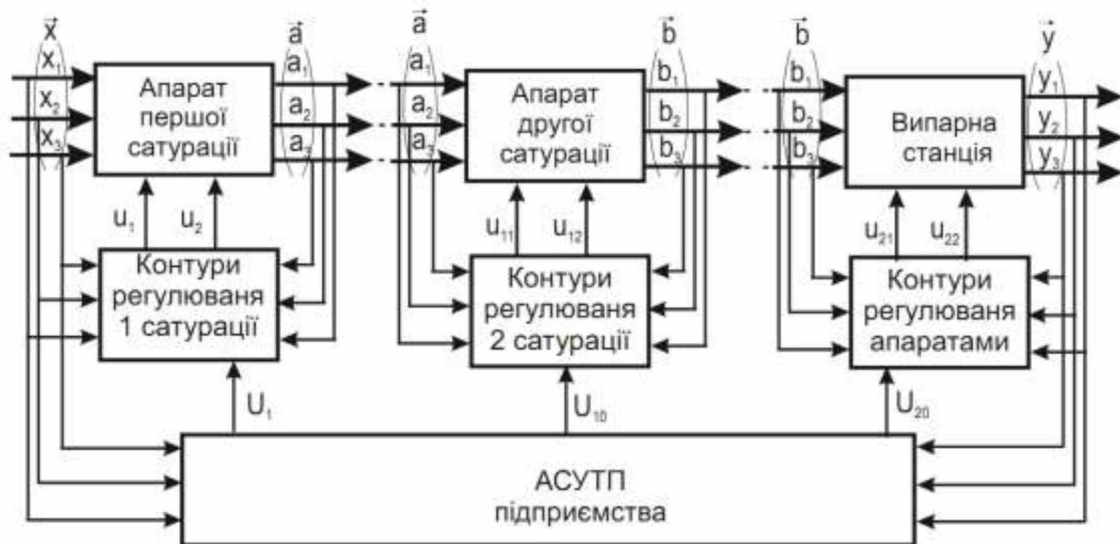


Рис 2. Структурна схема керування частиною обладнання цукрового заводу з апаратом другої сатурації

Виходячи із рис 2, можна побачити, що система керування апаратом другої сатурації посідає важливе місце в системі керування всього підприємства. При цьому можна відмітити, що складність задачі керування подачею вапнякового молока та сатураційного газу на невелику ділянку сокоочисного відділення з'являється в процесі формування підходу до регулювання, а якщо при цьому ще і врахувати множину можливих варіантів підтримання співвідношення, то можна із впевненістю судити про необхідність застосування моделей при формуванні керуючих діянь та перевірці процесу керування. При чому модель повинна передбачати можливість як структурної зміни (при зміні підходів до керування) так і адаптації при коригуванні технологічного режиму. Саме тому вибір тензорного аналізу до моделювання процесів на ділянці апаратів другої сатурації є найбільш доцільним.

Результати досліджень. Якість проходження кожного технологічного процесу характеризується наборами значень вхідних та вихідних параметрів. Якщо прийняти, що для станції сокоочищення є вектор вхідних змінних \vec{x} , що матиме такі складові як витрата дифузійного соку, температура, вміст в соку нецукрів (пульпа, пектинові речовини, слабкі азотисті основи, солі органічних і неорганічних кислот, білок, амінокислоти), значення рН, витрата вапна, витрата сатураційного газу, кольоровість; та вектор вихідних змінних \vec{y} . Вектор вихідних змінних для ділянки дефекосатурації матиме такі складові: температура соку, лужність соку, рН, вміст нецукрів, кольоровість соку, чистота соку. Як і всі моделі, тензорна модель A буде виконувати перетворення вектору вхідних параметрів \vec{a} у вектор вихідних параметрів \vec{b} , тобто тензор \underline{A} -, відображає \vec{x} в \vec{b} .

$$\vec{b} = \underline{A}\vec{a} \quad (1)$$

Якщо записати вектори \vec{a} і \vec{b} у вигляді стовпців, а тензор у вигляді матриці, то вираз (1) набуде виду

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1j} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{i1} & A_{i2} & \dots & A_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_i \end{pmatrix} \quad (2)$$

Але тензор \underline{A} описує тільки технологічний процес, тому для даного випадку потрібно також задати й керуючі дії для процесу, тому до виразу (1) потрібно додати ще вектор керування \vec{u} , і відповідно вектори базису: вапнякове молоко ($\approx 0,25$ % до маси буряку), витрата сатураційного газу ($\approx 1,2$ % до маси буряку). Відповідно вираз (1) набуде такого вигляду:

$$b_j = A_{ji}^k a_i u_k \quad (3)$$

У процесі сатурації соку вміст солей кальцію в розчині підтримується мінімальним, для якого є відповідне значення рН соку. Тобто значення рН підбирають залежно від вмісту нецукрів в соку та його кольоровості, але від цих показників залежить необхідність та кількість подачі на другу сатурацію вапнякового молока.

Тобто, для процесу другої сатурації значення витрати молока та значення рН можуть вибиратися у діапазоні значень, який суттєво змінюються залежно від стану дифузійного соку, а це в свою чергу спричиняє зміну технологічного режиму і як наслідок зміну роботи системи керування. Зміна режиму спричинить зміну базису для тензорної моделі. Графічне представлення зміни базису для системи із трьох координат можна показати переміщенням за логарифмічною функцією із поворотом системи (рис 3).

Як показано на рис.3, при зміні базису змінюються і компоненти тензора. Тому компоненти тензора потрібно перерахувати відповідно із новим базисом і,

як наслідок, проводиться перевірка отриманих результатів, а саме чи утворює новий набір чисел тензор.

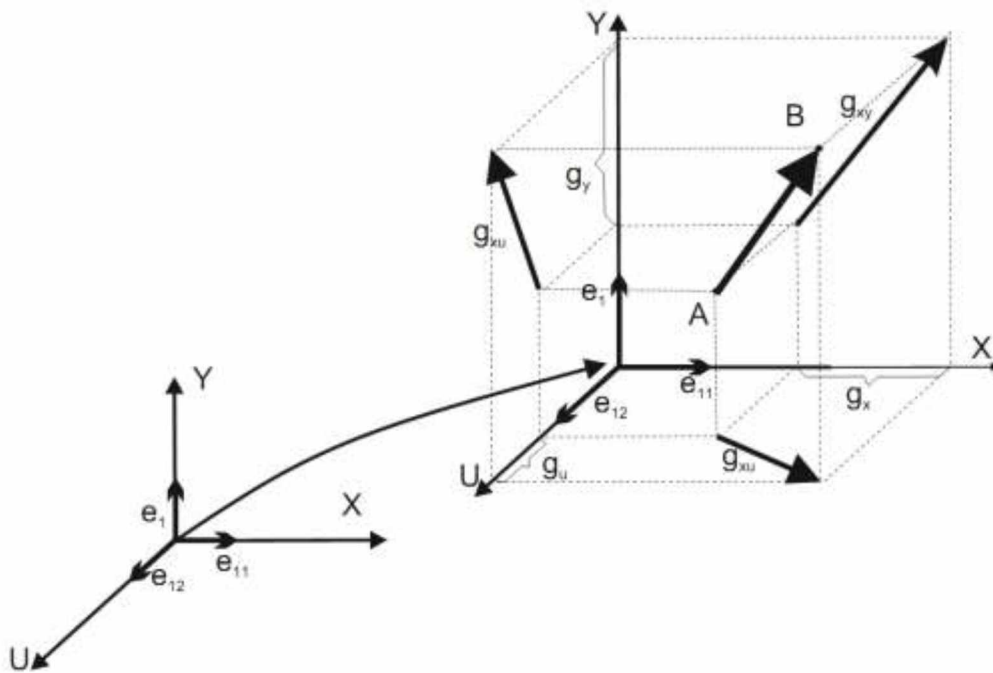


Рис 3. Графічне представлення зміни базису

При моделюванні промислових об'єктів тензори дозволяють не тільки побудувати модель багатомірного об'єкту, а й проводити над нею алгебраїчні операції: об'єднання тензорів, їх додавання та множення. Тобто виконуючи алгебраїчні операції над тензорами технологічних ділянок та рівнів керування, формується тензорна модель для всього підприємства та відповідно до всіх ієрархій керування.

Для використання сформованого тензора як моделі технологічного процесу для автоматизованої системи керування, а саме для розрахунку керуючої дії чи знаходження прогнозованого значення, проводиться зменшення розмірності тензора до розмірності вхідної інформації. Для цього використовують математичний апарат зменшення розмірності тензора, а саме тензорне розкладання. Це дає змогу розкладати багато просторові тензори з виділенням необхідних компонентів для їх подальшого аналізу. Таким чином, можливо об'єднати в один масив дані з різних сфер діяльності підприємства.

Висновки і перспективи подальших наукових досліджень

Унікальна властивість використання тензорів у системі керування ділянкою другої сатурації полягає в тому, що тензори можуть бути як скалярами, так і векторами, тому тензорний аналіз можна розглядати як розширення і узагальнення векторного аналізу від три- до n- вимірних просторів. При чому, якщо є тензори для технологічного апарату або лінії, то за необхідності моделі ділянки підприємства або всього виробництва тензори можна додавати та множити. При цьому будуть сформовані нові тензори, тобто буде розроблена нова тензорна модель, як для ділянки, так і всього підприємства, яку можна використовувати для розрахунків в системі автоматизації всього підприємства..

Список літератури

1. Сидлецкий В. М. АСУ станциями сокодобывания и сокоочистки / В. М. Сидлецкий, В. М. Кушков, С. М. Швед. // Автоматизация в промышленности – 2008. – №2. – С. 26-29.
2. L.J. Vega Montoto. Maximum Likelihood Methods for Three-Way Analysis in Chemistry., Ph.D. dissertations, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 2005. 217p.
3. Cichocki A. Nonnegative Matrix and Tensor Factorizations: Applications to Exploratory Multi-way Data Analysis and Blind Source Separation. Chichester/A. Cichocki, R. Zdunek, A.-H. Phan, and S. Amari. – U.K.: John Wiley&Sons Ltd, 2009. – 407p.

References

1. Sidletskiy, V. M., Kushkov, V.M., Shved, S.M. (2008). ASU stantsiyami sokodobyvaniya i sokoochistki [ACS for juice production and juice cleaning stations]. Avtomatizatsiya v promyishlennosti. 2, 26-29.
2. L.J. Vega Montoto. (2005) Maximum Likelihood Methods for Three-Way Analysis in Chemistry., Ph.D. dissertations, Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia, 217.
- 3., Cichocki, A., Zdunek, R., Phan, A.-H., Amari, S. (2009) Nonnegative Matrix and Tensor Factorizations: Applications to Exploratory Multi-way Data Analysis and Blind Source Separation. Chichester. U.K.: John Wiley&Sons Ltd. 407.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ДИФУЗИОННОГО СОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ТЕНЗОРНОГО АНАЛИЗА

В. М. Сидлецкий, Н. С. Федорыч

Аннотация. Приведен пример использования тензорного анализа в автоматизированной системе управления аппаратом участка второй сатурации, где необходимо учесть изменение работы технологического оборудования и изменение настроек для регуляторов. Значение рН подбирают в зависимости от содержания несахаров в соке и его цветности, от которых зависит необходимость и количество подачи второго сатурацию известкового молока. То есть, для процесса второй сатурации значение расхода молока и значение рН могут выбираться в диапазоне значений, который существенно меняется в зависимости от состояния диффузионного сока, а это в свою очередь влечет за собой изменение технологического режима и как следствие изменение работы системы управления. Показано использование тензора для описания технологического процесса и процесса управления, с возможностью как структурного изменения (при изменении подходов к управлению), так и адаптации, при корректировке технологического режима. Именно поэтому выбор тензорного анализа к моделированию процессов на участке аппаратов второй сатурации является наиболее целесообразным.

Ключевые слова: *вторая сатурация, система управления, тензор, базис*

THE METHOD OF TENSOR ANALYSIS FOR USING IN PROCESS CONTROL SYSTEM FINAL EXTRACT PURIFICATION

V. Sidletskyy, N. Fedorych

Abstract. *This article shows an example of the use of tensor analysis in an automated machine control system portion of the second carbonation. To effectively manage the portion of the second carbonation should consider a change of technological equipment and change settings for the controller. That is, the pH is adjusted depending on the content of non-sugars in the juice and its color, but these figures depend on the need and the amount of feed and the second carbonation of milk of lime. That is, for the process of the second saturation value of flow of milk and the pH may be selected within the range, the ranges of these values vary significantly, depending on the state of diffusion juice, which in turn causes a change in the process regime and consequently a change of the system management. The article shows how to use the tensor to describe the process and management process, to be able, as a structural change (a change management approaches) as well as adaptation to adjust the technological regime. That is why the choice of tensor analysis to modeling of processes in the area of the second carbonation devices is the most appropriate.*

Key words: *second saturation, control system, tensor, basis*