

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ
ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ
КАТЕГОРІЙНО-ФУНКТОРНОГО АНАЛІЗУ**

М. А. СИЧ, кандидат технічних наук, асистент
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
E-mail: sm.nuft@gmail.com

***Анотація.** У сучасних умовах актуальною є розробка теорії керування структурною динамікою складних технологічних систем. Дана теорія дає можливість вирішити проблему багатоструктурного синтезу складних технологічних систем на різних етапах їх життєвого циклу з позиції єдиних управлінських рішень.*

Як базові принципи, покладені в основу даної теорії, було обрано принципи полімодельності та багатокритеріальності, що використовувалися під час комплексного опису та дослідження задач аналізу і синтезу інтелектуальних інформаційних технологій моніторингу та керування структурною динамікою складних технологічних систем. Формалізацію даних процесів доцільно здійснювати на основі структурно-математичного і категорійно-функторних підходів, розроблених у сучасній математиці.

На основі категорійно-функторного аналізу досліджено структурні особливості об'єкта в динаміці, які ситуаційно проявляються у взаємозв'язку, структуровані показники та зв'язки між ними, що значно підвищує ефективність прийняття рішень в умовах невизначеності. Розглянуто проблеми формалізації знань в основу яких покладено математичні теорії категорій та функторів для цукрового виробництва. Опис функторів здійснено у вербальній формі, у вигляді продукційних правил. Проведені дослідження в перспективі дають можливість побудувати сценарії керування технологічним комплексом цукрового заводу.

***Ключові слова:** технологічний комплекс, цукровий завод, категорійно-функторний аналіз, продукційні правила*

Актуальність. Технологічні комплекси (ТК) неперервного типу, зокрема ТК цукрового заводу, з точки зору задач керування, відрізняються багатовимірністю. Варто також відзначити, що ТК цукрового заводу наявні всі характерні ознаки складної організаційно-технологічної системи. Такі об'єкти керування являють собою сукупність різних підсистем, зв'язаних між собою процесами інтенсивної взаємодії та обміну енергією, речовиною та інформацією. Ці підсистеми є нелінійними, багатомірними та складнозв'язаними [1].

Враховуючи вищенаведені особливості функціонування ТК цукрового заводу, постає необхідність розгляду структурних особливостей об'єкта в динаміці, що в результаті може становити основу для розробки ефективних стратегій керування цукровим виробництвом.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Опис організаційно-технічних систем, які містять множину елементів, включає синтез конструктивної математичної моделі, що дає змогу враховувати множину неформалізованих, випадкових впливів, які, у свою чергу, діють на процес функціонування системи [2, 3]. Категорійно-функторний підхід передбачає проектування системи на деяку сукупність "споріднених" нею систем і за властивостями проєкцій дає можливість формулювати внутрішню структуру досліджуваної системи [4]. При цьому необхідно відзначити, що, якщо існує інваріантність способів опису різних об'єктів, результати не залежать від засобів опису, а об'єкт залишається цілісним [5].

Сучасні методи досліджень, такі як, категорійно-функторний аналіз, враховуючи складність технологічних процесів та мінливість досліджуваних параметрів, слід використати для технологічного комплексу цукрового заводу.

Мета дослідження – підвищення якості проходження технологічних процесів на ТК цукрового заводу, шляхом комплексного підходу до керування на основі категорійно-функторного підходу

Матеріали і методи дослідження. Для оцінки ефективності рішень щодо керування ТК доцільним є використання цільового аналізу виробничих ситуацій. У процесі проведення поточного цільового аналізу виробничих ситуацій одночасно вирішуються три задачі: формування класів ситуацій; віднесення поточної ситуації до одного зі сформованих класів; спрямований пошук умов компенсації відхилень за заданими показниками поточної ситуації.

Реалізація першої задачі здійснюється на підставі опрацювання статистичних даних про роботу підприємства за минулий період, які повинні включати інформацію про технічний стан устаткування, технологічні умови роботи і відхилення за експлуатаційними показниками, що характеризує виробничі ситуації.

Під час опрацювання статистики варто також враховувати вплив керуючих рішень на результати роботи підприємства в минулому й взаємозв'язки між виникаючими ситуаціями. Крім статистичних даних, при розрахунках використовуються якісні ознаки, які формулює технолог, виходячи із цілей ситуаційного регламентування [4, 6].

Показники, що характеризують конкретну ситуацію, вимірюються різними чисельними методами і вимірювальними засобами. Результати таких вимірювань становлять суми вигляду:

$$X_{ijk} = a_i + b_{ij} + y_{ijk}, \quad i = I, \dots, J; \quad j = I, \dots, Y; \quad k = I, \dots, K, \quad (1)$$

де y_{ijk} – випадкова помилка k -го вимірювання;

a_i – істинне значення вимірюваної величини;

b_{ij} – систематична помилка при вимірюванні.

Фактори впливу на параметри проблемних ситуацій та їх ефективність можна визначити на основі перевірки гіпотези відсутності впливу параметрів суміжних ситуацій. При цьому критерієм є дисперсійне відношення:

$$F = \sigma_1 / \sigma_2, \quad (2)$$

де σ_1 – дисперсія параметрів ситуацій, одержуваних після реалізації управлінських рішень;

σ_2 – дисперсія параметрів, що характеризують суміжні ситуації.

Якщо F суттєво відрізняється від 1, гіпотеза не підтверджується, тобто параметри і фактори впливу визначені правильно. Точне значення поняття значущої відмінності F від 1 можна сформулювати тільки лише з урахуванням знання закону розподілу випадкових помилок. Запропонований цільовий аналіз виробничих ситуацій дає можливість описати процес прийняття рішень математично, створювати високоадаптивні алгоритми керування, формулювати управлінські впливи в стандартних ситуаціях, давати оцінку якості прийнятих рішень і професійних навичок фахівців [5].

Результати досліджень та їх обговорення. Якість роботи дифузійної станції характеризується якісними показниками дифузійного соку та втратами цукру в процесі висолоджування. Якщо доброякісність дифузійного соку не нижче, ніж 88 %, то він вважається нормальної якості. Величина рН дифузійного соку повинна бути в межах 6,0–6,2, а сік повинен містити мінімум пульпи.

Втрати цукру складаються з втрат цукру з жомом і неврахованих втрат. На втрати цукру впливають такі фактори: товщина стружки, поверхня, величина відбору соку, температура і час екстрагування. При правильній роботі апаратів і дотриманні технологічного режиму (температурного, дезінфекції буряка і стружки в апараті), невраховані втрати можна знизити до 0,05 % до маси буряка.

Вищезазначене дає змогу зробити висновок, що якість готового продукту (дифузійний сік), сировини (стружка) та соку стружкової суміші можна розглядати як складну систему за допомогою структурно-алгебраїчних методів, заснованих на категорійно-функторному підході.

Це можна пояснити тим, що в дефініціях "категорія" – "якість" поєднуються властивості системності та інтегрованості. У теорії категорій та функторів визначення властивостей системи здійснюється не на основі розгляду її елементів, а через зовнішні зв'язки, тобто елементи повністю визначаються тільки своїми зв'язками з іншими елементами. Така постановка зумовлена тим, що за допомогою графових конструкцій можна пояснити складні зв'язки окремих показників якості.

На рис. 1 подано процес перетворення функторів для дифузійного відділення.

У категорії множин усі однозначні відображення є морфізмами, і в цьому випадку вони дозволяють порівнювати об'єкти, знаходити в них схожі (ізоморфні) елементи. Об'єктами категорії можуть бути не тільки математичні моделі системи, але й фізичні процеси (виробництво,

проектування і т.д.). У цьому разі, морфізмами будуть реальні відносини між цими об'єктами. Категорія вважається заданою, якщо визначений клас об'єктів представлених структурованими множинами, а також відповідна множина морфізмів між ними.

На рис. 2 представлено процес перетворення функторів для сокоочисного відділення.

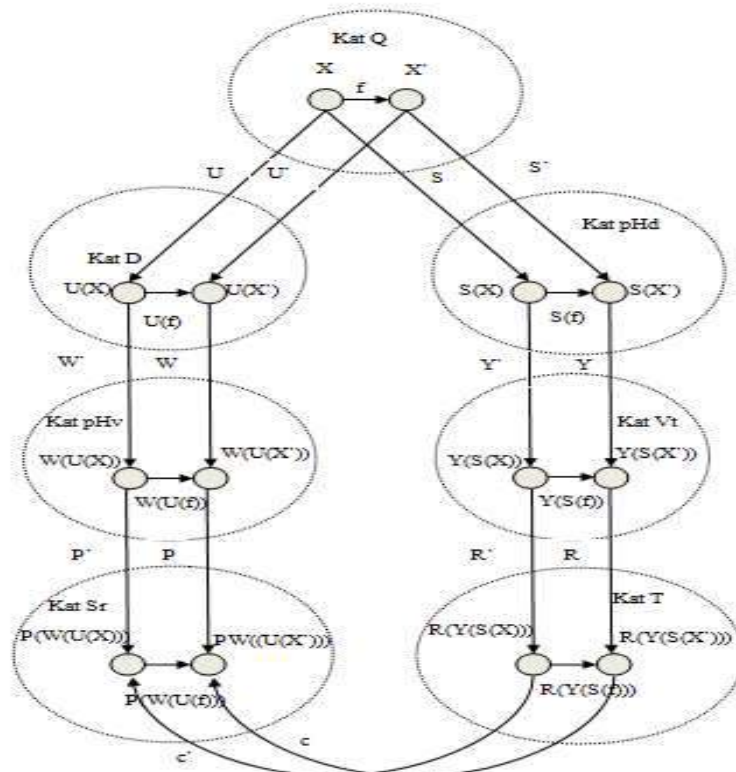


Рис. 1. Процес перетворення функторів для одержання дифузійного соку: Kat Q – категорія «доброякісність дифузійного соку», Kat D – «категорія дигестія»; Kat pHv – категорія «значення рН живильної води»; Kat Sr – категорія «сухі речовини»; Kat pHd – категорія «значення рН дифузійного соку»; Kat Vt – категорія «втрати цукру в жомі»; Kat T – категорія «тривалість процесу екстракції».

S, U – функтори, що відповідають об'єктам X та X' та морфізму f категорії «Kat Q» та зіставляють елементи даної категорії з елементами категорії «Kat D» та категорії «Kat pHd», відповідно; Y, W – функтори, що відповідають об'єктам та морфізмам категорій «Kat D» та категорії «Kat pHd», та зіставляють елементи цих категорій з елементами категорій «Kat pHv» та категорій «Kat Vt», відповідно; R, P – функтори, що відповідають об'єктам та морфізмам категорій «Kat pHv» та «Kat Vt» та зіставляють елементи цих категорій з елементами категорій «Kat Sr» та категорії «Kat T», відповідно; S(X), S(X'), S(f) – образи: об'єкти та морфізми категорії «Kat pHd»; U(X), U(X'), U(f) – образи: об'єкти та морфізми категорії «Kat D»; Y(S(X)), Y(S(X')), Y(S(f)) – образи: об'єкти та морфізми категорії «Kat Vt»; W(U(X)), W(U(X')), W(U(f)) – образи: об'єкти та морфізми категорії «Kat pHv»; R(Y(S(X))), R(Y(S(X'))), R(Y(S(f))) – образи: об'єкти та морфізми категорії «Kat T»; P(W(U(X))), P(W(U(X'))), P(W(U(f))) – образи: об'єкти та

морфізми категорії «Kat Sr»; c, c' – морфізми, що зв'язують об'єкти $Y(S(X)), Y(S(X'))$ з $W(U(X)), W(U(X'))$, відповідно.

Умова морфізму функторів для c, c' буде виконуватися при:
 $c \oplus R(Y(S(f))) = P(W(U(f))) \oplus c'$.

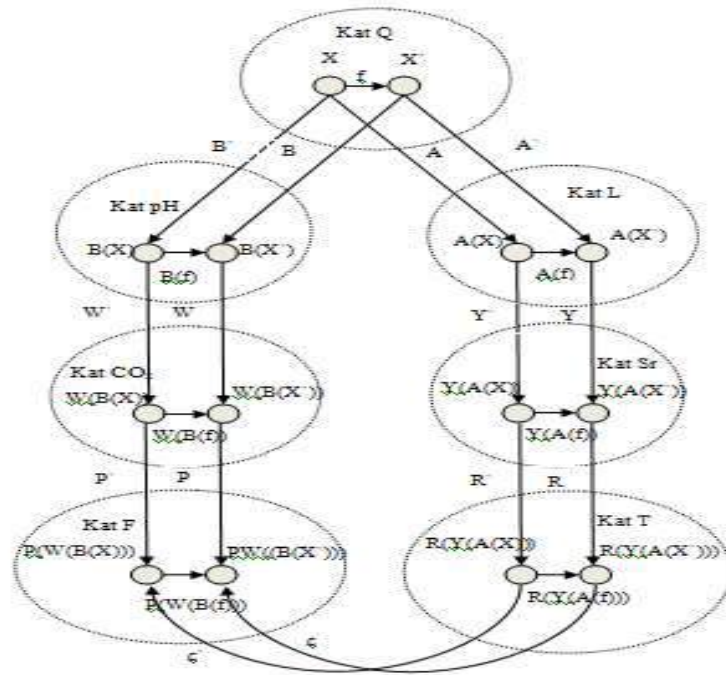


Рис. 2. Процес перетворення функторів для очищення дифузійного соку

У вигляді продукційних правил здійснено опис функторів у вербальній формі (рис. 3). При цьому ситуацію було визначено як :

$$S(t) = J^{(i)}(x^{(i)}(t_i), y^{(i)}(t_i), t_i) \quad 0 \leq t_i \leq t, i = 0, 1, \dots, s; t_0 = 0, \quad (3)$$

де $J = (x(t), y(t), t)$ – очікувана подія;

i – кількість подій, що характеризують дану ситуацію;

t – момент часу, в який визначається ситуація відповідно до продукційних правил вибору $\bar{A}^{(t)}$;

$x(t), y(t)$ – реалізація нечітких значень, відповідно, вхідних та вихідних змінних, отриманих в момент часу t .

- ⇨ If (витрата бурякової стружки is норма) and (дигестія is норма) and (температура дифузійного соку is норма) and (витрата дифузійного соку is норма) and (сухі речовини is норма) and (значення рН дифузійного соку is норма) and (доброякісність is норма) (значення рН живильної води is норма) and (тривалість процесу екстракції is норма) then (втрати цукру в жомі is низькі)
- ⇨ If (витрата бурякової стружки is норма) and (дигестія is норма) and (температура дифузійного соку is висока) and (витрата дифузійного соку is норма) and (сухі речовини is низькі) and (значення рН дифузійного соку is норма) and (доброякісність is низька) (значення рН живильної води is низьке) and (тривалість процесу екстракції is норма) then (втрати цукру в жомі is високі)
- ⇨ If (витрата бурякової стружки is норма) and (дигестія is висока) and (температура дифузійного соку is норма) and (витрата дифузійного соку is висока) and (сухі речовини is норма) and (значення рН дифузійного соку is норма) and (доброякісність is норма) (значення рН живильної води is норма) and (тривалість процесу екстракції is норма) then (втрати цукру в жомі is норма)

Рис. 3. Фрагмент одержаних продукційних правил для ТК цукрового заводу

Стан $I(t)$ у момент часу t є набором ситуацій в поточний момент часу $S(t)$ та квазіінформаційних гіпотез особи, що приймає рішення $\Theta(t)$, для якої сценарій формулюємо як послідовність ситуаційно значущих зон та квазіінформаційних гіпотез особи:

$$\mathfrak{R} = \mathfrak{R} (I(t_i), t_i) \quad i = 0, 1, \dots, N, \quad (4)$$

де N – глибина сценарію;

$T = t_N$ – горизонт сценарію;

$\tau_i = t_{i+1} - t_i$ – часовий крок сценарію.

Висновки і перспективи. На основі категорійно-функторного аналізу досліджені структурні особливості виробництва цукру в динаміці, які ситуаційно проявляються у взаємозв'язку, що є необхідним для побудови в перспективі сценаріїв керування ТК цукрового заводу, структуровані показники та зв'язки між ними. У результаті аналізу цукрового виробництва, на засадах теорії категорій та функторів досліджено питання формалізації знань, що дало можливість здійснити опис функторів, а саме: побудувати базу продукційних правил для ТК цукрового заводу.

Список літератури

1. Системний аналіз складних систем управління / [Ладанюк А. П., Смітюх Я. В., Власенко Л. О. та ін.]. – К. : НУХТ, 2013. – 274 с.
2. Цаленко М. Ш. Основы теории категорий / М. Ш. Цаленко, Е. Г. Шульгейфер. – М. : Наука, 1974. – 256 с.
3. Ершов А. В. Элементы теории категорий / А. В. Ершов. – Саратовский государственный университет, 2003. – 63 с.
4. Шрейдер Ю. А. Системы и модели / Ю. А. Шрейдер, А. А. Шаров. – М. : Радио и связь, 1982. – 180 с.

5. Бусленко Н. П. О категорийном представлении динамических систем / Н. П. Бусленко, В. М. Симонов // Программирование. – 1976. – № 5. – С. 65–73.
6. Букур И. Введение в теорию категорий и функторов : пер. с англ. / И. Букур, А. Деляну. – М. : Мир, 1972. – 260 с.

References

1. Ladanyuk, A., Smityuh, Y., Vlasenko, L. et. al. (2013). Systemnyi analiz skladnykh system upravlinnia [System analysis of complex control systems]. Kyiv: NUFT, 274.
2. Tsalenko, M., Shul'geyfer, E. (1974). Osnovy teorii kategoriy [Fundamentals of category theory]. Moscow: Nauka, 256.
3. Ershov, A. (2003). Elementy teorii kategoriy [Elements of category theory]. Saratovskiy gosudarstvennyy universitet, 63.
4. Shreider, Yu., Sharov, A. (1982). Sistemy i modeli [Systems and models]. Moscow: Radio i svyaz', 180.
5. Buslenko, N., Simonov V. (1976). O kategoriynom predstavlenii dinamicheskikh sistem [On the categorical representation of dynamical systems]. Programmirovaniye, 5, 65–73.
6. Bucur, I., Delyanu, A. (1972). Vvedeniye v teoriyu kategoriy i funktorov [Introduction to the theory of categories and functors]. Moscow: Mir, 260.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА САХАРНОГО ЗАВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАТЕГОРИЙНО-ФУНКТОРНОГО АНАЛИЗА

М. А. Сыч

Аннотация. В современных условиях актуальной является разработка теории управления структурной динамикой сложных технологических систем. Данная теория дает возможность решить проблему многоструктурного синтеза сложных технологических систем на различных этапах их жизненного цикла с позиции единых управленческих решений.

В качестве базовых принципов, положенных в основу данной теории, были выбраны принципы полимодельности и многокритериальности, которые использовались при комплексном описании, а также исследовании задач анализа и синтеза интеллектуальных информационных технологий мониторинга и управления структурной динамикой сложных технологических систем. Формализацию данных процессов, целесообразно осуществлять на основе структурно-математического и категорийно-функторного подходов, разработанных в современной математике.

На основе категорийно-функторного анализа исследованы структурные особенности объекта в динамике, которые ситуационно проявляются во взаимосвязи, структурированные показатели и связи между ними, что значительно повышает эффективность принятия решений в условиях неопределенности. Рассмотрены проблемы формализации знаний в основу которых положены математические

теории категорий и функторов для сахарного производства. Описание функторов осуществлено в вербальной форме, в виде производционных правил. Проведенные исследования в перспективе дают возможность построить сценарии управления технологическим комплексом сахарного завода.

Ключевые слова: технологический комплекс, сахарный завод, категориально-функторный анализ, производционные правила

RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF THE SUGAR REFINERY WITH THE USE OF THE CATEGORICAL-FUNCTORIAL ANALYSIS

M. Sych

Abstract. *In modern conditions, the development of a theory of development the structural dynamics of complex technological systems is topical. This theory makes it possible to implement solutions to the problem of multi-structural synthesis of complex technological systems at various stages of their life cycle from the standpoint of unified managerial solution.*

As the basic principles underlying this theory, the principles of multimodality and multicriteriality were chosen, which were used in a comprehensive description, as well as research of problems of analysis and synthesis of intelligent information technologies for monitoring and control the structural dynamics of complex technological systems. The formalization of these processes, it is advisable to implement on the basis of the structural-mathematical and categorical-functorial approaches developed in modern mathematics.

Based on the categorical-functorial analysis, the structural features of the object in the dynamics are studied, which are contextually manifested in the interrelationships, structured indicators and relationships between them, which significantly increases the efficiency of decision-making in the condition of indeterminacy. The problems of formalization of knowledge which is based on the mathematical theory of categories and functors for sugar production. Functors are described in verbal form, in the form of production rules. The carried out researches in the long term give the chance to construct scripts of control of a technological complex of a sugar refinery.

Keywords: *technological complex, sugar refinery, categorical-functorial analysis, production rules*