

РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

В. М. СІДЛЕЦЬКИЙ, кандидат технічних наук

І. В. ЕЛЬПЕРІН, кандидат технічних наук

Національний університет харчових технологій

e-mail: vmsidletskiy@gmail.com

Анотація. *Наведено доповнення до системи автоматизації, спрямоване на вирішення важливих задач під час управління, а саме: ідентифікувати відхилення, знайти відповідне рішення та перевірити, чи досягнуто поставленої мети. У результаті дослідження встановлено, що використання тензорного методу дає змогу змодельовувати багатомірний простір стану виробничих процесів і використати для виявлення відхилень у роботі.*

Ключові слова: *система керування, тензорний метод*

Відповідно до існуючих стандартів [1], а також практик впроваджень систем автоматизації для харчової промисловості, системи керування будуються як ієрархічні системи, де на нижньому рівні знаходиться автоматизована система керування технологічними процесом, а на самому верхньому рівні – система керування бізнес-процесами [2].

На кожному рівні є свої системи та підсистеми, які відповідають за виконання окремих задач, наприклад: ERP – планування та управління підприємством, MES – система управління виробничими процесами або SCADA – система диспетчерського керування виробництвом. До основних задач у процесі керування для таких систем є формування й передача інформаційних та управляючих даних між рівнями для прийняття відповідних рішень.

Початковим «нижнім» рівнем є рівень безпосереднього керування технологічним процесом, до якого входять датчики, виконавчі механізми, пристрої мікропроцесорної техніки. У цілому для цього рівня характерна наявність системи керування – систем реального часу: система диспетчерського керування виробництвом SCADA, система розподіленого керування DCS, система вдосконаленого керування APC. Практично всі зазначені системи працюють на відпрацьованих законах регулювання та алгоритмах (ПІД-закон регулювання, керування періодичними процесами, керування поточотранспортними системами).

Але, незважаючи на розглянуті досягнення, підходи при керуванні виробничими процесами залишаються, так би мовити, традиційними. Загалом можна зробити висновок, що при управлінні параметрами

технологічного процесу (керування апаратами, ділянками, технологічними лініями або підприємства в цілому) кожний керований процес у будь-який момент може переходити (потребує переходу) з одного поточного стану в інший (рис. 1а). Тобто, неважливо, чи це буде модернізація (розрахунок необхідного обладнання або розрахунок методів масштабування системи), управління технологічним процесом або технологічним апаратом, задача управління у нас буде полягати в тому, щоб перейти з однієї точки (поточного стану) в задану.

Поряд із цим, необхідно взяти до уваги, що технологічні процеси в харчовій промисловості є складними, інерційними, зі значними внутрішніми зв'язками та, крім цього, самі технологічні лінії можуть змінюватися – введенням у роботу або виведенням з роботи апарата чи додаткової обробки продукту.

І саме тому середовище (стан інших параметрів) також впливатиме на наш процес, саме тому система (точка) починає відхилятися від розрахованого шляху до заданого значення (рис. 1б). І саме тому, відповідно до умови, необхідно повернутись або продовжити рух до розрахованого стану, тому в даному випадку основною задачею є вибір методу (шляху) вирішення ситуації, що виникла.

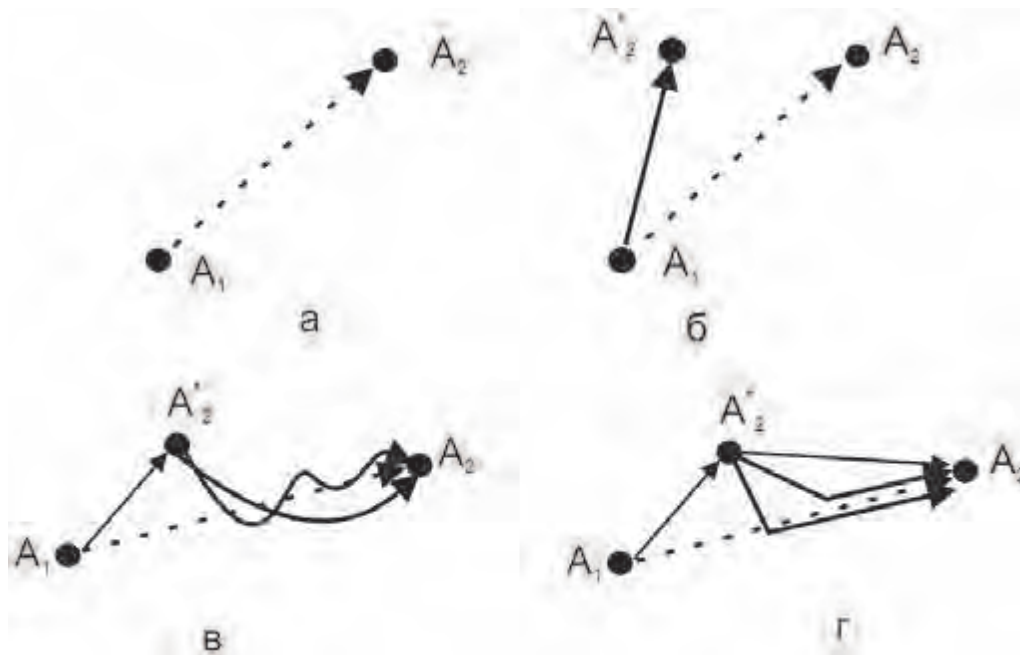


Рис. 1. Перехід керованої системи:

а – очікуваний, б – реальний, в, г – керування процесом для досягнення заданого стану

При цьому події можуть розвиватися кількома шляхами (рис. 1 в, г), і свідчать про недосконалість керування. Ідеальне керування – це перехід із поточного стану в заданий найкоротшим шляхом.

Для вирішення наведених задач для даного рівня керування, існують відпрацьовані підходи для управління, а також достатньо великий математичний апарат [3].

- для прогнозування появи нештатної ситуації використовуються підходи з теорії ймовірності;
- для прогнозування відмови обладнання використовуються підходи теорія масового обслуговування;
- для розрахунку необхідного обладнання та методів масштабування системи використовуються підходи динамічного програмування.

Також набули поширення підходи використання алгоритмів нечіткого виведення (FUZZY) та нейронечіткого виведення (ANFIS) [4, 5], як доповнюючих елементів систем керування.

Мета досліджень – використання апарата тензорного аналізу [7] для рівня розподіленого керування в автоматизованих системах об'єктів та комплексів харчової промисловості. Цей підхід дає змогу врахувати всю предметну область технологічного процесу або (та) іншого рівня ієрархії і дав змогу переходити від одного простору станів до іншого, причому була можливість поєднати такі речі, як температура та кількість сировини на складі, математичних залежностей та даних історії роботи.

Однією з важливих задач при управлінні технологічним процесом підприємства є вибір таких управляючих діянь, які будуть задовольняти роботу як окремо взятого апарата так і не будуть суперечливими для технологічної ділянки та підприємства в цілому, також при управлінні, як апаратом так і технологічними відділенням, неможливо знайти таке рішення, при якому всі показники роботи (критерії), набудуть одночасно найкращих значень.

Систему керування однією з технологічних ділянок виробництва можна подати у вигляді структурної схеми з системою автоматизації підтримання технологічних параметрів у заданих межах та надбудовою з додатковими модулями, які розширюють функціональну можливість системи керування (рис. 2).

Дана система виконує: аналіз стану технологічного процесу, оцінку ситуацій на виробництві, формує управляюче діяння, також вона доповнюється модулями. Модуль «Прогнозування появи нештатної ситуації», відповідає за аналіз роботи ділянки включно із системою керування, потім, використовуючи дані аналізу, моделюється та перевіряється можливість появи нештатної ситуації. Розраховуючи всі можливі варіації нештатних ситуацій, відбираються ті ситуації, які спричинять відмову роботи обладнання. Саме тому присутній модуль «Прогнозування відмови обладнання» розрахунку можливих відмов. На цей модуль надходять дані від систем керування та від модуля розрахунку появи нештатної ситуації. Як наслідок, це спричинює необхідність пошуку варіантів дублювання елементів системи, а у випадках нарощування якоїсь технологічної ділянки – до необхідності масштабування системи. Ці функції можуть бути виконані модулями «Розрахунок необхідного обладнання» та «Розрахунок методів масштабування системи».



Рис. 2. Автоматизована система для рівня розподіленого керування технологічним процесом

Матеріали і методика досліджень. Для початку приймаємо, що завжди система керування формує управляюче діяння: або для переходу з одного усталеного режиму в інший, або для зміни стану параметра (стану обладнання – вкл./викл.) Для утримання системи в заданому режимі (рис. 1). Тобто, завжди присутнє задане положення системи. Це може бути періодична робота апарата, введення в роботу чи виведення технологічної лінії з роботи, збій роботи обладнання або зміна режиму роботи теплообмінного апарата. Наприклад, для теплообмінного апарата приймемо найпростіший варіант, за якого температура середовища θ в апараті, чи на виході з нього, буде залежати тільки від ступенів відкриття клапанів теплоносія k_θ та середовища k_s на вході в апарат, усі інші параметри для початку будуть сталими.

У такому разі, зміна температури середовища може бути подана (рис. 3а), де зміна температури середовища при переході з точки 1 в точку 2 представлена у вигляді відрізка і значення якого знаходиться за формулою $\theta^2 = x_{k_\theta}^2 + x_{k_s}^2$. Але зрозуміло, що ця залежність не буде лінійною, температура в апараті буде також залежати, наприклад, і від температури середовища на вході в апарат S_θ . Тоді ця залежність може бути подана у вигляді тримірного простору для локальних координат (рис. 3б), і значення якого знаходиться за формулою $\theta^2 = x_{k_\theta}^2 + x_{k_s}^2 + x_{S_\theta}^2$.

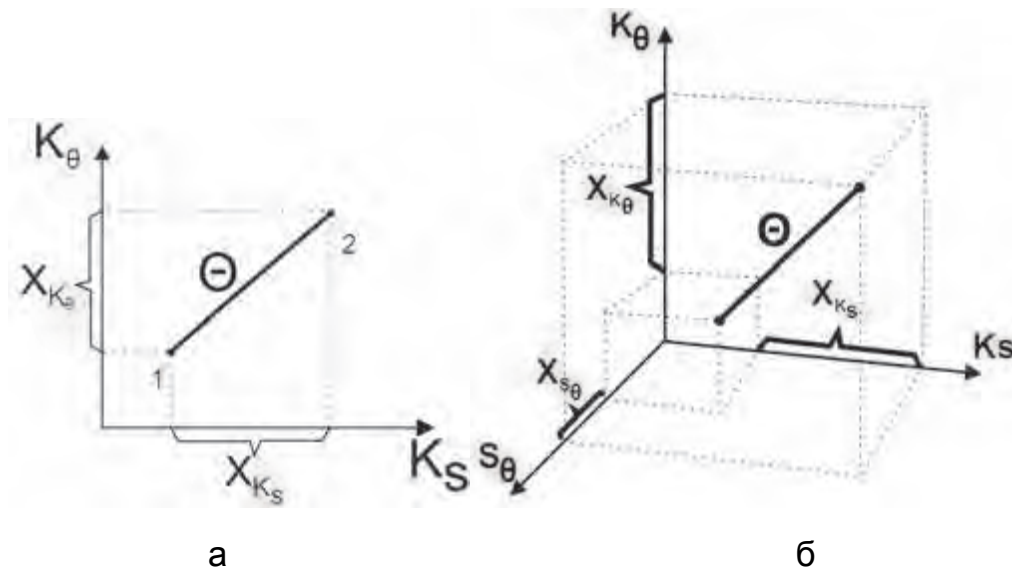


Рис. 3. Зміна температури середовища в апараті:
 а- в двовимірному просторі, б – тривимірному просторі

Таким чином, можна описати будь-який n-мірний простір і задавати його у вигляді тензора [6]. Наприклад, у нашому випадку для тривимірного простору тензор матиме вигляд:

$$\theta_2 = \begin{pmatrix} K_S^2 \\ K_\theta^2 \\ S_\theta^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{K_S}^{K_S} & X_{K_S}^{K_\theta} & X_{K_S}^{S_\theta} \\ X_{K_\theta}^{K_S} & X_{K_\theta}^{K_\theta} & X_{K_\theta}^{S_\theta} \\ X_{S_\theta}^{K_S} & X_{S_\theta}^{K_\theta} & X_{S_\theta}^{S_\theta} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} K_S^1 \\ K_\theta^1 \\ S_\theta^1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Тензори можна формувати як зі значень коефіцієнтів системи рівнянь математичної моделі, так і з дослідних значень чи історичних трендів роботи: апарату, ділянки, підприємства.

Крім того, що за допомогою тензорів можна задавати будь-яку площину і з ними можна виконувати всі математичні операції, їх можна додавати, віднімати, множити, ділити, причому як на скаляр, так і на вектор. У нашому випадку, використання тензорів дасть змогу переходити між ієрархічними рівнями системи керування для пошуку оптимального керування, знаходити найкоротший шлях між переходом від поточного стану технологічної системи до нового, який задається регламентом.

Результати досліджень. Випадки, коли потрібне втручання оператора в процес, є не поодинокими, якщо взяти найпростіший процес для цукрового заводу рис. 4а, а саме: підтримання температури речовини на виході з підігрівача, тобто задачу, для якої ідеальне використання під регулятора, тоді як на рис. 4б, показана залежність температури після підігрівача t ($^{\circ}\text{C}$) від положення регулюючого органу K_n (%) і подачі пари на підігрівач та часу t (хв.)

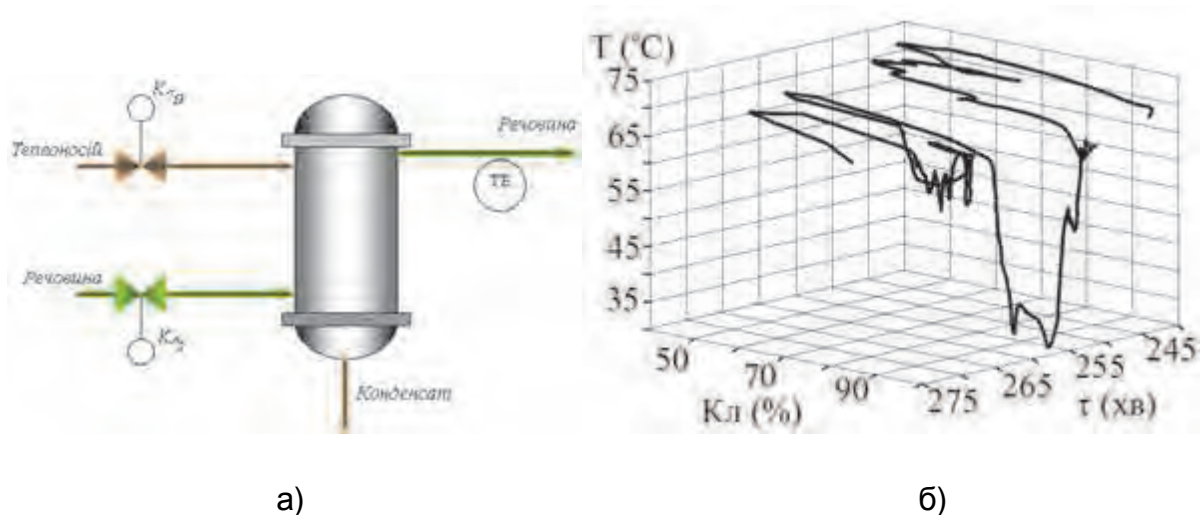


Рис. 4. Значення температури після підігрівача $T(^{\circ}\text{C})$ від положення регулюючого органу $K_{\text{л}} (\%)$ і подачі пари на підігрівач

Як видно з рис. 4, що хоча регулятор і працював належним чином і відкрив клапан подачі пари на підігрівач на 100%, температура з інших причин стала на 50% меншою від заданого значення, що для цього технологічного процесу є критичним. Саме в таких випадках і необхідно втручатись оператору в роботу системи керування. Складність даної задачі полягає в тому, що оператор зверне на це увагу не при появі причин критичної ситуації, а вже коли з'являться її наслідки. Тобто з графіка (рис. 2) видно, що положення регулюючого органу для нормальної роботи знаходиться в межах 50–60%. При появі нештатної ситуації приблизно на 245-ій хвилині зазначеного проміжку дослідження, система керування відпрацьовує заданий алгоритм і регулюючий орган протягом 5 хв відкривається і вже на ≈ 250 -й хвилині займає своє крайнє положення (100% відкриття). Після цього, температура різко починає знижуватися, тобто виникає некерований процес. Саме тому, в такій ситуації необхідно спрогнозувати виникнення нештатної ситуації та надати оператору рекомендацію про можливу її появу.

У процесі роботи для теплообмінного апарату на дифузійній станції було отримано значення параметрів його роботи. За цими даними були сформовані масиви (рис 5).

Даний багатомірний масив формувався для значень:

- ступінь відкриття клапану подачі рідини в підігрівач $K_S = [0; 4,5; 9; 13,5; 18; 22,5];$
- температура рідини на вході в підігрівач $S_{\theta} = [52; 55,5; 59; 62,5; 66; 69,5];$
- ступінь відкриття крану пари в підігрівач $K_{\theta} = [10; 19,5; 29; 38,5; 48; 57,5];$

Використовуючи програмне забезпечення [7, 8] для MATLAB було сформовано шестивимірний масив для значень ступеня відкриття крану пари в підігрівач K_{θ} .

K_s	K_θ						
	10	19,5	29	38,5	48	57,5	
0	70,84	70,39	71,06	70,78	71	71	71,05
4,5		70,82			71,18	71,14	71,65
9	71,12		70,69	71,2	71,36	70,55	71,09
13,5			70,41	70,69		71,16	71,29
18	71,26					70,53	70,67
22,5	71,08		70,65	70,43	70,78		
	52	55,5	59	62,5	66	69,5	

Рис. 5. Масив значень температури в підігрівачі залежно від K_s , S_θ , K_θ

```

%clear
clc
Ks=data(:,1);
Kt=data(:,2);
Ts=data(:,3);
Ta=data(:,4);
n=length(Ta);
j1=min(Ta):1:max(Ta);
a);
f=1;
for i=1:n
for
j=min(Ta):1:max(Ta)
;
if Ta(i)==j
k=find(Ta==j)
M15(:,1,f,1)=Ks(k)
M15(:,2,f,1)=Ts(k)
M15(:,3,f,1)=Kt(k)
f=f+1;
end;
end;
end;

```

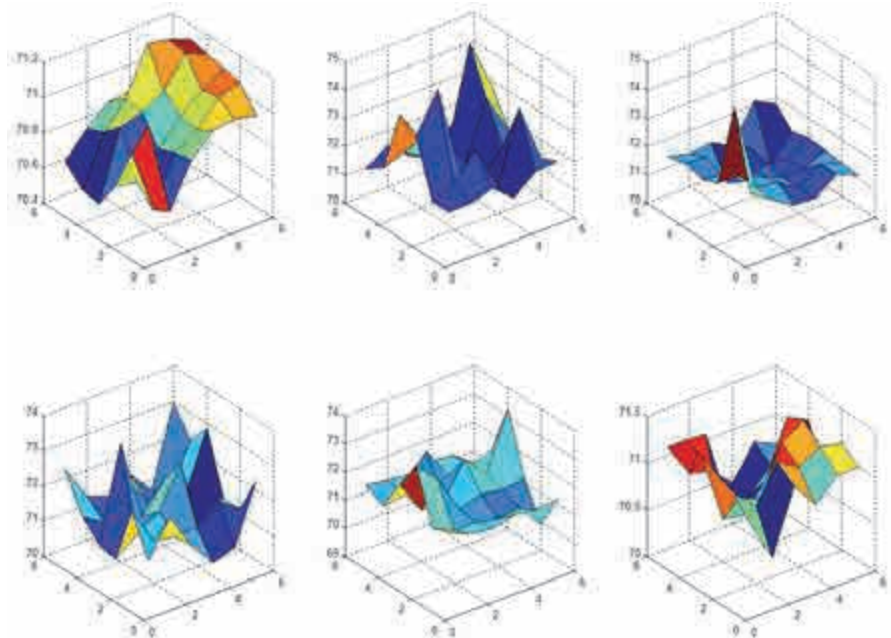


Рис. 6. Площина значень температури залежно від K_s , S_θ для різних K_θ :
1) 10; 2) 19,5; 3) 29; 4) 38,5; 5) 48; 6) 57,5

Якщо проаналізувати рис. 6, то можна зробити висновок, що якщо й взяти добре описаний процес теплообміну, який є повністю прогнозований та передбачуваний, але й для нього необхідно аналізувати роботу та проводити пошук невідповідностей, і, як видно з вищесказаного, для цього можна використати тензорний підхід до опису проблемної області.

При цьому, якщо провести аналіз, чому саме виникали випадки появи нештатних ситуацій на виробництві, то в даному випадку це були дві причини:

1. Перевищувався рівень у збірнику конденсату, що спричинювало відхилення в роботі підігрівача.

2. У процесі роботи заводу вводилися в дію нові апарати, для яких також потрібна була пара, що спричиняло її періодичний дефіцит.

Тобто, можна стверджувати, що по відношенню до системи управління підігрівача були невимірюванні параметри, і невимірювані не тому, що їх неможливо було проконтролювати – ці дані були, але вони були недоступні для рівня керування підігрівачем. І якщо даний випадок впливає на якість та собівартість кінцевого продукту.

Висновки

Для вирішення важливих задач у процесах розподіленого керування для автоматизованих систем об'єктів та комплексів харчової промисловості необхідно вирішити такі питання: ідентифікувати відхилення, знайти відповідне рішення, перевірити чи досягнемо поставленої мети. Для того, щоб знайти рішення, потрібно визначити управляюче діяння та його величину, та перевірити реакцію системи на управляюче діяння, наскільки воно відповідає даній ситуації, тобто, щоб не вийшло перерегулювання. Для вирішення зазначеної задачі пропонується використання тензорів, що дасть змогу переходити між ієрархічними рівнями системи керування для пошуку оптимального керування, знаходити найкоротший шлях між переходом від поточного стану технологічної системи до нового, який задається регламентом.

Список літератури

1. Інтеграція систем управління підприємством і технологічним процесом: Стандарт ISA-95 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://isa-95.com/>.
2. Kadane, J. (2013). Planning for Value: Setting Priorities for Manufacturing Execution System Functionality for Food and Beverage Companies. An Industry White Paper [Electronic resource] // Aspen Technology, Inc. Available at: www.aspentech.com/MES_Food_Bev_White_Paper.pdf.
3. Таха Хемди А. Введение в исследование операций / Таха, Хемди А. ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.
4. Peifeng Niu, Guoqiang Li, Mizhe Zhang (2011). Design Research of an Adaptive-Fuzzy-Neural Controller / Peifeng Niu, Guoqiang Li, Mizhe Zhang // Journal of Advances in Information Technology, 2 (2), 122–127.
5. Galzina, V. (2011). Application of fuzzy logic in boiler control / V. Galzina, T Saric, R Lujic // Technical Gazette, 15 (15), 4–21.
6. Петров А. Е. Тензорная методология в теории систем / А. Е. Петров. – М. : Радио и связь, 1985. – 152 с.
7. Tensor Toolbox version 2.6 by Brett W. Bader, Tamara G. Kolda, Jimeng Sun, Evrim Acar, Daniel M. Dunlavy, Eric C. Chi, Jackson Mayo, et al. Copyright 2015, Sandia National Laboratories.
8. TDALAB Laboratory for Tensor Decomposition and Analysis by Guoxu Zhou, Andrzej Cichocki, 2012. Cichocki Laboratory for Advanced Brain Signal Processing.

References

1. Intehratsiia system upravlinnia pidpriemstvom i tekhnolohichnym protsesom»: Standart ISA-95. Available at <http://isa-95.com/>.
2. Kadane, J. (2013). Planning for Value: Setting Priorities for Manufacturing Execution System Functionality for Food and Beverage Companies. An Industry White Paper. Aspen Technology, Inc. Available at: www.aspentech.com/MES_Food_Bev_White_Paper.pdf.
3. Takha, Khemdi A. (2005). Vvedeniye v issledovaniye operatsiy [Introduction to Operations Research]. Moskva: Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 912.
4. Peifeng, Niu, Guoqiang, Li, Mizhe, Zhang. (2011). Design Research of an Adaptive-Fuzzy-Neural Controller. Journal of Advances in Information Technology, 2 (2), 122–127.
5. Galzina, V., Saric, T., Lujic R. (2011). Application of fuzzy logic in boiler control. Technical Gazette, 15 (15), 4–21.
6. Petrov, A. E. (1985). Tenzornaya metodologiya v teorii sistem [Tensor methodology of systems theory]. Moscow: Radio i svyaz', 152.
7. Tensor Toolbox version 2.6 by Brett W. Bader, Tamara G. Kolda, Jimeng Sun, Evrim Acar, Daniel M. Dunlavy, Eric C. Chi, Jackson Mayo, et al. (2015). Sandia National Laboratories.
8. TDALAB Laboratory for Tensor Decomposition and Analysis by Guoxu Zhou, Andrzej Cichocki (2012). Cichocki Laboratory for Advanced Brain Signal Processing.

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

**В. М. Сидлецкий,
И. В. Эльперин**

Аннотация. Приведено дополнение к системе автоматизации, направленное для решения важных задач при управлении, а именно: идентификация отклонения, поиск подходящего решения и проверка достижения поставленной цели. В результате исследования установлено, что использование тензорного метода позволяет смоделировать многомерное пространство состояния производственных процессов и использовать его для выявления отклонений в работе.

Ключевые слова: система управления, тензорный метод

EXPANSION OF FUNCTIONAL POSSIBILITIES OF CONTROL SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL OBJECTS

**V. Sidletsky,
I. Elperin**

Abstract. These approaches complement the automation system, aiming to solve important problems in the management, namely the identification of deviations, to find a suitable solution and verification of achievement of this goal. The study found that the use of tensor method allows you to simulate multidimensional space status of industrial processes and use it to identify deviations in the work.

Keywords: control system, the tensor method