

УДК 681.5.033

doi:10.20998/2413-4295.2018.45.16

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КОМП'ЮТЕРНО-ІНФОРМАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ НЕЛІНІЙНОЮ ДИНАМІЧНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

*А. М. ПЕРЕВЕРЗЄВА\**, *А. О. БОБУХ*

*кафедра автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА*

*\*e-mail: pereverzieva\_alya@ukr.net*

**АНОТАЦІЯ** Комп'ютерно-інформаційна технологія виробництва кальцинованої соди за аміачним способом має в своєму складі основні та допоміжні комп'ютерно-інформаційні технології зі складними технологічними процесами та апаратами із замкненими циклами за матеріальними потоками. Особливість зазначених технологій полягає в змінні характеристик в часі із-за непередбачених порушень технологічного режиму за рахунок наявності агресивних та абразивних середовищ, які кристалізуються. Окрім того, основні технології комп'ютерно-інформаційної технології виробництва кальцинованої соди за аміачним способом відносяться до нелінійних динамічних технологій. Однією із основних технологій є комп'ютерно-інформаційна технологія регенерації газів із розчинів технології виробництва кальцинованої соди за аміачним способом із метою насичення очищеного розсолу з отриманням амонізованого розсолу заданої якості. Наявність замкнених циклів аміаку та двооксиду вуглецю значно ускладнює управління цією технологією. Одним із завдань, що виникають при розробці комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями, є розробка досить простих і зручних для обчислення алгоритмів управління такими технологіями. Це пов'язано в першу чергу з тим, що рішення задачі комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями в традиційній постановці і загальноприйнятими методами призводить до складних обчислювальних процедур, що є складним для управління в реальному масштабі часу. Тому певний інтерес представляють алгоритми управління, що дозволяють спростити процес управління нелінійними динамічними технологіями без втрати його якості. Розробку алгоритмів таких реальних технологій виконують із застосуванням пасивних експериментів. У роботі розроблений алгоритм комп'ютерно-інформаційного управління нелінійною динамічною технологією регенерації газів із розчинів технології виробництва кальцинованої соди за аміачним способом із метою насичення очищеного розсолу з отриманням амонізованого розсолу заданої якості, який принципово відрізняється простотою реалізації і високою швидкістю, має властивості, близькими до властивостей оптимальних алгоритмів, і має здатність, при постійному коригуванні моделей, адаптуватися до властивостей нелінійних динамічних технологій. Окрім того, розроблений алгоритм забезпечує зниження собівартості вихідного продукту, істотно спрощує та сприяє покращенню процесу комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями за допомогою сучасних багатofункціональних, високопродуктивних, багатоканальних, швидкодіючих і надійних мікропроцесорних контролерів зі спеціальними програмами.

**Ключові слова:** виробництво кальцинованої соди; комп'ютерно-інформаційне управління; нелінійні динамічні технології; алгоритм; адаптація; мікропроцесорні контролери.

## DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF COMPUTER-INFORMATION CONTROL BY NONLINEAR DYNAMIC TECHNOLOGY

*A. PEREVERZIEVA, A. BOBUKH*

*Department of technology systems automation and ecology monitoring, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, UKRAINE*

**ABSTRACT** The computer-information technology of the production of soda ash in the ammoniac way consists of basic and auxiliary computer-information technologies with complex technological processes and devices with closed cycles on material flows. The feature of these technologies is to change the characteristics in time due to unforeseen violations of the technological regime due to the presence of aggressive and abrasive media that crystallize. In addition, the main technologies of computer-information technology for the production of soda ash in the ammoniac way relate to nonlinear dynamic technologies. One of the main technologies is the computer-information technology of gas regeneration from solutions of the technology of production of soda ash in an ammoniac way in order to saturate the purified brine to obtain the ammonized brine of a given quality. The presence of closed cycles of ammonia and carbon dioxide significantly complicates the management of this technology. One of the problems arising in the development of computer-information management by nonlinear dynamic technologies is the development of a rather simple and convenient way to calculate algorithms for managing such technologies. This is primarily due to the fact that solving the problem of computer-information management by nonlinear dynamic technologies in the traditional formulation and commonly used methods leads to complex computational procedures that are difficult to manage in real time. Therefore, certain interests are management algorithms that simplify the process of controlling nonlinear dynamic technologies without losing its quality. The development of algorithms for such real technologies is performed using passive experiments. The algorithm of computer-information management of non-linear dynamic technology of gas regeneration from solutions of the technology of production of calcined soda by the ammoniac method was developed in order to saturate the purified brine with the obtaining of the ammonized brine of a given quality, which essentially differs by the simplicity of implementation and high speed, has similar properties to the properties of optimal algorithms, and has the ability, with constant correction of models, to adapt to the properties of nonlinear dynamic ones

technologies. In addition, the algorithm developed reduces the cost of the original product, greatly simplifies and improves the process of computer-information management with nonlinear dynamic technologies with the help of modern multifunctional, high-performance, multichannel, high-speed and reliable microprocessor controllers with special programs.

**Keywords:** production of soda ash; computer-information control; nonlinear dynamic technologies; algorithm; adaptation; microprocessor controllers.

### Вступ

Одним із завдань, що виникають при розробці комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями, є розробка досить простих і зручних для обчислення алгоритмів управління такими технологіями. Це пов'язано в першу чергу з тим, що рішення задачі управління в традиційній постановці і загальноприйнятими методами призводить до складних обчислювальних процедур, що є не придатним для управління в реальному масштабі часу. Тому певний інтерес представляють алгоритми управління, що дозволяють спростити процес управління нелінійними динамічними технологіями без втрати його якості.

### Мета роботи

Розробити алгоритм комп'ютерно-інформаційного управління нелінійною динамічною технологією, який дозволить знизити собівартість її вихідного продукту заданої якості.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо задачу розробки алгоритму комп'ютерно-інформаційного управління нелінійною динамічною технологією з двома виходами, що знаходиться в режимі нормального функціонування. Прикладом може стати комп'ютерно-інформаційне управління (КІУ) нелінійною динамічною технологією (НДТ) регенерації газів (РГ) із розчинів технології виробництва кальцинованої соди за аміачним способом (ТВКС) з метою насичення очищеного розсолу (ОР) із отриманням амонізованого розсолу (АР) заданої якості [1–6]. Розробку алгоритмів таких реальних технологій виконують із застосуванням пасивних експериментів.

Із урахуванням вищенаведеного розглянемо один елемент типової чотириелементної КІУ НДТ РГ із розчинів ТВКС з метою насичення ОР із отриманням АР заданої якості, для якого проведений пасивний експеримент вимірювань кожні 15 хвилин із числом ( $N=300$ ) значень для кожного із вісімнадцяти контрольованих параметрів [1–6]:

1) управляючі (вхідні) параметри ( $i_x - 5$ ): витрати фільтрової рідини (ведучий потік), пари, очищеного розсолу, вапняної суспензії, холодної води;

2) параметри, якими управляють (вихідні) ( $i_x - 5$ ) значення: концентрації аміаку та хлору в амонізованому розсолі, температури пара газової суміші для насичення ОР, концентрації аміаку та хлору в суспензії дистиляції;

3) корегуючі параметри ( $i_x - 8$ ): значення

температур: газу із теплообмінника дистиляції (ТДС) в конденсатор-холодильник газу дистиляції (КХДС) та рідини із КХДС в ТДС, рідини у верхню частину дистилюєру слабкої рідини (ДСР), пара-газової суміші із абсорберу (АБ) в промивач газу абсорбції (ПГАБ), амонізованого розсолу на виході із АБ, пара-газової суміші в АБ, а також витрати: фільтрової рідини для корегування витрат пари, вапняної суспензії та очищеного розсолу.

Таку КІУ НДТ без обмеження спільності для отриманих далі результатів, можна описати, в припущенні малих відхилень від режиму нормального функціонування, лінійними різницевиими рівняннями із постійними коефіцієнтами:

$$x(k+1) = a^T X(k) + b^T U(k) + q^T G(k), \quad (1)$$

$$y(k+1) = h^T Y(k) + d^T U(k) + e^T G(k), \quad (2)$$

$$\text{де } X(k) = \begin{pmatrix} x(k) \\ x(k-1) \\ \vdots \\ x(k-n+1) \end{pmatrix}, U(k) = \begin{pmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \\ \vdots \\ u_l(k) \end{pmatrix}$$

$$Y(k) = \begin{pmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ \vdots \\ y(k-f+1) \end{pmatrix}, G(k) = \begin{pmatrix} g_1(k) \\ g_2(k) \\ \vdots \\ g_m(k) \end{pmatrix},$$

$X(k)$  та  $Y(k)$  – вектори виходів (параметри, якими управляють) НДТ,  $n \times I$  та  $f \times I$  відповідно;  $I$  – одинична матриця;  $U(k)$  – вектор управляючих (вхідних) параметрів КІУ НДТ  $l \times I$ ;  $G(k)$  – вектор збурень (корегуючі параметри), що діють на КІУ НДТ  $m \times I$ ;  $a^T, b^T, q^T, h^T, d^T, e^T$  – транспоновані вектори коефіцієнтів, які отримані в результаті ідентифікації досліджуваної КІУ НДТ і розмірності яких, рівні, відповідно  $I \times n, I \times f, I \times l, I \times m$ .

Припустимо, що задана діагональна матриця вартості управляючих впливів:

$$C = S^T I = \begin{pmatrix} c_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_{22} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & c_{ll} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $S^T$  – транспонований вектор вартості управляючих впливів  $l \times I$ .

При заданій матриці вартості управляючих впливів (3), можна визначити завдання КІУ НДТ (1), (2) як завдання стабілізації на заданому рівні величин  $x(k+1)$  та  $y(k+1)$ , що характеризують «якість» вихідного продукту, при мінімумі витрат на зміну управляючих впливів  $U$ , тобто необхідно мінімізувати критерій:

$$I = \Delta U^T C \Delta U, \quad (4)$$

де  $\Delta U = U(k) - U(k-1)$  при обмеженнях у вигляді рівності:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_0 - x(k) = x(k+1) - x(k) = \\ &= a^T (X(k) - X(k-1)) + b^T (U(k) - U(k-1)) + \\ &+ q^T (G(k) - G(k-1)) = a^T \Delta X + b^T \Delta U + q^T \Delta G \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\Delta X = X(k) - X(k-1)$ ,  $\Delta G = G(k) - G(k-1)$ ,  $x_0$  – задана «якість» виходу  $x$ .

Аналогічно отримуємо

$$\Delta y = y_0 - y(k) = h^T \Delta Y + d^T \Delta U + e^T \Delta G, \quad (6)$$

де  $\Delta Y = Y(k) - Y(k-1)$ ,  $y_0$  – задана «якість» виходу  $y$ .

Рішення завдання управління, в наведеній вище постановці, прагне до оптимального за умови малих відхилень від режиму нормального функціонування КІУ НДТ. Мінімізація критерію (4) повинна забезпечити зниження собівартості вихідного продукту в порівнянні з традиційними методами автоматичного управління, так як критерій (4) залежить від вартості вхідних управляючих впливів, які для розглянутих КІУ НДТ є матеріальними потоками. Скористаємося для вирішення сформульованої задачі оптимізації з обмеженнями у вигляді рівностей методом невизначених множників Лагранжа (так звану функцію  $F$ ) [7–12]. Сформуємо функцію  $F$ :

$$F = \Delta U^T C \Delta U + \lambda_1 (\Delta x - a^T \Delta X - b^T \Delta U - q^T \Delta G) + \lambda_2 (\Delta y - h^T \Delta Y - d^T \Delta U - e^T \Delta G), \quad (7)$$

Умовами наявності екстремуму функції  $F$  є:

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \Delta U} = 2C \Delta U - \lambda_1 b - \lambda_2 d = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_1} = \Delta x - a^T \Delta X - b^T \Delta U - q^T \Delta G = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_2} = \Delta y - h^T \Delta Y - d^T \Delta U - e^T \Delta G = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Виключаючи  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  із системи рівнянь (8), можна отримати аналітичний вираз для обчислення різниці двох впливів  $\Delta U$ , для якого наведені нові умовні позначення, індексація та найменування параметра  $k$ :

$$\begin{aligned} \Delta U = C^{-1} & \left( \frac{\Delta x - a^T \Delta X - q^T \Delta G - \frac{k_2}{k_3} (\Delta y - h^T \Delta Y - e^T \Delta G)}{k_1 - \frac{k_2^2}{k_3}} \cdot b + \right. \\ & \left. + \frac{\Delta y - h^T \Delta Y - e^T \Delta G - \frac{k_2}{k_1} (\Delta x - a^T \Delta X - q^T \Delta G)}{k_3 - \frac{k_2^2}{k_1}} \cdot d \right), \end{aligned} \quad (9)$$

де  $k_1 = b^T C^{-1} b$ ,  $k_2 = b^T C^{-1} d = d^T C^{-1} b$ ,  $k_3 = d^T C^{-1} d$ .

Формула (9) представляє собою рекурентний алгоритм компенсації відхилення від заданого значення величин виходів КІУ НДТ (1), (2) і в розгорнутому вигляді записується:

$$U(k) = U(k-1) + \varepsilon, \quad (10)$$

де  $\varepsilon$  – величина компенсації, яка визначається за формулою (9).

Аналогічно викладеному можна отримати рекурентний алгоритм обчислення  $U(k)$  для технологій, які мають не два, а більшу кількість виходів і для яких враховується динаміка управляючих впливів. Розглянемо два практично важливих алгоритмів КІУ НДТ. Якщо КІУ НДТ описується одним рівнянням, подібним (1), тобто має один вихід, алгоритм управління набуває вигляду:

$$U(k) = U(k-1) + \frac{(\Delta x - a^T \Delta X - q^T \Delta G) \cdot C^{-1} b}{b^T C^{-1} b} \quad (11)$$

Подібний результат можна отримати і для КІУ НДТ з одним виходом, у яких враховується динаміка вхідних управляючих впливів. У цьому випадку така технологія описується рівнянням:

$$\begin{aligned} x(k+1) &= a^T X(k) + q^T G(k) + b_1^T U(k) + \\ &+ b_2^T U(k-1) + b_3^T U(k-2) + \dots \end{aligned} \quad (12)$$

де  $U(k) = \begin{pmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \\ \vdots \\ u_l(k) \end{pmatrix}$ ,  $U(k-1) = \begin{pmatrix} u_1(k-1) \\ u_2(k-1) \\ \vdots \\ u_l(k-1) \end{pmatrix}$ , і так

далі,  $b_1^T, b_2^T, b_3^T$  – транспоновані вектори розмірністю  $I \times l$ .

Вектор КІУ НДТ такою технологією обчислюється за формулою:

$$U(k) = U(k-1) + \frac{(\Delta x - a^T \Delta X - q^T \Delta G - b_2^T U' + b_3^T U'' - \dots) \cdot C^{-1} b_1}{b_1^E C^{-1} b_1} \quad (13)$$

де  $\Delta U' = U(k-1) - U(k-2)$ ,  
 $\Delta U'' = U(k-2) - U(k-3)$ .

Слід зазначити, що якщо не враховувати динаміку КІУ НДТ, то можна отримати алгоритм КІУ статичною технологією. Для практичної реалізації розглянутих вище рекурентних алгоритмів КІУ НДТ при заданій матриці вартості управляючих впливів необхідно звернути увагу на ще одну важливу обставину – наявність фізичних обмежень на вектор управління  $U(k)$  у вигляді нерівностей:

$$Q < U(k) < P, \quad (14)$$

де  $Q$  та  $P$  – вектори фізичних обмежень на реалізацію вектора  $U(k)$  розмірністю  $l \times I$ .

Для того, щоб домогтися заданої «якості» виходів при наявності таких обмежень, необхідно попередньо перевірити, чи виконується нерівність:

$$Q < U(k-1) + \Delta U < P, \quad (15)$$

Якщо умова (15) не виконується, то необхідно з'ясувати, за рахунок яких компонент вектора  $U(k)$  це відбувається. Нехай це будуть  $U'_1, U'_2, \dots, U'_i$ , де штрих позначає зміну індексу. Тоді значення цих змінних приймаємо рівними граничним значенням інтервалів, біля яких вони знаходяться. Некомпенсоване значення виходів відповідно:

$$\Delta x' = \Delta x - a^T \Delta X - q^T \Delta G - b_1^T \Delta U_1 = b_2^T \Delta U_2, \quad (16)$$

$$\Delta y' = \Delta y - h^T \Delta Y - e^T \Delta G - d_1^T \Delta U_1 = d_2^T \Delta U_2, \quad (17)$$

$$\text{де } \Delta U_1 = \begin{pmatrix} \Delta U'_1 \\ \Delta U'_2 \\ \vdots \\ \Delta U'_i \end{pmatrix}, \quad \Delta U_2 = \begin{pmatrix} \Delta U'_{i+1} \\ \Delta U'_{i+2} \\ \vdots \\ \Delta U'_l \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_2 \end{pmatrix},$$

$$d = \begin{pmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_2 \end{pmatrix}, \text{ тобто виділено } U_1(k) - \text{вектор управління,}$$

який приймає граничні значення, а також  $U_2(k)$  – вектор інших управлінь. Розіб'ємо матрицю вартості управлінь так, щоб отримати під-матрицю вартості управлінь  $U_2(k) - C^*$ . Тоді для отримання значень  $U_2(k)$  необхідно мінімізувати функціонал, подібний (4):

$$I^* = \Delta U_2^T C^* \Delta U_2 \quad (18)$$

при обмеженнях (16) та (17), тобто в даному випадку достатньо скористатися формулою (9) для зміненого вектора управлінь та матриці вартості. Після обчислення  $\Delta U_2$  знову необхідно перевірити нерівність:

$$Q_2 < U_2(k-1) + \Delta U_2 < P_2, \quad (19)$$

$$\text{де } Q_2 = \begin{pmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_l \end{pmatrix}, \quad P_2 = \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_l \end{pmatrix}.$$

Якщо нерівність (19) знову не буде виконуватися, то необхідно компенсувати нові залишки, що виникають після того, як частина компонент вектора  $U_2(k)$  прийме граничні значення.

### Обговорення результатів

Розроблений алгоритм КІУ НДТ при обмеженнях у вигляді нерівностей не є оптимальним, але дає близькі до оптимуму результати, якщо технологія знаходиться в режимі нормального функціонування і, отже, вектори управління  $U(k)$  рідко приймають граничні значення. Треба пам'ятати, що рішення цього завдання може бути проведено лише чисельними методами. Для функціонування алгоритмів КІУ НДТ (9), (11), (13) необхідне періодичне коригування моделей (1) та (2) за допомогою алгоритмів ідентифікації.

### Висновок

Розроблений алгоритм комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями принципово відрізняється простотою реалізації і високою швидкістю, має властивості, близькими до властивостей оптимальних алгоритмів, і здатністю, при постійному коригуванні моделей, адаптуватися до властивостей нелінійних динамічних технологій. Окрім того, розроблений алгоритм забезпечує зниження собівартості вихідного продукту та істотно покращує процес комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями за допомогою сучасних багатофункціональних, високопродуктивних, багатоканальних, швидкодіючих і надійних мікропроцесорних контролерів із спеціальними програмами.

### Список літератури

1. **Steinhauser, G.** Cleaner production in the Solvay Process: general strategies and recent developments / **G. Steinhauser** // *Journal of Cleaner Production*. – 2008. – № 7. – P.833-841. – doi: 10.1016/j.jclepro.2007.04.005.

2. **Kasikowski, T.** Cleaner production in the ammonia-soda industry: an ecological and economic study / **T. Kasikowski, R. Buczkowski, E. Lemanowska** // *Journal of Environmental Management*. – 2004. – № 4. – P. 339-356. – doi: 10.1016/j.jclepro.2004.08.001.
3. **Charlie, C. L. Wang.** Recent technology in design and manufacturing automation / **Charlie C. L. Wang** // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2013. – № 26. – doi: 10.1080/0951192X.2012.731615.
4. **Kasikowski, T.** Utilization of distiller waste from ammonia-soda processing / **T. Kasikowski, R. Buczkowski, B. Dejewska, K. Peszyńska-Bialczyk, E. Lemanowska, B. Igliński** // *Journal of Cleaner Production*. – 2004. – № 7. – P. 759-769. – doi:10.1016/s0959-6526(03)00120-3.
5. **Gao, C.** Utilization of distiller waste and residual mother liquor to prepare precipitated calcium carbonate / **C. Gao, Y. Dong, H. Zhang, J. Zhang** // *Journal of Cleaner Production*. – 2007. – № 15. – P. 1419-1425. – doi:10.1016/j.jclepro.2006.06.024.
6. **Переверзєва, А. М.** Розробка математичної моделі статистики технології насичення очищеного розсолу газами виробництва соди / **А. М. Переверзєва, А. О. Бобух** // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків. – 2017. – № 32 (1254). – С. 68-73. – doi: 10.20998/2413-4295.2017.32.11.
7. **Переверзєва, А. М.** Аналіз методів параметричної ідентифікації технологій / **А. М. Переверзєва, А. О. Бобух, О. М. Дзєвочко** // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – Серія: Інформатика та моделювання. – Харків. – 2018. – № 24 (1300). – С. 139-147. – doi: 10.20998/2411-0558.2018.24.12.
8. **Frederic, D.** Systems modeling: analysis and operations research / **D. Frederic** // *Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online*. – 2010. – № 6. – P. 147-180. – doi: 10.1002/9780470590621.ch6.
9. **Советов, Б. Я.** Математическое моделирование / **Б. Я. Советов, С. А. Яковлев**. – М.: Высшая школа. – 2001. – 343 с.
10. **Ефимова, М. Р.** Общая теория статистики / **М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев**. – М.: ИНФРА-М. – 2007. – 416 с.
11. **Кобзарь, А. И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / **А. И. Кобзарь**. – М.: ФИЗМАЛИТ. – 2006. – 816 с.
12. **Betts, J. T.** Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming: Theses of reports / **J. T. Betts** // *SIAM, second edition*. – 2010. – С. 23-25. – doi: 10.1137/1.9780898718577.
- Cleaner Production**, 2008, 7, 833-841, doi: 10.1016/j.jclepro.2007.04.005.
2. **Kasikowski, T., Buczkowski, R., Lemanowska, E.** Cleaner production in the ammonia-soda industry: an ecological and economic study. *Journal of Environmental Management*, 2004, 4, 339-356, doi: 10.1016/j.jclepro.2004.08.001.
3. **Charlie, C. L. Wang.** Recent technology in design and manufacturing automation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2013, 26, doi: 10.1080/0951192X.2012.731615.
4. **Kasikowski, T., Buczkowski, R., Dejewska, B., Peszyńska-Bialczyk, K., Lemanowska, E., Igliński, B.** Utilization of distiller waste from ammonia-soda processing. *Journal of Cleaner Production*, 2004, 7, 759-769, doi:10.1016/s0959-6526(03)00120-3.
5. **Gao, C., Dong, Y., Zhang, H., Zhang, J.** Utilization of distiller waste and residual mother liquor to prepare precipitated calcium carbonate. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15, 1419-1425, doi:10.1016/j.jclepro.2006.06.024.
6. **Pereverzieva, A. M., Bobukh, A. O.** Rozrobka matematichnoyi modeli statiki tehnologiyi nasichennya ochischenogo rozsolu gazami virobnitstva sodi [Development of mathematical model of statics of saturation technology of purified brine with soda production gases]. *Visnik NTU «HPI»*, Seriya: Novi rishennya v suchasniy tehnologiyah, Harkiv, 2017, 32 (1254), 68-73, doi: 10.20998/2413-4295.2017.32.11.
7. **Pereverzieva, A. M., Bobukh, A. O., Dzevochko, O. M.** Analiz metodiv parametrichnoyi identyfikatsiyi tehnologiy [Analysis of the methods of parametric identification technologies]. *Visnik NTU «HPI»*, Seriya: Informatika ta modelyuvannya, Harkiv, 2018, 24 (1300), 139-147, doi: 10.20998/2411-0558.2018.24.12.
8. **Frederic, D.** Systems modeling: analysis and operations research // *Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online*, 2010, 6, 147-180, doi: 10.1002/9780470590621.ch6.
9. **Sovetov, B. Ya., Yakovlev, S. A.** Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical modeling]. M.: Vysshaya shkola, 2001, 343.
10. **Yefimova, M. R., Petrova, E. V., Rumyantsev, V. N.** Obschaya teoriya statistiki [General theory of statistics]. M.: INFRA-M, 2007, 416.
11. **Kobzar, A. I.** Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov [Applied mathematical statistics. For engineers and scientists]. M.: FIZMALIT, 2006, 816.
12. **Betts, J. T.** Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming: Theses of reports. *SIAM*, second edition, 2010, 23-25, doi: 10.1137/1.9780898718577.

#### References (transliterated)

1. **Steinhauser, G.** Cleaner production in the Solvay Process: general strategies and recent developments. *Journal of*

#### Відомості про авторів (About the Authors)

**Переверзєва Алевтина Миколаївна** – аспірантка, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, м. Харків, Україна; ORCID 0000-0003-2072-2521; e-mail: pereverzieva\_alya@ukr.net.

**Алевтина Pereverzieva** – post-graduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Department of automation of the technological systems and ecological monitoring; Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0003-2072-2521; e-mail: pereverzieva\_alya@ukr.net.

**Бобух Анатолій Олексійович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, м. Харків, Україна; ORCID 0000-0002-3405-386X; e-mail: aabobukh@ukr.net.

**Anatoliy Bobukh** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate professor of Department of automation of the technological systems and ecological monitoring Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0002-3405-386X; e-mail: aabobukh@ukr.net.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Переверзева, А. М.** Розробка алгоритму комп'ютерно-інформаційного управління нелінійною динамічною технологією / **А. М. Переверзева, А. О. Бобух** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 119-124. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.16.

*Pleas cite this article as:*

**Pereverzieva, A., Bobukh, A.** Development of algorithm of computer-information control by nonlinear dynamic technology. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **45** (1321), 119–124, doi:10.20998/2413-4295.2018.45.16.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Переверзева, А. Н.** Разработка алгоритма компьютерно-информационного управления нелинейной динамической технологией / **А. Н. Переверзева, А. А. Бобух** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 119-124. – doi:10.20998/2413-4295.2018.45.16.

**АННОТАЦІЯ** Комп'ютерно-інформаційна технологія виробництва кальцинованої соди по амміачному способу має в своєму складі основні та допоміжні комп'ютерно-інформаційні технології со складними технологічними процесами та апаратами з замкнутими циклами по матеріальним потокам. Особливість вказаних технологій полягає в зміні характеристик во часі из-за непередбачених порушень технологічного режиму за рахунок наявності агресивних та абразивних серед, що кристалізуються. Крім того, основні технології комп'ютерно-інформаційної технології виробництва кальцинованої соди по амміачному способу відносяться до нелінійних динамічних технологій. Однією з основних технологій є комп'ютерно-інформаційна технологія регенерації газів из розчинів технології виробництва кальцинованої соди по амміачному способу з метою насичення очищеного розчину з отриманням аммонізованого розчину заданої якості. Наявність замкнутих циклів амміака та діоксида вуглецю значно ускладнює управління цією технологією. Однією з завдань, що виникають при розробці комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями, є розробка достатньо простих та зручних для обчислення алгоритмів управління такими технологіями. Це пов'язано з тим, що рішення задачі комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями в традиційній постановці та прийнятими методами призводить до складних обчислювальних процедур та є складним для управління в реальному масштабі часу. Тому визначений інтерес представляють алгоритми управління, що спрощують процес управління нелінійними динамічними технологіями без втрати його якості. Розробку алгоритмів таких реальних технологій виконують з використанням пасивних експериментів. В роботі було розроблено алгоритм комп'ютерно-інформаційного управління нелінійною динамічною технологією регенерації газів из розчинів технології виробництва кальцинованої соди по амміачному способу з метою насичення очищеного розчину з отриманням аммонізованого розчину заданої якості, який принципово відрізняється простотою реалізації та високим швидкістю, має властивості, близькі до властивостей оптимальних алгоритмів, та має можливість при постійній корекції моделей, адаптуватися до властивостей нелінійних динамічних технологій. Крім того, розроблений алгоритм забезпечує зниження собівартості вихідного продукту, суттєво спрощує та сприяє покращенню процесу комп'ютерно-інформаційного управління нелінійними динамічними технологіями з допомогою сучасних багатофункціональних, високопродуктивних, багатоканальних, швидкодіючих та надійних мікропроцесорних контролерів со спеціальними програмами.

**Ключові слова:** виробництво кальцинованої соди; комп'ютерно-інформаційне управління; нелінійні динамічні технології; алгоритм; адаптація; мікропроцесорні контролери.

*Поступила (received) 20.11.2018*