

УДК 681.513.6:66

*А. О. БОБУХ, О. М. ДЗЕВОЧКО, М. О. ПОДУСТОВ, А. М. ПЕРЕВЕРЗЄВА***СИНТЕЗ АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

Розглянуто теоретичні підстави синтезу адаптивних методів керування технологічними об'єктами хімічної промисловості в умовах априорної невизначеності відносно характеристик технологічних об'єктів та алгоритми для оптимального керування ними на основі теорії адаптивних дискретних систем керування. В результаті досліджень встановлено, що оптимальним за швидкодією можна вважати одно-кроковий алгоритм керування Качмажа, впровадження якого при розробці комп'ютерно-інтегрованих виробництв хімічної промисловості буде сприяти ефективному керуванню ними та підвищенню їх енергозбереження.

**Ключові слова:** адаптивна дискретна система керування, априорна невизначеність, комп'ютерно-інтегроване виробництво.

Рассмотрены теоретические основы синтеза адаптивных методов управления технологическими объектами химической промышленности в условиях априорной неопределенности относительно характеристик технологических объектов и алгоритмы для оптимального управления ими на основе теории адаптивных дискретных систем управления. В результате исследований установлено, что оптимальным по быстродействию можно считать одношаговый алгоритм управления Качмажа, внедрение которого при разработке компьютерно-интегрированных производств химической промышленности будет способствовать эффективному управлению ими и повышению их энергосбережения.

**Ключевые слова:** адаптивная дискретная система управления, априорная неопределенность, компьютерно-интегрированное производство.

Theoretical bases of synthesis of adaptive methods for control of technological objects of the chemical industry in conditions of a priori uncertainty about the relatively characteristics of technological objects and algorithms for optimal control by them based on the theory of discrete adaptive control systems are considered in this article. The study found that for optimal performance can be considered a one-step control algorithm of Kachmazh with minimizing it using modifications of recursive least squares method. The recurrent algorithms are obtained by minimizing a quadratic functional and use to build their assessments directly measure input and output parameters of the technological object of control are reviewed in this article. Introduction of the single-step control Kachmazh algorithm recommended with the use of modern instrumentation and automation and a compact, high-performance, highly functional and highly reliable microprocessor-based controllers with developed special software. Introduction of the single-step control Kachmazh algorithm recommended with the use of modern instrumentation and automation and a compact, high-performance, highly functional and highly reliable microprocessor-based controllers with developed special software.

**Keywords:** adaptive discrete control system, a priori uncertainty, computer integrated manufacturing.

**Вступ.** Більшість сучасних систем автоматичного керування технологічними об'єктами хімічних підприємств слід відносити до нелінійних та нестационарних, оскільки в залежності від режимів та часу роботи процеси в системах керування описуються інтегральними, диференціальними або еквівалентними їм відмінними рівняннями із перемінними коефіцієнтами (рівняннями регресії). Одною з основних особливостей технологічних об'єктів керування (ТОК) є наявність високого рівня априорної невизначеності відносно їх характеристик. На прикладі синтезу адаптивних методів керування такими об'єктами, коли в реальному часі одночасно вимірюється велика кількість вхідних та вихідних параметрів, за результатами яких і реалізується адаптивне керування із використанням методів активної або пасивної ідентифікації. Виконані дослідження свідчать про те, що адекватним математичним апаратом для вирішення проблеми синтезу оптимальних законів керування в умовах априорної невизначеності може стати теорія дискретних адаптивних систем керування [1 – 3].

**Мета роботи.** Розглянути теоретичні підстави

синтезу адаптивних методів керування технологічними об'єктами хімічної промисловості в умовах априорної невизначеності відносно характеристик технологічних об'єктів та алгоритми для оптимального керування ними на основі теорії адаптивних дискретних систем керування, який буде сприяти ефективному керуванню цими об'єктами та підвищенню їх енергозбереження.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Промисловий технологічний об'єкт з невизначеністю відносно характеристик ТОК як лінійний динамічний стохастичний об'єкт може бути описаний відмінним рівнянням вигляду:

$$y(k) = a_1 y(k-1) + \dots + a_{N_A} y(k-N_A) + b_1 u(k-1) + \dots + b_{N_B} u(k-N_B) + w(k), \quad (1)$$

де  $y(k)$  – контрольований вихід об'єкту,

$u(k-1)$  – вхід об'єкту (вихід регулятора),

$a_1, a_2, \dots, a_{N_A}, b_1, b_2, \dots, b_{N_B}$  – параметри об'єкту,

$w(k)$  – випадкова нормально розподілена перешкода типу «білого» гаусовського шуму, така що

$M\{w(k)\} = 0$ ,  $M\{w^2(k)\} = \sigma_w^2$ ,  $M\{\cdot\}$  – символ математичного очікування,  $k = 0, 1, 2, \dots$  – дискретний час.

У рівнянні (1) представлена найбільш проста модель шуму. В роботах [1, 4] розглянуті моделі збурення типу кольорового шуму, які інтерпретуються як пропущений через лінійний фільтр білий шум. Такого роду процеси отримали назву авторегресії – ковзного середнього та записуються відмінним рівнянням вигляду:

$$\begin{aligned} n(k) + c_1 n(k-1) + \dots + c_{N_c} n(k-N_c) = \\ = w(k) + d_1 w(k-1) + \dots + d_{N_d} w(k-N_d), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $n(k)$  та  $w(k)$  – послідовності реалізацій об'єктом кольорового та білого шуму відповідно.

Для реалізації блоків керування такими об'єктами застосовували пропорційні (П-), пропорційно-інтегральні (ПІ-) або пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД-) регулятори, що дозволяло використовувати накопичений досвід роботи з аналоговими регуляторами та використовувати відомі правила їх налаштування [2].

Факторами, які зумовили широке застосування, особливо ПІД-регуляторів, стали простота їх структури та висока надійність. Але ці регулятори мають також деякі недоліки.

Основним із них є необхідність ручної переналадки параметрів цього регулятора при змінненні параметрів об'єкта або – зовнішніх збурень, при цьому трудність переналадки значно збільшується, якщо об'єкт характеризується наявністю внутрішніх взаємодіючих контурів. Окрім того, алгоритми отримання оцінок параметрів ПІД-регуляторів також мають недоліки. Так, метод Зіглера-Нікольса [2 – 5] чутливий до шумів, оскільки його оцінки засновані на результатах промислових експериментів із розімкненою системою, а для реалізації методу Нішікави [3], коли потрібна переналадка параметрів ПІД-регулятора, необхідне втручання оператора для формування тестових входних сигналів.

Тому ефективними можуть бути методи адаптивного керування технологічними об'єктами. Основна ідея цього керування полягає в змінненні параметрів регулятора в залежності від критерію оптимальності замкненої системи. Перші адаптивні регулятори були розроблені на основі класичної теорії автоматичного керування та теорії керування нелінійними об'єктами, при цьому вплив шуму урахувався шляхом його апроксимації деякими тестовими сигналами.

Сучасні адаптивні регулятори створюються з використанням статистичних моделей для оцінки зміннення параметрів як ТОК, а також – шумів. Розрахунок закону керування виконується на основі двох принципів, перший називається еквівалентом визначеності, а другий – гіпотезою роздільності.

Принцип еквіваленту визначеності застосовується тоді, коли є можливість спочатку вирішити детерміновану задачу з відомими параметрами, а потім визначити оптимальний тип регулятора, параметри якого треба замінити їх оцінками, при цьому невизначеність поточних оцінок ігнорується.

Гіпотеза роздільності оснований на апріорному допущенні, що синтез адаптивних методів ТОК можна розділити на дві частини (процеси): ідентифікації та керування. При цьому параметри регулятора звичайно є функціями параметрів, що ідентифікуються, ТОК. Для оцінки параметрів ТОК використовуються різні методи ідентифікації, зокрема: метод найменших квадратів, узагальнений метод найменших квадратів, метод інструментальних змінних, фільтр та розширений фільтр Калмана тощо [5 – 6].

Широкое розповсюдження отримали адаптивні системи керування з ідентифікатором в контурі [1 – 7]. Для розгляду лінійного динамічного стохастичного ТОК, запишемо вираз для його виходу ( $y(k)$ ) у вигляді [1]:

$$y(k) = \theta^T q(k) + w(k), \quad (3)$$

де  $\theta = (a_1, a_2, \dots, a_{N_A}, b_1, b_2, \dots, b_{N_B})^T$  – вектор параметрів ТОК,

$$q(k) = (-y(k-1), \dots, -y(k-N_A),$$

$u(k-1), \dots, u(k-N_B))^T$  – вектор стану ТОК; інші позначення дивись до формули (1).

Поставимо в відповідність ТОК модель, яка настраюється, у вигляді:

$$y(k) = \theta^T (k-1)q(k), \quad (4)$$

де  $y(k)$  – вихід моделі;  $u(k-1) - (N_A + N_B)$  – мірний вектор параметрів моделі, які настраюються.

Формулу (4) можна також отримати, якщо використовувати другі описи процесів, які керуються. Тоді, розглядаючи критерій ( $J$ ) у вигляді:

$$\begin{aligned} J_k = M \left\{ (y(k) - y(k))^2 \right\} = \\ M \left\{ (y(k) - \theta^T (k-1)q(k))^2 \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

та виконавши мінімізацію його за  $\theta$ , прийдемо до оптимального за швидкодією одно-кроковому алгоритму Качмажа, а мінімізація критерію (5):

$$J_k = \sum_{i=0}^k (y(i) - \theta^T (i-1)q(i))^2 \quad (6)$$

приводить до рекурентного методу найменших квадратів (РМНК) [6].

Нажаль, не існує спільного способу порівняння різних адаптивних методів керування технологічними об'єктами, але можна виділити три основних: аналітичне дослідження (як правило, асимптотичне), імітаційне моделювання та тестування на реальних даних. Не існує також єдиного критерію порівняння цих методів. Отримуючи оцінки невідомих коефіцієнтів математичної моделі, блок настроювання параметрів регулятора виконує корекцію до отримання потрібної якості процесів керування. Таким чином, адаптивний регулятор із самонастроюванням змінює закон керування, настроюючи свої коефіцієнти під керуючий процес. При вирішенні задачі настроювання параметрів регулятора використовуються ті ж саме підходи, що і для традиційних не адаптивних систем: забезпечення заданого розташування полюсів замкненої системи, використання правила настроювання, оптимізація прийнятого критерію якості керування тощо.

Не лінійність та не стаціонарність рівнянь, які описують реальні технологічні процеси хімічних підприємств, призводять до того, що при керуванні ними значення параметрів регулятора вибирають такими, щоб забезпечити найкраще керування в деякій компромісній точці. Для оптимізації ж системи в декількох точках необхідно виконувати корекцію параметрів регулятора відповідно зміненню робочих умов. А тому для вирішення задачі керування такими процесами доцільно застосовувати адаптивний підхід, при якому складна нелінійна модель замінюється лінійною моделлю із змінними параметрами, оцінювання яких виконується в реальному часі.

Для опису такої моделі звичайно використовують рівняння псевдолінійної регресійної моделі виду, який показано за формулою (3), але тоді [4]:  $\theta(k)$  – в загальному випадку нестационарний вектор параметрів, який підлягає оцінюванню;  $q(k)$  – узагальнений вектор вхідних параметрів моделі;  $w(k)$  – перешкоди вимірювання, тобто до вигляду за формулою (3) можна привести різні рівняння, що описують лінійні та нелінійні динамічні ТОК [1].

З урахуванням вище наведеного в якості основної

процедури адаптивної ідентифікації використовується РМНК [6] у вигляді:

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{P(k-1)q(k)}{1 + q^T(k)P(k-1)q(k)} [y(k) - \theta^T(k-1)q(k)], \quad (7)$$

$$P(k) = P(k-1) - \frac{P(k-1)q(k)q^T(k)P(k-1)}{1 + q^T(k)P(k-1)q(k)}, \quad (8)$$

та різні його модифікації (позначення дивись вище).

Модифікація РМНК пов'язана з необхідністю оцінювання параметрів ТОК, які змінюються в часі. Для цього до них додають деякий механізм, котрий надає більшу вагу інформації, яка надходить, наступним чином:

$$J = \sum_{i=1}^k \lambda(k-i) (y(k-i) - \theta^T q(k-i))^2, \quad (9)$$

де  $\lambda(k-i)$  – функція вірогідності  $i$ -того виміру відносно поточного моменту часу  $k$ .

Для зручності реалізації розрахункових процедур, а також фізичного тлумачення моделі та її особливостей, функцію  $\lambda(k-i)$  частіше всього задають у двох варіантах:– у вигляді «експоненціального зменшення цінності інформації»:

$$\lambda(k-i) = \lambda^{k-i}, \quad 0 \leq \lambda \leq 1; \quad (10)$$

у вигляді «плинного вікна» розміром  $\chi$  (алгоритм застосовує  $\chi$  останніх вимірювань):

$$\lambda(k-i) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0 \leq i \leq \chi \\ 0, & \text{якщо } \chi < i \leq k. \end{cases} \quad (11)$$

Застосовується також модифікація РМНК, в якій використовується «експоненціальне зважування інформації» у вигляді:

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{P(k-1)q(k)}{\lambda(k) + g(k)} e(k); \quad (12)$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda} \left[ P(k-1) - \frac{P(k-1)q(k)q^T(k)P(k-1)}{\lambda + g(k)} \right]. \quad (13)$$

Більше простими та достатньо ефективними є наступні два алгоритми.

Проекційний алгоритм оцінювання, який називають алгоритмом Качмажа, для ідентифікації лінійних об'єктів [8], який має вигляд (14) та використовує

проекційну операцію на вектор  $q(k)$  :

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{y(k) - \theta^T(k-1)q(k)}{\|q(k)\|^2} q(k), \quad (14)$$

В той самий час алгоритм (14) не використовує матричних обчислень, а наявність в ньому проекційної операції робить його найбільше швидкодіючим серед одно крокових алгоритмів. Наявність перешкод вимірювання приводе до необхідності модифікації алгоритму за формулою (14), шляхом запровадження до нього деякого параметру  $\gamma(k) \in (0,2)$ , до вигляду:

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \gamma(k) \frac{y(k) - \theta^T(k-1)q(k)}{\|q(k)\|^2} q(k). \quad (15)$$

Оскільки при ідентифікації реальних ТОК доводиться виконувати стандартизацію, тобто центрування та нормування вхідних та вихідних параметрів, можливо на деяких тактах виникнення малих значень компонента вектора  $q(k)$ , який використовується в формулі (15). В цьому випадку  $\|q(k)\|^2 \approx 0$  та алгоритм стає числено нестійким. Щоб не допустити подібних ситуацій, в знаменник формули (15) необхідно ввести деяку позитивну константу  $\alpha > 0$ , в результаті отримуємо формулу (16):

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \gamma(k) \frac{y(k) - \theta^T(k-1)q(k)}{\alpha + \|q(k)\|^2} q(k), \quad (16)$$

яка забезпечує обчислювальну стійкість алгоритму (16) навіть у випадку  $\|q(k)\|^2 = 0$ .

Ортогональний проекційний алгоритм, який займає проміжне положення між РМНК та одно кроковим проекційним алгоритмом Качмажа [1 – 6], має вигляд:

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{P(k-1)q(k)}{q^T(k)P(k-1)q(k)} \cdot [y(k) - \theta^T(k-1)q(k)], \quad (17)$$

$$P(k) = P(k-1) - \frac{P(k-1)q(k)q^T(k)P(k-1)}{q^T(k)P(k-1)q(k)}, \quad (18)$$

$$P(0) = I.$$

Матриця  $P(k)$ , яка використовується в формулах (17) та (18), є також ортогональною проекційною матрицею.

За аналогією з формулою (16) для підвищення обчислювальної стійкості алгоритмів (17) та (18) в їх знаменники введемо позитивну константу  $\alpha > 0$ , в результаті отримуємо:

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{P(k-1)q(k)}{\alpha + q^T(k)P(k-1)q(k)} [y(k) - \theta^T(k-1)q(k)], \quad (19)$$

$$P(k) = P(k-1) - \frac{P(k-1)q(k)q^T(k)P(k-1)}{\alpha + q^T(k)P(k-1)q(k)}, \quad (20)$$

$$\alpha > 0.$$

Вибір  $\alpha = 1$  приводить до рекурентному методу найменших квадратів.

Усі розглянуті рекурентні алгоритми отримують шляхом мінімізації квадратичного функціоналу та використовують для побудови їх оцінок безпосередній виміри вхідних та вихідних параметрів ТОК.

#### Висновок.

Розглянуто теоретичні підстави синтезу адаптивних методів керування технологічними об'єктами хімічної промисловості в умовах апріорної невизначеності відносно характеристик технологічних об'єктів та алгоритми для оптимального керування ними на основі теорії адаптивних дискретних систем керування.

В результаті досліджень встановлено, що оптимальним за швидкодією можна вважати одно кроковий алгоритм керування Качмажа з мінімізацією його за допомогою модифікацій рекурентного методу найменших квадратів та реалізацією на сучасних багатофункціональних мікропроцесорних контролерах.

Впровадження цього алгоритму при розробці комп'ютерно-інтегрованих виробництв хімічної промисловості буде сприяти ефективному керуванню ними та підвищенню їх енергозбереження.

#### Список літератури

1. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман; [пер. с англ.: С. П. Забродина, А. И. Титкова, А. В. Шалашова; под ред. И. М. Макаров]. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
2. Goodwin G. C., Ramadge P. J., Caines P. E. *Discrete time multi-variable adaptive control*. IEEE Tr. Aut. Control, 1978, Vol. 25, No 2, pp. 449 – 456.
3. Nagumo J-I., Noda A. *A learning method for system identification*. IEEE Tr. Aut. Control, 1967, Vol. 12, No 3, pp. 282 – 287.
4. Себер Дж. Линейный регрессионный анализ / Дж. Себер; [пер. с англ.: В. П. Носко]. – М.: Мир, 1980. – 456 с.
5. Поляк Б. Т. Сравнение скорости сходимости одношаговых и многошаговых алгоритмов оптимизации при наличии помех / Б. Т. Поляк // Техническая кибернетика. – 1977. – № 1. – С. 9 – 12.
6. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф,

- Р. Бишон*, [пер. с англ.: Б. И. Копылова]. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
7. *Соколов Ю. Н.* Компьютерное проектирование ПИД-регуляторов / *Ю. Н. Соколов*. // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2010. – № 1 (68). – С. 43 – 45.
  8. *Романенко В. Д.* Методи автоматизації прогресивних технологій / *В. Д. Романенко*. – К.: Вища школа, 1995. – 519 с.

## References (transliterated)

1. Isermann R. *Digital control systems*. Berlin, Springer-Verlag; New-York, Heidelberg, 1981, 438 p.
2. Goodwin G. C., Ramadge P. J., Caines P. E. *Discrete time multi-variable adaptive control*. IEEE Tr. Aut. Control, 1978, Vol. 25, No 2, pp. 449 – 456.
3. Nagumo J-I., Noda A. *A learning method for system identifica-*

- tion*. IEEE Tr. Aut. Control, 1967, Vol. 12, No 3, pp. 282 – 287.
4. Seber Dzh. *Linear regression analysis*. New-York, Gardners Books, 1977, 832 p.
  5. Polyak B. T. *Comparison of the Convergence Rates for Single-Step and Multi-Step Optimization Algorithms in the Presence of Noise*. *Engrg. Cybern.*, 1977, No. 1, pp. 9 – 12.
  6. Dorf R. C., Bishop R. H. *Modern control systems*. [4-th ed.]. New Jersi, Prentice-Hall Inc, 1988, 730 p.
  7. Sokolov Yu. N. *Komp'yuternoe projektirovanie PID-regulyatorov* [Computer design of PID controlles]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2010, No 1 (68), pp. 43 – 45.
  8. Romanenko V. D. *Metody avtomatizatsii progressivnykh tekhnologii* [Automation methods of progressive technologies]. Kyiv, Vishcha shkola Publ., 1995, pp. 519.

Поступила (received) 01.11.16

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Синтез адаптивних методів керування технологічними об'єктами хімічної промисловості / А. О. Бобух, О. М. Дзевочко, М. О. Подустов, А. М. Переверзева** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 31 – 36. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0821.

**Синтез адаптивных методов управления технологическими объектами химической промышленности / А. А. Бобух, А. М. Дзевочко, М. А. Подустов, А. Н. Переверзева** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2016. – № 35 (1207). – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 31 – 36. – Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2079-0821.

**Synthesis of adaptive methods for control of technological objects of the chemical industry / A. O. Bobukh, O. M. Dzevochko, M. O. Podustov, A. M. Pereverzieva** // *Visnyk NTU «KhPI»*. – 2016. – № 35 (1207). – (Series: *Khimiya, khimichna tekhnolohiya ta ekolohiea*). – P. 31 – 36. – Bibliogr.: 8 names. – ISSN 2079-0821.

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бобух Анатолій Олексійович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем та екологічного моніторингу; тел.: (096) 233-47-96; e-mail: aabobukh@ukr.net.

**Бобух Анатолий Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга; тел.: (096) 233-47-96; e-mail: aabobukh@ukr.net.

**Bobukh Anatoliy Alekseevich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate professor of Department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring; tel.: (096) 233-47-96; e-mail: [aabobukh@ukr.net](mailto:aabobukh@ukr.net).

**Дзевочко Олександр Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизації хіміко-технологічних систем та екологічного моніторингу; тел.: (096) 937-46-68; e-mail: [sashadzevochko2@mail.ru](mailto:sashadzevochko2@mail.ru).

**Дзевочко Александр Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга; тел.: (096) 937-46-68; e-mail: [sashadzevochko2@mail.ru](mailto:sashadzevochko2@mail.ru).

**Dzevoochko Alexander Mikhailovich** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate professor of Department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring; tel.: (096) 937-46-68; e-mail: [sashadzevochko2@mail.ru](mailto:sashadzevochko2@mail.ru).

**Подустов Михайло Олексійович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедрою автоматизації хіміко-технологічних систем і екологічного моніторингу; тел.: (067) 577-65-57; e-mail: [podustov@kpi.kharkov.ua](mailto:podustov@kpi.kharkov.ua).

**Подустов Михаил Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой автоматизации химико-технологических систем и экологического мониторинга; тел.: (067) 577-65-57; e-mail: [podustov@kpi.kharkov.ua](mailto:podustov@kpi.kharkov.ua).

**Podustov Mikhail Alekseevich** – Doktor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Head of Department of automation of the chemical-technological systems and ecological monitoring; tel.: (067) 577-65-57; e-mail: [podustov@kpi.kharkov.ua](mailto:podustov@kpi.kharkov.ua).

**Переверзева Алевтина Миколаївна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірантка; тел.: (095) 253-12-63; e-mail: [pereverzieva\\_alya@ukr.net](mailto:pereverzieva_alya@ukr.net).

**Переверзева Алевтина Николаевна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирантка; тел.: (095) 253-12-63; e-mail: [pereverzieva\\_alya@ukr.net](mailto:pereverzieva_alya@ukr.net).

**Pereverzieva Alevtyna Mykolaivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", post-graduate student; tel.: (095) 253-12-63; e-mail: [pereverzieva\\_alya@ukr.net](mailto:pereverzieva_alya@ukr.net).