

УДК 661.53:681.51

DOI: 10.20998/2411-0558.2019.13.03

*А. К. БАБІЧЕНКО*, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",  
*М. О. ПОДУСТОВ*, д-р техн. наук, зав. каф., НТУ "ХПІ",  
*Я. О. КРАВЧЕНКО*, асп., НТУ "ХПІ",  
*Ю. А. БАБІЧЕНКО*, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків

### **ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО МАСИВУ ІДЕНТИФІКАТОРА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЛОКУ КОНДЕНСАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ ЗА НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ**

Створена алгоритмічна база для формування інформаційного масиву ідентифікатора адаптивної системи управління блоку вторинної конденсації виробництва аміаку, яка забезпечує відокремлення перехідних режимів в умовах невизначеностей та дозволяє виконати задачу ідентифікації процесів теплообміну нестационарних статичних технологічних об'єктів цього блоку. Іл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

**Ключові слова:** алгоритмічна база; інформаційний масив; ідентифікатор; адаптивна система управління; виробництво аміаку; невизначеності.

**Постановка проблеми.** Сучасні виробництва аміаку становлять собою складні великотоннажні енерготехнологічні комплекси і характеризуються широким застосуванням апаратів з повітряним і водяним охолодженням. Таке апаратурне оформлення притаманне і для одного з основних блоків відділення синтезу, а саме вторинної конденсації, до складу якого входять конденсаційна колона і два випарники для охолодження циркуляційного газу (ЦГ). Враховуючи великотоннажність виробництва аміаку та існуюче апаратурне оформлення блоку вторинної конденсації, зміна показників зовнішнього середовища зумовлює не тільки параметричну невизначеність у функціонуванні об'єкту, але і призводить до суттєвих економічних втрат внаслідок існуючих у виробничих умовах коливань температури охолодження ЦГ з  $-8^{\circ}\text{C}$  до  $4^{\circ}\text{C}$ . Підвищення ж цієї температури навіть на  $1^{\circ}\text{C}$  призводить до зниження енергоефективності виробництва внаслідок збільшення річних витрат природного газу у додатковий паровий котел на  $307,3$  тис.  $\text{нм}^3$  [1]. Тому мінімізація температурного режиму охолодження ЦГ у блоці вторинної конденсації за рахунок створення комп'ютерно-інтегрованих технологій управління становить актуальну проблему у загальному процесі підвищення енергоефективності виробництва аміаку.

**Аналіз літератури.** Згідно літературних джерел [2 – 4] створення такої комп'ютерно-інтегрованої технології в умовах невизначеностей

вимагає застосування адаптивної системи, основним елементом якої є ідентифікатор, в якому знаходиться математична модель, що безперервно уточнюється за поточною інформацією про стан об'єкта, зокрема, конденсаційної колони. Робота цього апарату відбувається в умовах сезонних та добових змін теплового навантаження. Останнє зумовлює параметричну невизначеність основного параметра зв'язку математичної моделі вищеперелічених апаратів, а саме коефіцієнта теплопередачі внаслідок утворення додаткового конденсаційного термічного опору [1]. Чисельна оцінка цієї невизначеності для таких лінійних за параметрами технологічних об'єктів найчастіше виконується із застосуванням методу стохастичної апроксимації [5, 6]. Однак цей процес ускладнюється двома обставинами.

Перша пов'язана з необхідністю обчислення теплових потоків [7], що ускладнюється, невизначеністю як величини концентрації аміаку у ЦГ, так і температури ЦГ на вході трубного простору колони, вимірювання яких на промисловому агрегаті не передбачено технологічним регламентом. При цьому алгоритм розрахунку цих невизначеностей за таких умов практично відсутній у періодичних виданнях.

Друга обставина обумовлена суттєвою інерційністю об'єкта внаслідок значної металоємності конденсаційної колони (понад 10 т), що за певних умов унеможливорює адаптацію параметра до його дійсного значення. За таких обставин виконання ідентифікації нестационарних статичних технологічних об'єктів, зокрема конденсаційної колони, з метою чисельної оцінки коефіцієнта теплопередачі вимагає створення алгоритмічної бази для відокремлення перехідних режимів.

**Мета статті** – створення алгоритмічної бази формування інформаційного масиву ідентифікатора конденсаційної колони блоку вторинної конденсації виробництва аміаку в умовах невизначеностей.

**Промислова інформаційна система збору експериментальних даних.** Збір експериментальних даних щодо реальних параметрів експлуатації блоку вторинної конденсації промислового агрегату синтезу серії АМ-1360 здійснювався за допомогою засобів мікропроцесорного інформаційно-керуючого комплексу TDC-3000 фірми "Honeywell", та частково лабораторних аналізів. Узагальнена схема блоку вторинної конденсації з основними точками контролю параметрів згідно технологічного регламенту наведена на рис. 1.

Відбір проб для лабораторних аналізів для визначення складу ЦГ (аміак, аргон, метан, азот, водень) на вході та виході конденсаційної колони здійснювався один раз за зміну. Тому частота збору усіх інших

даних по параметрам роботи блоку вторинної конденсації складала також один раз за зміну.

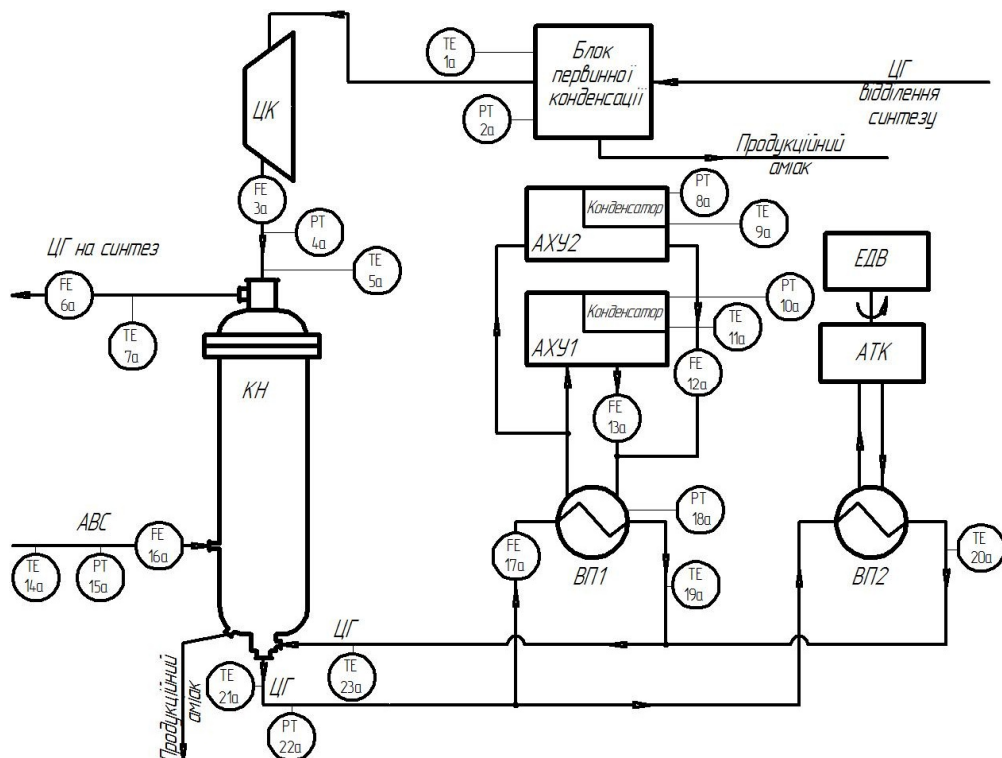


Рис. 1. Технологічна схема блоку вторинної конденсації з основними точками контролю параметрів за допомогою інформаційно-керуючого комплексу TDC-3000: ЦК – циркуляційний компресор; КН – конденсаційна колона; ВП1, ВП2 – випарники; АХУ1, АХУ2 – абсорбційно-холодильні установки; АТК – турбокомпресорний холодильний агрегат; ЕДВ – електродвигун.

При цьому аналізи передбачені цеховою лабораторією, які виконувались за допомогою хроматографа "Цвет-102", а вміст аміаку у ЦГ визначався аналітично за стандартною методикою [8].

**Алгоритмічна база формування інформаційного масиву ідентифікатора.** В процесі розробки алгоритму були використані рівняння математичного опису конденсаційної колони, що викладено в роботі [1]. Алгоритм містить два цикли збіжності. Перший формує режими, що забезпечують збіжність теплових потоків за рахунок теплообміну у сепараційній частині за рахунок теплообміну між ЦГ, шаром рідкого аміаку та *ABC* з метою визначення температури ЦГ на вході трубного простору конденсаційної колони. Другий цикл забезпечує

остаточне формування даних про вхідні і вихідні змінні об'єкта за умовної збіжності теплових потоків з боку трубного і міжтрубного простору теплообмінної частини конденсаційної колони. При цьому алгоритм включає такі основні функціональні блоки.

*Блок 1.* Виклик задачі до рішення через визначений проміжок часу або по команді оператора.

*Блок 2.* Відкриття файлу FORM, який обслуговує дану задачу.

*Блок 3.* Підпрограма читання необхідної інформації файлу DANI, де зберігається інформація про вхідні і вихідні змінні та конструктивні характеристики об'єкта, які отримані від інформаційно-керуючого комплексу TDC-3000.

*Блоки 4 і 5.* Завдання початкового наближення температури  $\Theta_{TP}^C = \Theta_{TP}^B$  за визначенням теплових потоків  $\Phi_{ABC}$  (Вт) та  $\Phi'_{ABC}$  (Вт) від  $ABC$  до шару рідкого аміаку та ЦГ за рівняннями:

$$\Phi_{ABC} = M_{ABC} C_{ABC} (\Theta_{ABC}^C - \Theta_{TP}^C); \quad (1)$$

$$\Phi'_{ABC} = \Phi_{MTP}^C + \Phi_B^C; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{MTP}^C = & M_{MTP}^C C_{MTP}^C (\Theta_{TP}^C - \Theta_{TP}^B) + M_B^C r^C + \\ & + M_{Ж}^{Ccp} C_{Ж}^C (\Theta_{TP}^C - \Theta_{TP}^B); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Phi_B^C = G_B^C r^C; \quad (4)$$

$$G_B^C = V_{ABC} \frac{a_{NH_3}^C 0,771}{100 - a_{NH_3}^C}, \quad (5)$$

де  $\Phi_{ABC}$ ,  $\Phi_B^C$ ,  $\Phi_{MTP}^C$  – кількість теплоти віддане  $ABC$ , випаровування за рахунок теплообміну у шарі рідкого аміаку та підігрів ЦГ;  $C_{ABC}$ ,  $C_{MTP}^C$ ,  $C_{Ж}^C$  – середні теплоємності відповідно  $ABC$ , газової фази ЦГ та рідкого аміаку у потоці ЦГ з випарника, кДж/(кг °С);  $M_{ABC}$ ,  $M_{MTP}^C$ ,  $M_B^C$ ,  $M_{Ж}^{Ccp}$ ,  $G_B^C$  – масові витрати відповідно  $ABC$ , випареного аміаку в потоці ЦГ, рідкого аміаку в потоці ЦГ та випареного аміаку за рахунок теплообміну

у шарі рідкого аміаку, кг/с;  $V_{ABC}$  – об'ємна витрата  $ABC$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\Theta_{ABC}^C$ ,  $\Theta_{TP}^C$ ,  $\Theta_{TP}^B$  – температура відповідно  $ABC$  на вході колони, ЦГ на вході трубного простору теплообмінника колони та ЦГ на виході випарників,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $a_{\text{NH}_3}^C$  – концентрація аміаку в потоці ЦГ на виході колони, % об.;  $r^C$  – теплота пароутворення аміаку, кДж/кг.

*Блок 6.* Оцінка похибки умови збіжності  $\delta_1$  та перехід у разі її виконання до другого циклу.

*Блоки 7 і 8.* Визначення теплових потоків з боку трубного  $\Phi_{TP}^K$  (Вт) і міжтрубного  $\Phi_{MTP}^K$  (Вт) простору теплообмінника конденсаційної колони за формулами:

$$\Phi_{TP}^K = M_{TP}^{\Gamma} C_{TP}^{\Pi} (\Theta_{TP}^K - \Theta_{TP}^C) + M_{\text{Ж}}^C (i_{\Pi}^K - i_{\text{Ж}}^C); \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{MTP}^K = & M_{MTP}^{\Gamma} C_{MTP}^{\Pi} (\Theta_{MTP}^K - \Theta_{MTP}^B) + M_{CK}^K r_{MTP} + \\ & + (M_{\text{Ж}}^K - 0,5 M_{CK}^K) C_{\text{Ж}}^{\Pi} (\Theta_{MTP}^K - \Theta_{MTP}^B), \end{aligned} \quad (7)$$

де  $M_{TP}^{\Gamma}$ ,  $M_{MTP}^{\Gamma}$  – витрата газової фази ЦГ, кг/с;  $M_{CK}^K$ ,  $M_{\text{Ж}}^K$ ,  $M_{\text{Ж}}^C$  – витрати відповідно сконденсованого аміаку, рідкого аміаку на вході міжтрубного і трубного простору теплообмінника, кг/с;  $i_{\Pi}^K$ ,  $i_{\text{Ж}}^C$  – ентальпія відповідно пару та рідкого аміаку на вході та виході трубного простору теплообмінника, кДж/кг;  $C_{\text{Ж}}^{\Pi}$ ,  $C_{MTP}^{\Pi}$ ,  $C_{TP}^{\Pi}$  – середні теплоємності відповідно рідкого аміаку у міжтрубному просторі, газових фаз ЦГ міжтрубного і трубного простору теплообмінника, кДж/(кг  $^{\circ}\text{C}$ );  $r_{MTP}$  – теплота конденсації аміаку, кДж/кг;  $\Theta_{TP}^K$ ,  $\Theta_{MTP}^K$ ,  $\Theta_{MTP}^B$  – температура ЦГ відповідно на виході трубного простору, на вході та виході міжтрубного простору теплообмінника,  $^{\circ}\text{C}$ .

*Блок 9.* Оцінка похибки умови збіжності  $\delta_2$ , у разі виконання якої здійснюється перехід до розрахунку коефіцієнтів теплопередачі.

*Блок 10.* Виконання розрахунків теплового потоку  $\Phi$ , коефіцієнтів теплопередачі за формулами прийнятими при проектуванні  $K_{\Pi}$  та дійсного коефіцієнта  $K_E$  [1]:

$$K_{\Pi} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{MTP}} + R_T^{\Pi} + \frac{1}{\alpha_{TP}}}; \quad (8)$$

$$K_E = \Phi / F \Delta \Theta_{CP}; \quad (9)$$

$$\alpha_{MTP} = 1,3 A \varepsilon_{\varphi} (W_{MTP})^{0,56} (d_{3OB})^{-0,44}; \quad (10)$$

$$\alpha_{TP} = A (W_{TP})^{0,8} (d_{BH})^{-0,2}, \quad (11)$$

де  $\alpha_{TP}$ ,  $\alpha_{MTP}$  – коефіцієнти тепловіддачі з боку трубного та міжтрубного простору, Вт/(м<sup>2</sup> °С);  $R_T^{\Pi}$  – коефіцієнт термічного опору за проектом, м<sup>2</sup>°С/Вт;  $\Delta \Theta_{CP}$  – середня різниця температур, °С;  $F$  – поверхня теплопередачі, м<sup>2</sup>;  $W_{TP}$ ,  $W_{MTP}$  – вагова швидкість ЦГ у трубному та міжтрубному просторі на одиницю поверхні, кг/(м<sup>2</sup> с);  $\varepsilon_{\varphi}$  – поправочний коефіцієнт на кут атаки;  $d_{BH}$ ,  $d_{3OB}$  – внутрішній та зовнішній діаметр теплообмінних труб, м;  $A$  – коефіцієнт, що враховує теплофізичні властивості ЦГ.

*Блок 11.* Формування масиву поточних даних СТАВ стабільних значень величин об'єкта щодо  $\Phi_{ABC}$ ,  $\Phi$ ,  $K_{\Pi}$  і  $K_E$  і друкування результатів.

*Блок 12.* Закриття файлу FORM та вихід із задачі.

Розроблена структура алгоритму дозволяє сформувати стабільний інформаційний масив поточних даних та відокремити перехідні режими. Це забезпечує можливість розрахунку дійсного коефіцієнта теплопередачі, а отже і конденсаційного термічного опору, величина якого в подальшому має бути визначена з використанням загальновідомого алгоритму стохастичної апроксимації за отриманим масивом експериментальних даних. Алгоритм реалізований в пакеті MATLAB і апробований на даних промислової експлуатації блоку вторинної конденсації агрегату синтезу аміаку Северодонецького об'єднання "Азот".

**Висновки.** За результатами досліджень створена алгоритмічна база для формування інформаційного масиву ідентифікатора адаптивної системи управління блоку вторинної конденсації виробництва аміаку, яка забезпечує відокремлення перехідних режимів в умовах невизначеностей. Це дозволяє в подальшому здійснити параметричну оцінку основного параметра зв'язку математичних моделей, а саме коефіцієнта теплопередачі, тобто виконати задачу ідентифікації процесів теплообміну

нестационарних статичних технологічних об'єктів блоку вторинної конденсації.

Алгоритм формування інформаційного масиву реалізовано в пакеті MATLAB і апробовано шляхом імітаційного моделювання за експериментальними даними промислової експлуатації діючих в Україні агрегатів синтезу аміаку серії АМ-1360.

#### **Список літератури:**

1. System analysis of the secondary condensation unit in the context of improving energy efficiency of ammonia production / *A. Babichenko, V. Velma, J. Babichenko, Y. Kravchenko, I. Krasnikov* // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 2. – Issue 6 (86). – P. 18-26.
2. *Chen H.F.* Optimal stochastic adaptive control with quadratic index / *H.F. Chen, L. Guo* // *Int. J. Contr.* – 1986. – Vol. 43. – № 3. – P. 869-881.
3. *Banga J.R.* Global optimization of chemical processes using stochastic algorithms / *J.R. Banda, W.D. Seider* // *State of the Art in Global Optimization: Computational Methods and Applications*. – 1996. – P. 563-583.
4. *Chen H.F.* Stochastic adaptive control for AR-MAX systems with unknown orders, time delay and coefficients / *H.F. Chen, J.F. Zhang* // 11-th IFAC World Congress, 1990. Preprints. Vol. 4. – P. 81-86.
5. *Ладанюк А.П.* Іноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія / *А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кушенько, Я.В. Смітюх*. – К.: Центр учбової літератури, 2014. – 280 с.
6. *Дьяконов В.П.* MATLAB 6.0/6.1/6.5/6.5 + SP1 + Simulink 4/5. Обработка сигналов и изображений / *В.П. Дьяконов*. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 592 с.
7. Технічна термодинаміка та теплопередача: навч. посіб. для студентів інж. спец. ден. та заоч. форм навчання / *В.В. Малишев, В.В. Кретов, Т.М. Гладка*; Відкритий міжнар. ун-т розвитку людини "Україна". – Київ : Університет "Україна", 2015. – 257 с.
8. Аналитический контроль производства в азотной промышленности. – М.: Госхимиздат, 1958. – Вып. 7. – 115 с.

#### **References:**

1. Babichenko, A., Velma, V., Babichenko, J., Kravchenko Y., and Krasnikov, I. (2017), "System analysis of the secondary condensation unit in the context of improving energy efficiency of ammonia production", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, Issue 6 (86), pp. 18-26.
2. Chen, H.F., and Guo, L. (1986), "Optimal stochastic adaptive control with quadratic index", *Int. J. Contr.*, Vol. 43, No. 3, pp. 869-881.
3. Banga, J.R., and Seider, W.D. (1996), "Global optimization of chemical processes using stochastic algorithms", *State of the Art in Global Optimization: Computational Methods and Applications*, pp. 563-583.
4. Chen, H.F., and Zhang, J.F. (1990), "Stochastic adaptive control for AR-MAX systems with unknown orders, time delay and coefficients", *11-th IFAC World Congress*, Preprints, Vol. 4, pp. 81-86.
5. Ladaniuk, A.P., Reshетиuk, V.M., Kyshenko, V.D., and Smitiukh, Y.V. (2014), *Innovative technologies in the management of agroindustrial complex difficult biotechnological objects*, Monograph, K.: Center of educational literature, 280 p.
6. Diakonov, V.P. (2004), MATLAB 6.0/6.1/6.5/6.5 + SP1 + Simulink 4/5. Treatment of signals and images, Moscow, Solon-press, 592 p.

7. Malyshev, V.V., Krietov, V.V., and Gladka, T.M. (2015), "Technical thermodynamics and heat transfer: train aid for the students of engineering specialities of daily and in absentia forms of studies", *An open international university of development of man in "Ukraine"*, Kyiv, University "Ukraine", 257 p.

8. *Analytical production control in nitric industry* (1958), Moscow, HOSKHYMYZDAT, 115 p.

*Статтю представив д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПІ" Заковоротний О. Ю.*

*Надійшла (received) 10.05.2019*

Babichenko Anatoliy, PhD Tech., Professor  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Курпичова, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: +38 (057) 70-76-687, e-mail: babichenko\_a\_k@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0002-8649-9417

Podustov Mykhaylo, Dr.Sci.Tech., Professor  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Курпичова, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: +38 (057) 70-76-687, e-mail: podustov@kpi.kharkov.ua  
ORCID ID: 0000-0003-2119-1961

Kravchenko Yana, postgraduate student  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Курпичова, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: +38 (057) 70-76-687, e-mail: kravchenko\_y\_o@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0002-6311-8060

Babichenko Juliya, PhD Tech.  
Ukrainian State University of Railway Transport  
Sq. Feierbakha, 7, Kharkiv, Ukraine, 61050  
Tel.: (+38)097-43-90-126, e-mail: juliette-ua@ukr.net  
ORCID ID: 0000-0002-5345-7595



УДК 661.53:681.51

**Формування інформаційного масиву ідентифікатора адаптивної системи управління блоку конденсації виробництва аміаку за невизначеностей / Бабіченко А.К., Подустов М.О., Кравченко Я.О., Бабіченко Ю.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2019. – № 13 (1338). – С. 25 – 33.**

Створена алгоритмічна база для формування інформаційного масиву ідентифікатора адаптивної системи управління блоку вторинної конденсації виробництва аміаку, яка забезпечує відокремлення перехідних режимів в умовах невизначеностей та дозволяє виконати задачу ідентифікації процесів теплообміну нестационарних статичних технологічних об'єктів цього блоку. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

**Ключові слова:** алгоритмічна база; інформаційний масив; ідентифікатор; адаптивна система управління; виробництво аміаку; невизначеності.

УДК 661.53: 681.51

**Формирование информационного массива идентификатора адаптивной системы управления блока конденсации производства аммиака при неопределенностях / Бабиченко А.К., Подустов М.А., Кравченко Я.О., Бабиченко Ю.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2019. – № 13 (1338). – С. 25 – 33.**

Создана алгоритмическая база для формирования информационного массива идентификатора адаптивной системы управления блока вторичной конденсации производства аммиака, которая обеспечивает отделение переходных режимов в условиях неопределенности и позволяет выполнить задачу идентификации процессов теплообмена нестационарных статических технологических объектов этого блока. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

**Ключевые слова:** алгоритмическая база; информационный массив; идентификатор; адаптивная система управления; производство аммиака; неопределенность.

UDC 661.53: 681.51

**Formation of the information array of the identifier of the adaptive control system of the ammonia production condensation unit with uncertainties / Babichenko A.K., Podustov M.O., Kravchenko Y.O., Babichenko Y.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2019. – №.13 (1338). – P. 25 – 33.**

The created algorithmic base for the formation of an information array identifier of the adaptive control system of the block of secondary condensation of ammonia production, which provides for the separation of transient modes in conditions of uncertainty and allows you to perform the task of identifying heat transfer processes of non-stationary static technological objects of this block. Figs.: 1. Refs.: 8 titles.

**Keywords:** algorithmic base; information array; identifier; adaptive control system; ammonia production; uncertainties.