

УДК 66.012-52:661.531.

DOI: 10.20998/2411-0558.2025.01.03

А. К. БАБІЧЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",

І. Л. КРАСНІКОВ, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",

Ю. А. БАБІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків,

О. М. ДЗЕВОЧКО, канд. техн. наук, доц. НТУ "ХПІ"

ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ВТОРИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

Досліджено умови функціонування технологічного комплексу вторинної конденсації виробництва аміаку, що дозволило встановити природу невизначеностей. Обґрунтовано доцільність використання стохастичного методу їх розрахунку для ідентифікації та створення математичних моделей теплообмінних апаратів комплексу. Визначено необхідність застосування адаптивної системи оптимального програмного керування для мінімізації та стабілізації температурного режиму в апаратах комплексу. Л. 2. Бібліогр.: 15 назв.

Ключові слова: вторинна конденсація; виробництво аміаку; структура системи керування; невизначеності; стабілізація температурного режиму.

Постановка проблеми. Більшість сучасних агрегатів синтезу аміаку в Україні розроблені за концепцією компанії "M. W. Kellogg & Co". Це складні великотоннажні енерготехнологічні комплекси з численними відділеннями та зворотними зв'язками [1]. Відділення синтезу працює за традиційною замкнутою циркуляційною схемою Габера-Боша з двоступеневою конденсацією аміаку з циркуляційного газу (ЦГ) [2]. Конденсація аміаку відбувається шляхом охолодження у низькотемпературних випарниках, які є частиною технологічного комплексу вторинної конденсації (ТКВК). Великі обсяги виробництва аміаку та використання апаратів повітряного охолодження на стадії первинної конденсації в умовах змін зовнішнього середовища призводять до параметричної невизначеності роботи ТКВК і значних економічних втрат. Це зумовлено відхиленням температури охолодження ЦГ від нормативної (-5°C), з коливанням у межах від -5°C до 6°C . Підвищення цієї температури лише на 1°C для агрегатів серії АМ-1360 спричиняє зниження енергоефективності внаслідок збільшення річних витрат

© А.К. Бабіченко, І.Л. Красніков, Ю.А. Бабіченко, О.М. Дзевочко, 2025

природного газу на 307,3 тис.нм³ [3]. Мінімізація температури вторинної конденсації за рахунок створення високоякісної системи керування ТКВК в умовах невизначеності є актуальною задачею у підвищенні енергоефективності виробництва аміаку.

Аналіз літератури. Згідно з даними літератури [4, 5], створення комп'ютерно-інтегрованої системи керування в умовах невизначеності ефективно вирішується через системний підхід, зокрема системно-керувальний підхід [6]. Це передбачає дослідження системи для забезпечення її цілеспрямованого функціонування в умовах зовнішніх і внутрішніх збурень. Для ТКВК це означає ухвалення рішень щодо мінімізації температури вторинної конденсації, а отже зниження енергозатрат.

Мета статті – вибір способу чисельної оцінки невизначеностей та визначення структури системи керування технологічного комплексу вторинної конденсації.

Технологічні особливості функціонування комплексу вторинної конденсації. Комплекс ТКВК (рис. 1) є складною системою, що включає конденсаційну колону (КН), теплообмінник (ТД), високотемпературний випарник (ВВТ) з пароежекторною холодильною установкою (ПХУ) та два низькотемпературні випарники (ВНТ) з водоаміачними абсорбційно-холодильними установками (АХУ) [7].

Функціонування ТКВК за такою схемою забезпечується наступним розподілом температур ЦГ: на вході КН – 30°C, на вході ВНТ – 9°C, на виході ВНТ – не більше –5°C, на виході КН – 18°C, на вході ТД – 45°C (максимально спостерігаєма температура). Такий температурний режим дозволяє ефективно охолоджувати ЦГ у випарниках ВНТ за допомогою лише двох АХУ. Експлуатація обладнання ТКВК відбувається під впливом зміни зовнішнього теплового навантаження з ЦГ внаслідок застосування повітряного охолодження на стадії первинної конденсації. Температура ЦГ на вході ТД змінюється в межах 35 – 45°C, а концентрація аміаку – від 8,6% до 12% об. Для підтримання температури ЦГ на вході ВНТ на рівні 9°C необхідна система керування, що стабілізує температуру ЦГ на виході ВВТ на рівні 30°C, а температуру вторинної конденсації – на рівні не вище –5°C незалежно від змін зовнішнього теплового навантаження на вході ТД.

Суттєва металоємність та складність технології призводять до високої інерційності теплообмінних процесів у апаратах ТКВК, особливо в ТД і КН, загальна маса яких перевищує 400 тонн і мають зворотний зв'язок по ЦГ. Зміни теплового навантаження на вході ТД та ВВТ вимагають прогнозування параметрів уставок регуляторів для корекції холодопродуктивності ПХУ.

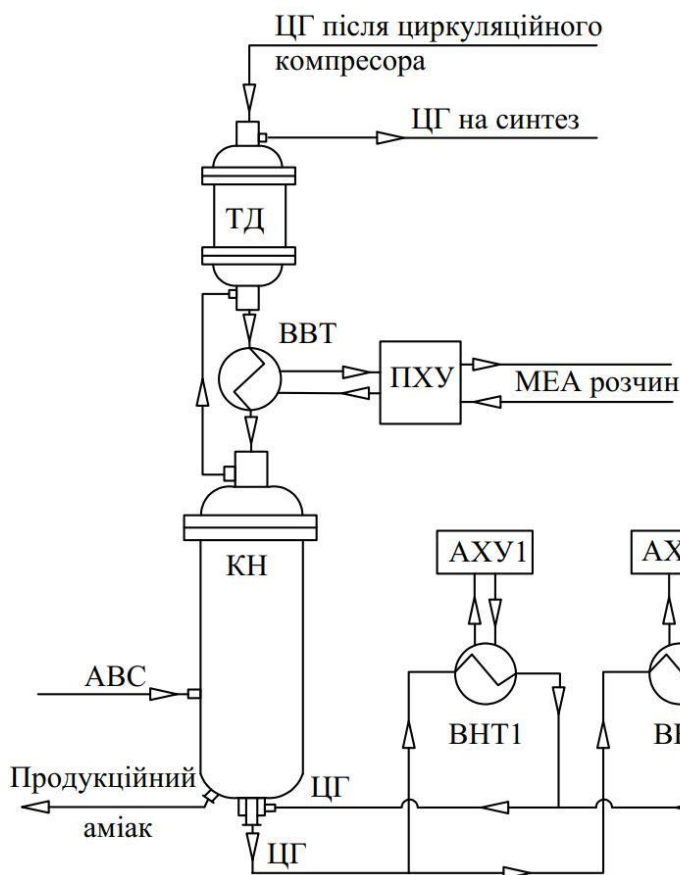


Рис.1. Апаратурно-технологічне оформлення комплексу вторинної конденсації підвищеної енергоефективності: КН – конденсаційна колона; ЦГ – циркуляційний газ; АВС – азотно-воднева суміш; АХУ – абсорбційно-холодильна установка; ПХУ – пароежекторна холодильна установка; ВВТ та ВНТ – випарники відповідно високотемпературні і низькотемпературні; ТД – додатковий теплообмінник.

Зміна холодопродуктивності за умов зниження теплового навантаження з ЦГ забезпечується регулюванням витрати холодоагенту до ВВТ шляхом зміни кількості ежекторів у циклі ПХУ. Це дозволяє

оператору вибірково включати їх у роботу в супервізорному режимі, підвищуючи надійність керування процесом та уникаючи перевитрат електроенергії під час конденсації холодоагенту у циклі ПХУ. Підготовка оператора до супервізорного керування вимагає розробки математичної моделі для підсистеми підтримки прийняття рішень. Це дозволить досліджувати вплив зовнішнього теплового навантаження на ефективність теплообміну ТКВК та дасть змогу завчасно прогнозувати зміни координати вектора стану $X(t)$, а саме температури ЦГ на виході $\Theta_{1Ц}^{BT}(t)$ міжтрубного простору ТД в умовах невизначеності.

Водночас стане можливим коригувати числові показники уставок регуляторів векторів керування $Y(t)$, зокрема витрати холодоагенту $M_{BT}^{BX}(t)$ до міжтрубного простору ВВТ та моноетаноламінового (МЕА) розчину $M_{МЕА}(t)$ до парогенератора ПХУ, що забезпечує подачу робочої пари $M_{п}(t)$ для ежекції пари холодоагенту з ВВТ.

Випарники ВНТ є ключовими елементами в схемі ТКВК, оскільки їх ефективність визначає температуру вторинної конденсації. Процес випаровування рідкого аміаку має особливість через наявність у ньому домішок води. Для запобігання накопиченню води в системі передбачено її дренажування у вигляді флегми з випарника [8].

Недостатнє дренажування флегми призводить до накопичення води у випарнику, що знижує концентрацію аміаку, підвищує тиск і збільшує температурний режим охолодження, що, у свою чергу, знижує холодопродуктивність. Надмірне дренажування спричиняє втрату холодоагенту, що також знижує холодопродуктивність і впливає на температурний режим охолодження. Таким чином, витрата флегми $M_{ф}(t)$ є важливою керуючою координатою вектору керування $Y(t)$, яка визначає оптимальний вектор стану. Розв'язання задачі визначення кількісної залежності впливу цієї координати вектора керування $Y(t)$ на оптимальний вектор стану $x^{опт}$ може бути ефективно здійснене за допомогою математичної моделі випарника.

Розробка математичних моделей ускладнюється наявністю невизначеностей у функціонуванні об'єктів ТКВК. Ці невизначеності ускладнюють задачу ідентифікації процесів математичних моделей об'єктів. Тому виникає необхідність визначення природи походження невизначеностей під час експлуатації та методу їх чисельної оцінки.

Аналіз природи походження невизначеностей та способів їх чисельної оцінки. Блок первинної конденсації, до складу якого входять апарати повітряного охолодження та сепаратор для відокремлення сконденсованого аміаку, становить собою стохастичний об'єкт. Зміна концентрації аміаку у ЦГ на його виході відбувається в умовах постійного впливу випадкових факторів збурення (температура і вологість атмосферного повітря). Це обумовлює випадковий характер змін тиску $P_{ПК}$ і температури $\Theta_{ПК}$ первинної конденсації, які визначають величину концентрації аміаку $a_{NH_3}^{BX}$ на виході блоку, а отже і на вході міжтрубного простору ТКВК. Невизначеність останньої обумовлює і невизначеність концентрації $a_{NH_3}^{TP}$ на виході трубного простору ТКВК. У підсумку параметри $a_{NH_3}^{BX}$ та $a_{NH_3}^{TP}$ за рахунок такого впливу мають імовірнісний характер [9]. Невизначеність цих концентрацій унеможлиблює визначення основного параметра зв'язку математичних моделей теплообмінних апаратів ТКВК, а саме коефіцієнта теплопередачі. Розрахунок цього коефіцієнта ускладнюється двома обставинами. Перша пов'язана з необхідністю обчислення теплових потоків, що вимагає числових значень перелічених вище концентрацій. Друга обставина обумовлена залежністю коефіцієнта теплопередачі від конденсаційного термічного опору R_T^E . При цьому величина R_T^E залежить від середньої витрати $M_{СК}$ сконденсованого аміаку, яка в свою чергу визначається концентрацією $a_{NH_3}^{BX}$ [10]. Отже задача ідентифікації процесів математичної моделі ускладнюється наявністю взаємопов'язаних невизначеностей.

На діючих агрегатах синтезу концентрацію аміаку вимірюють лише раз на добу, що призводить до повної її невизначеності в певні моменти часу, зокрема через добові коливання температури повітря. Це ускладнює ідентифікацію процесів теплообміну в реальному часі та математичне моделювання випарників ВВТ і ВНТ, а також теплообмінних апаратів КН і ТД. Оцінка невизначеності найчастіше здійснюється за допомогою стохастичного методу або теорії нечітких множин [11]. Однак остання не працює для бінарних операцій із взаємозалежними параметрами [12]. Тому для оцінки невизначеності концентрацій аміаку та конденсаційного термічного опору доцільно застосувати стохастичний метод [4, 13].

Можливість застосування стохастичного підходу для чисельної оцінки невизначеностей вимагає перевірки виконання низки умов, таких як стаціонарність, відтворюваність процесу та гіпотези про нормальність емпіричного розподілу. Алгоритм такої перевірки включає наступні функціональні блоки:

Блок 1. Виклик задачі для розв'язання через визначений проміжок часу або по команді оператора.

Блок 2. Відкриття файлу програми *STOCH*, який обслуговує дану задачу.

Блок 3. Підпрограма для читання необхідної інформації з файлу *СТАВ*, що містить дані про вхідні та вихідні змінні ТКВК, отримані під час формування інформаційного масиву [14].

Блок 4. По кожній незалежній змінній визначення кількості серій дослідів $i=1 \div k$, на які здійснюється розбиття експериментальних даних, а також кількості експериментальних даних $j=1 \div m$ у кожній серії.

Блок 5 і 6. Розрахунок критерію Кохрена G_p для перевірки відтворюваності процесу, встановлення табличного значення G_T при числі ступенів свободи k, m та рівні значимості 5% з перевіркою умови відтворюваності [4, 6].

Блок 7, 8. Розрахунок критерію Фішера F_p для перевірки стаціонарності процесу, встановлення табличного значення при числі ступенів свободи та рівні значимості 5% з перевіркою умови стаціонарності [4,6].

Блок 9. Визначення вибірових асиметрії A і ексцесу E , а також теоретичної дисперсії асиметрії $\sigma(A)$ і ексцесу $\sigma(E)$ [4, 6].

Блок 10. Перевірка виконання умов щодо гіпотези про нормальність емпіричного розподілу.

Блок 11. У випадку виконання перелічених вище умов закриття файлу *STOCH* та вихід із задачі.

Розроблена структура алгоритму дає змогу здійснити перехід до пакетів *Statistica* або *MATLAB (Optimization Toolbox)* для виконання кореляційного та регресійного аналізу, а також визначення функціональних залежностей для чисельних оцінок концентрацій аміаку у ЦГ на виході з блоку первинної конденсації $a_{NH_3}^{BX}$, на виході з трубного

простору ТД $a_{NH_3}^{TP}$ та конденсаційного термічного опору R_T^E . Пошук цих залежностей, згідно з існуючими теоретичними положеннями, має здійснюватися за рівняннями:

$$a_{NH_3}^{BX} = f(P_{ПК}, \Theta_{ПК}), \quad (1)$$

$$a_{NH_3}^{TP} = f(V_{ABC}, V_{МТП}^{Ц}, \Theta_{TP}^B, a_{NH_3}^{BX}, P), \quad (2)$$

$$R_T^E = f(M_{СК}), \quad (3)$$

де $P_{ПК}, \Theta_{ПК}$ – відповідно тиск та температура первинної конденсації; V_{ABC} – витрата АВС; $V_{МТП}^{Ц}$ – витрата ЦГ у міжтрубному просторі колони; Θ_{TP}^B – температура ЦГ на виході випарника; P – тиск ЦГ; $M_{СК}$ – середня витрата сконденсованого аміаку.

Загальна структура системи керування комплексу вторинної конденсації. Викладене вище свідчить, що розв'язання задачі мінімізації координати вектору стану ВНТ (температури вторинної конденсації) та прийняття рішень щодо стабілізації температури ЦГ на вході ВВТ за існуючих невизначеностей вимагає забезпечення як корекції траєкторії координат стану, так і корекцію математичних моделей шляхом виконання ідентифікації процесів. Таким умовам, як відомо [15], відповідає адаптивна система оптимального керування, узагальнена структура якої наведена на рис. 2.

Стосовно випарника ВНТ задача синтезу алгоритму мінімізації температури вторинної конденсації за певних обмежень у загальному вигляді може бути представлена наступним чином:

$$\varphi(x, Y, z) \rightarrow \min(extr) \Rightarrow x^{опт}, \quad (4)$$

$$x = F(Y, z), \quad (5)$$

де φ – цільова функція; x, z – вектор координат відповідно стану об'єкта та збурень певної розмірності; Y – вектор керувань певної розмірності; F – оператор математичної моделі випарника ВНТ.

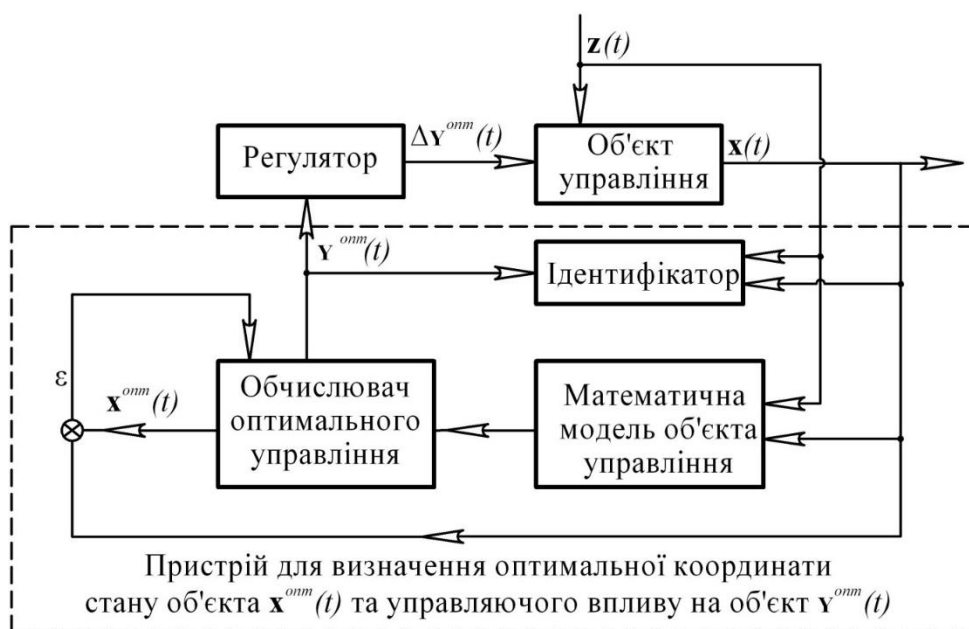


Рис. 2. Узагальнена структура адаптивної системи оптимізації режиму роботи комплексу вторинної конденсації: $\varepsilon = [x(t) - x^{opt}(t)]$ – відхилення; $Y^{opt}(t)$ – керуючий вплив, що відповідає вектору $x^{opt}(t)$; $\Delta Y^{opt}(t)$ – корегуючий керуючий вплив; t – час.

Структура на рис. 2 містить блок ідентифікації, який коригує параметри математичної моделі за заданими алгоритмами. Оптимальне керування здійснюється в реальному часі завдяки високій швидкодії мікропроцесорної техніки. Корекція траєкторії стану та параметрів моделі виконується під час запуску системи та періодично з інтервалами, визначеними оператором. Основним елементом є ідентифікатор з математичною моделлю, яка уточнюється за поточною інформацією про стан ТКВК, зокрема випарників ВВТ і ВНТ.

Висновки. Досліджено особливості функціонування агрегатів синтезу аміаку серії АМ-1360 технологічного комплексу вторинної конденсації. Встановлено залежність роботи комплексу від змін зовнішнього теплового навантаження, зумовлених застосуванням повітряного охолодження потоку ЦГ на стадії первинної конденсації. Це призводить до параметричної невизначеності концентрацій аміаку у ЦГ на

вході та виході комплексу, що обумовлено неможливістю використання існуючих технічних засобів для їх автоматичного неперервного вимірювання. Показано, що невизначеність концентрацій аміаку впливає на невизначеність коефіцієнтів теплопередачі теплообмінних апаратів комплексу, що є важливим параметром зв'язку їх математичних моделей. Обґрунтована необхідність стохастичного методу для чисельної оцінки невизначеностей і розроблено алгоритм перевірки умов його виконання. Визначено доцільність застосування адаптивної системи оптимального програмного керування для мінімізації температури вторинної конденсації у низькотемпературних випарниках та стабілізації температури ЦГ на виході високотемпературного випарника.

Список літератури:

1. Malhotra, A. (2014), "KBR PURIFIER™ Technology and Project Execution Options for Ammonia Plants", available at: [www.scribd.com/document/238818521/01-a-Malhotra-KBR-Purifier™-Technology-and-Project-Execution-Options-for-Ammonia-Plants](http://www.scribd.com/document/238818521/01-a-Malhotra-KBR-PurifierTM-Technology-and-Project-Execution-Options-for-Ammonia-Plants) (accessed 24 February 2025).
2. Dybkjoker, I. (2020), "100 Years of Ammonia Synthesis Technology", available at : www.scribd.com/document/478848969/01. (accessed 24 February 2025).
3. Бабіченко А.К. Застосування математичного моделювання для діагностики показників ефективності процесів тепло-і масообміну в абсорберах тепловикористовуючих холодильних установок агрегатів синтезу аміаку/ А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський // *Питання хімії і хімічної технології*. – 2009. – №6. – С. 107 – 111.
4. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів : монографія / А.П. Ладанюк та ін. ; за ред. А.П. Ладанюка. Київ : Інтегр. Логістик Україна, 2015. 408 с.
5. Іноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія / А.П. Ладанюк та ін. Київ: Центр учбової літератури, 2014. 280 с
6. Основи наукових досліджень: наук. видання/А.К. Бабіченко, М.О. Подустов, І.Л. Красніков та ін.; за ред. А.К. Бабіченка. Харків: Друкарня Мадрид, 2021. 133с.
7. System analysis of the secondary condensation unit in the context of improving energy efficiency of ammonia production / Babichenko A., Velma V., Babichenko J., Kravchenko Y., Krasnikov I. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, Issue 6 (86). P. 18–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96464>
8. Garimella S., Mostafa S., Sheldon M. Ammonia-water desorption in flooded columns. Georgia Institute of Technology, Sheldon, 2012. 148 p.
9. Demirplak M. Uniqueness of equilibrium in the Haber synthesis of ammonia // *Journal of Mathematical Chemistry*. 2013. Vol. 52, Issue 3. P. 899–916. doi: 10.1007/s10910-013-0300-2
10. Бабіченко А.К. Закономірності теплообміну в процесі конденсації аміаку з циркуляційного газу у випарниках агрегатів синтезу. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2010. № 1. С.47 – 51

11. Wit E., Van den Heuvel E., Romeijn J.-W. All models are wrong: an introduction to model uncertainty. *Statistika Neerlandica*. 2012. Vol. 66, No. 3. P. 217-224.
12. Глонь О.В., Дубовой В.М. Моделивання систем керування в умовах невизначеності: монографія/. Вінниця: УНІБЕРСУМ, 2004. 169 с.
13. The use of statistical software in food science and technology: Advantages, limitations and misuses / Nunes C. A., Alvarenga V. O., de Souza Sant'Ana A., Santos J. S., Granato D. // *Food Research International*. 2015. Vol. 75. P. 270–280. doi: 10.1016/j.foodres.2015.06.011
14. Бабіченко А. К., Подустов М. О., Кравченко Я. О., Бабіченко Ю. А. Формування інформаційного масиву ідентификатора адаптивної системи управління блоку конденсації виробництва аміаку за невизначеностей. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання*. Харків : НТУ "ХПІ", 2019. № 13 (1338). С. 24 – 32.
15. Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами. К.: Ліра-К, 2016. 288 с.

References:

1. Malhotra, A. (2014), "KBR PURIFIER™ Technology and Project Execution Options for Ammonia Plants", available at: [www.scribd.com/document/238818521/01-a-Malhotra-KBR-Purifier™-Technology-and-Project-Execution-Options-for-Ammonia-Plants](http://www.scribd.com/document/238818521/01-a-Malhotra-KBR-PurifierTM-Technology-and-Project-Execution-Options-for-Ammonia-Plants) (accessed 24 February 2025).
2. Dybkjoker, I. (2020), "100 Years of Ammonia Synthesis Technology", available at : www.scribd.com/document/478848969/01. (accessed 24 February 2025).
3. Babichenko A.K. Zastosuvannya matematychnoho modeliuвання dlia diahnostyky pokaznykiv efektyvnosti protsesiv teplo-i masoobminu v absorberakh teplovykorystuiuchykh kholodynykh ustanovok ahrehativ syntezy amiak/ A.K. Babichenko, V.I. Tshynskyi // *Pytannia khimii i khymychnoi tekhnolohii*. – 2009. – №6. – S. 107 – 111.
4. Suchasni metody avtomatyzatsii tekhnolohichnykh obektiv : monohrafiia / A.P. Ladaniuk ta in. ; za red. A.P. Ladaniuka. Kyiv : Intehr. Lohistyky Ukraina, 2015. 408 s.
5. Inovatsiini tekhnolohii v upravlinni skladnyimi biotekhnolohichnymi ob'ektyami ahropromyslovoho kompleksu: monohrafiia / A.P. Ladaniuk ta in. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury, 2014. 280 s
6. Osnovy naukovykh doslidzhen: nauk. vydannia/A.K. Babichenko, M.O. Podustov, I.L. Krasnikov ta in.; za red. A.K. Babichenka. Kharkiv: Drukarnia Madryd, 2021. 133 s.
7. System analysis of the secondary condensation unit in the context of improving energy efficiency of ammonia production / Babichenko A., Velma V., Babichenko J., Kravchenko Y., Krasnikov I. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, Issue 6 (86). P. 18–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96464>.
8. Garimella S., Mostafa S., Sheldon M. Ammonia-water desorption in flooded columns. Georgia Institute of Technology, Sheldon, 2012. 148 p.
9. Demirplak M. Uniqueness of equilibrium in the Haber synthesis of ammonia // *Journal of Mathematical Chemistry*. 2013. Vol. 52, Issue 3. P. 899–916. doi: 10.1007/s10910-013-0300-2
10. Babichenko A.K. Zakonomirnosti teploobminu v protsesi kondensatsii amiak z tsyrkuliatsiinoho hazu u vyparnykakh ahrehativ syntezy. Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia. 2010. № 1. S.47 – 51.

11. Wit E., Van den Heuvel E., Romeijn J.-W. All models are wrong: an introduction to model uncertainty. *Statistika Neerlandica*. 2012. Vol. 66, No. 3. P. 217-224.
12. Hlon O.V., Dubovoi V.M. Modeliuvannia system keruvannia v umovakh nevyznachenosti: monohrafiia/. Vinnytsia: UNIVERSUM, 2004. 169 s.
13. The use of statistical software in food science and technology: Advantages, limitations and misuses / Nunes C. A., Alvarenga V. O., de Souza Sant'Ana A., Santos J. S., Granato D. // *Food Research International*. 2015. Vol. 75. P. 270-280. doi: 10.1016/j.foodres.2015.06.011
14. Babichenko A. K., Podustov M. O., Kravchenko Ya. O., Babichenko Yu. A. Formuvannia informatsiinoho masyvu identyfikatora adaptivnoi systemy upravlinnia bloku kondensatsii vyrobnytstva amiaku za nevyznachenostei. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Informatyka ta modeliuvannia*. Kharkiv : NTU "KhPI", 2019. № 13 (1338). S. 24 – 32.
15. Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами. К.: Ліра-К, 2016. 288 с.

Статтю представив д.т.н., проф. Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" П.О. Качанов.

Надійшла (received) 12.02.2025

Babichenko Anatolii, PhD, Associate Professor, Professor of Department of technology system automation and ecology monitoring National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kyrpychova str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel: +38 (057) 70-76-687. E-mail: anatolii.babichenko@khpi.edu.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8649-9417>

Krasnikov Igor, PhD, Associate Professor, Professor of Department of technology system automation and ecology monitoring National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kyrpychova str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel: +38 (057) 70-76-687. E-mail: ihor.krasnikov@khpi.edu.ua
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7663-1816>

Babichenko Juliya, PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of heat engineering, heat engines and energy management Ukrainian State University of Railway Transport,
Feierbakha sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050
E-mail: juliette-ua@ukr.net
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5345-7595>

Dzevochko Oleksandr, PhD, Associate Professor, Head of Department of technology system automation and ecology monitoring National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kyrpychova str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002
Tel: +38 (057) 70-76-687. E-mail: oleksandr.dzevochko@khpi.edu.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1297-1045>

УДК 66.012-52:661.531

Визначення структури системи керування технологічного комплексу вторинної конденсації виробництва аміаку / Бабіченко А.К., Красніков І.Л., Бабіченко Ю.А., Дзевочко О.М. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2025. – № 1 (13). – С. 35 – 46.

Досліджено умови функціонування технологічного комплексу вторинної конденсації виробництва аміаку, що дозволило встановити природу невизначеностей. Обґрунтовано доцільність використання стохастичного методу їх розрахунку для ідентифікації та створення математичних моделей теплообмінних апаратів. Визначено необхідність застосування адаптивної системи оптимального програмного керування для мінімізації та стабілізації температурного режиму в апаратах комплексу.

Ключові слова: вторинна конденсація; виробництво аміаку; структура системи керування; невизначеності; стабілізація температурного режиму.

UDC 66.012-52:661.531

Determination of the structure of the control system for the technological complex of secondary condensation of ammonia production / Babichenko A., Krasnikov I., Babichenko Ju., Dzevochko O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2025. – № 1 (13). – P. 35 – 46.

The conditions of functioning of the technological complex of secondary condensation of ammonia production are studied, which allowed to establish the nature of uncertainties. The expediency of using a stochastic method of their calculation for identifying and creating mathematical models of heat exchangers is substantiated. The necessity of using an adaptive system of optimal software control to minimise and stabilise the temperature regime in the devices of the complex is determined.

Keywords: secondary condensation; ammonia production; control system structure; uncertainties; temperature stabilisation.