

УДК 661.53:681.51

doi:10.20998/2413-4295.2026.01.07

ПІДСИСТЕМА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АБСОРБЦІЙНО-ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

А. К. БАБІЧЕНКО¹, І. Л. КРАСНИКОВ^{1*}, Ю. А. БАБІЧЕНКО², І. Г. ЛИСАЧЕНКО¹

¹ кафедра автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, УКРАЇНА

² кафедра теплотехніки, теплових двигунів та енергоменеджменту, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, УКРАЇНА

*e-mail: ihor.krasnikov@khp.edu.ua

АНОТАЦІЯ Показано, що в технологічному комплексі вторинної конденсації виробництва аміаку сезонні та добові коливання температури атмосферного повітря змінюють умови тепловідведення у конденсаторах повітряного охолодження, що спричиняє відхилення тиску конденсації аміачної пари та порушує стабільність режимів генерації, ректифікації й конденсації. Проаналізовано наслідки таких збурень для роботи струминних компресорів, зокрема зміну коефіцієнта інжекції та потребу в оперативному узгодженні витрати робочої пари з поточними параметрами конденсації. Розглянуто підхід до супервізорного керування, у межах якого підсистема прийняття рішень формує рекомендації оператору щодо ввімкнення або вимкнення окремих струминних компресорів і встановлення витрати робочої пари на підставі розрахункової оцінки коефіцієнта інжекції. Акцентовано увагу на алгоритмічному забезпеченні, побудованому на математичному описі однофазного струминного компресора з циліндричною камерою змішування та використанні газодинамічних функцій для визначення граничних режимів і збіжних розрахункових процедур. Підтверджено, що запропонована послідовність обчислень дає змогу узгоджувати витрату робочої пари зі зміною температури і тиску конденсації в апаратах повітряного охолодження та забезпечує формалізований вибір кількості діючих струминних компресорів у позарозрахункових умовах. Реалізацію алгоритму виконано в програмному середовищі MATLAB, апробацію проведено на експериментальних даних промислової експлуатації. Отримані результати свідчать про можливість оперативного перемикавання конфігурації струминних компресорів залежно від умов конденсації та розрахованого коефіцієнта інжекції, що сприяє зниженню витрат електроенергії і природного газу та підвищенню відтворюваності керувальних рішень у супервізорному контурі.

Ключові слова: супервізорний режим керування; струминний компресор; абсорбційно-холодильна установка; виробництво аміаку; коефіцієнт інжекції; алгоритмічне забезпечення.

DECISION-MAKING SUBSYSTEM OF THE CONTROL SYSTEM FOR ABSORPTION REFRIGERATION UNITS IN AMMONIA PRODUCTION

A. BABICHENKO¹, I. KRASNIKOV¹, J. BABICHENKO², I. LYSACHENKO¹

¹ Department of Automation of Technological Systems and Environmental Monitoring, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

² Department of Thermal Engineering and heat engines; Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT It is shown that in the technological complex of secondary condensation in ammonia production, seasonal and daily fluctuations of ambient air temperature change the heat removal conditions in air-cooled condensers, which leads to deviations of ammonia vapor condensation pressure and disturbs the stability of generation, rectification, and condensation modes. The consequences of such disturbances for the operation of jet compressors are analyzed, in particular the variation of the injection coefficient and the need for prompt coordination of the motive steam flow rate with the current condensation parameters. An approach to supervisory control is considered, within which the decision-making subsystem generates recommendations for the operator on switching individual jet compressors on or off and setting the motive steam flow rate based on the calculated assessment of the injection coefficient. Emphasis is placed on the algorithmic support based on a mathematical description of a single-phase jet compressor with a cylindrical mixing chamber and the use of gas-dynamic functions to determine limiting regimes and convergent computational procedures. It is confirmed that the proposed sequence of calculations makes it possible to coordinate the motive steam flow rate with changes in temperature and condensation pressure in air-cooled units and provides a formalized selection of the number of operating jet compressors under off-design conditions. The algorithm is implemented in the MATLAB software environment, and its validation is carried out using experimental data from industrial operation. The obtained results demonstrate the possibility of rapid switching of jet compressor configurations depending on condensation conditions and the calculated injection coefficient, which contributes to a reduction in electricity and natural gas consumption and improves the reproducibility of control decisions in the supervisory loop.

Keywords: supervisory control mode; jet compressor; absorption refrigeration unit; ammonia production; injection coefficient; algorithmic support.

Вступ

Інтерес до тепловикористовуючих абсорбційно-холодильних і пароструминних холоодильних

установок зростає завдяки можливості залучення низькопотенціальної теплоти матеріальних потоків у виробництвах, що потребують штучного холоду. У технологічному комплексі вторинної конденсації

відділення синтезу аміаку застосування абсорбційно-холодильних установок (АХУ) забезпечує додаткове вилучення продукційного аміаку за рахунок охолодження циркуляційного газу у випарниках низьких температур [1]. Експлуатація таких установок супроводжується сезонними та добовими збуреннями, насамперед через зміну умов теплообміну у повітряних конденсаторах як у складі АХУ, так і на попередній стадії первинної конденсації, що ускладнює стабілізацію режимів і погіршує енергоефективність процесу.

У весняно-літній період температура охолодження циркуляційного газу вторинної конденсації може підвищуватися до 5°C за регламентної норми -5°C [2]. Підвищення температури конденсації навіть на 1°C призводить до зростання паливної енергетичних витрат, зокрема до збільшення річної витрати природного газу на парогенерацію в допоміжному котлі на $307,4 \text{ тис. нм}^3$ [3]. За існуючого апаратури технологічного оформлення тепловий коефіцієнт, холодопродуктивність і температура вторинної конденсації мають зворотно-пропорційні залежності від кратності циркуляції розчинів, яка, своєю чергою, визначається температурою атмосферного повітря [4]. Унаслідок цього в теплий період року ускладнюється одночасне забезпечення підвищеної холодопродуктивності та зниження температури вторинної конденсації без збільшення витрат енергії на конденсацію і допоміжні агрегати.

Показано, що введення струминного компресора між генератором ректифікатором і повітряним конденсатором дозволяє розширити робочі можливості установки та зняти зазначене протиріччя [5]. Водночас ефективність роботи струминного компресора істотно залежить від тиску конденсації та температурних умов у конденсаторах повітряного охолодження, що зумовлює потребу в регулюванні та, за необхідності, у перемиканні конфігурації струминних апаратів у позарозрахункових режимах [6, 7]. Для таких режимів описані конструктивні та схемні рішення, зокрема застосування кількох паралельних струминних компресорів із можливістю адаптації геометрії або перемикання конфігурації залежно від поточних умов конденсації [8]. Згідно з літературними джерелами, керування, орієнтоване на змінні сезонні та добові умови, доцільно реалізовувати в межах комп'ютерно-інтегрованої технології, у структурі якої супервізорний рівень забезпечує оперативне формування рекомендацій оператору на основі поточних технологічних вимірювань і модельних розрахунків [9]. Узагальнені підходи до проектування та аналізу струминних компресорів для холодильних застосувань наведені у фундаментальних працях, присвячених газодинаміці та обчислювальному моделюванню струминних апаратів [10]. Сучасні дослідження підтверджують, що за відхилення режимів конденсації характеристики струминних

пристроїв можуть змінюватися істотно, зокрема через вплив конденсаційних процесів і двофазності, а також через зміну співвідношень витрат і швидкостей потоків, що актуалізує задачу оперативного налаштування під поточні умови експлуатації [11,12]. Для інтегрованих холодильних схем на базі струминних компресорів додатково підкреслюється значущість урахування режимів конденсації та можливостей адаптації структури циклу, включно з варіантами часткового зчеплення контурів і акумулювання холоду в умовах змінного навантаження [13].

З огляду на це, для промислових абсорбційно-холодильних установок у складі виробництва аміаку доцільним є застосування супервізорного керування, у межах якого підсистема прийняття рішень забезпечує оперативне визначення коефіцієнта інжекції та витрати робочої пари до струминних компресорів за поточних значень температури і тиску конденсації, а також формує підстави для обґрунтованого перемикання конфігурації струминних компресорів з метою зниження енергетичних витрат і стабілізації режимів.

Струминні компресори найбільш ефективно працюють у розрахункових режимах, тоді як у реальних умовах експлуатації абсорбційно-холодильних установок відхилення тиску конденсації, від номінальних значень є регулярним явищем. За таких умов для збереження прийнятного рівня енергоефективності потрібне регулювання, оскільки при змінному тиску конденсації істотно змінюється коефіцієнт інжекції струминного компресора, що безпосередньо впливає на досяжний ступінь підвищення тиску та витрату робочої пари [6]. Для роботи у позарозрахункових режимах описані конструктивні та схемні рішення, зокрема застосування кількох паралельних струминних апаратів із можливістю перемикання конфігурації залежно від поточних умов конденсації [7]. Окремий напрям досліджень пов'язаний з експериментальною оцінкою та оптимізацією струминних пристроїв за відхилення режиму, включно з урахуванням двофазності та конденсаційних ефектів, а також із використанням методів оптимізації параметрів і налаштування під змінні умови роботи [11,13]. Поряд із цим у сучасних публікаціях розглядаються інтегровані холодильні цикли на базі струминних компресорів, у яких акцентовано роль режимів конденсації, можливості часткового зчеплення контурів та використання акумулювання холоду за змінних зовнішніх умов [12].

За результатами аналізу літератури, керування, орієнтоване на змінні сезонні та добові умови, доцільно реалізовувати в межах комп'ютерно-інтегрованої технології, у структурі якої супервізорний рівень забезпечує оперативне формування рекомендацій оператору на основі поточних технологічних вимірювань і модельних розрахунків [8,9]. Для виробничих абсорбційно-

холодильних установок у складі технологічних комплексів синтезу аміаку практично важливим є поєднання апаратних рішень, що підвищують холодопродуктивність, із керуванням, яке обмежує додаткові витрати енергії на конденсацію та забезпечує стабільність режимів у вузлах генерації, ректифікації та конденсації [1,5].

Невирішена частина проблеми полягає в тому, що наявні підходи до підвищення ефективності струминних компресорів у позарозрахункових режимах переважно зосереджені на конструктивній адаптації апарата, експериментальному дослідженні характеристик або оптимізації параметрів, тоді як у виробничих умовах абсорбційно-холодильних установок потрібне алгоритмічне забезпечення супервізорного керування, здатне в оперативному режимі визначати коефіцієнт інжекції та витрату робочої пари за поточних значень температури і тиску конденсації, а також формувати обґрунтоване рішення щодо кількості діючих струминних компресорів і доцільності їх перемикання. Відсутність алгоритмічної підтримки призводить до емпіричного перемикання конфігурації та встановлення витрати робочої пари без формалізованої оцінки коефіцієнта інжекції в конкретних умовах конденсації, що знижує відтворюваність енергозберігального ефекту і ускладнює інтеграцію цього контуру в загальну систему керування АХУ.

Мета роботи

Розробити алгоритмічне забезпечення підсистеми прийняття рішень у складі системи супервізорного керування абсорбційно-холодильною установкою виробництва аміаку, яке забезпечує оперативне визначення коефіцієнта інжекції та витрати робочої пари до струминних компресорів за умов змінного тиску конденсації аміачної пари.

Виклад основного матеріалу

Інформаційна система збору експериментальних даних. Узагальнену схему дільниці генерації-ректифікації та конденсації абсорбційно-холодильної установки з основними точками контролю параметрів наведено на рис. 1. Частоту збору параметрів установлює оператор з урахуванням інтенсивності змін температури атмосферного повітря, що визначають умови конденсації та впливають на режим роботи струминних компресорів.

Алгоритмічне забезпечення підсистеми підтримки прийняття рішень.

Блок 1. Ініціювання розрахунку здійснюється за сигналом таймером або за командою оператора.

Періодичність обчислень установлюється з урахуванням добових і сезонних змін температури зовнішнього повітря та вимог до оперативності супервізорного керування.

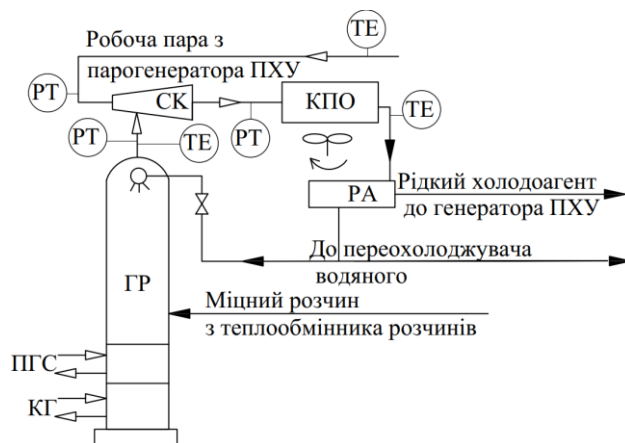


Рис. 1 – Технологічна схема дільниці генерації-ректифікації та конденсації АХУ з основними точками контролю параметрів за допомогою інформаційно-керуючого комплексу TDC-3000: ГР – генератор-ректифікатор; СК – струминний компресор; КПО – блок конденсаторів повітряного охолодження; РА – ресивер рідкого аміаку; ПХУ – пароежекторна холодильна установка

Блок 2. Підготовка робочого середовища та відкриття службових файлів даних.

Блок 3. Підпрограма читання необхідної інформації з файлу *INFORM*, у якому зберігаються значення вхідних і вихідних змінних, отриманих від інформаційно-керуючого комплексу TDC-3000

Блок 4. Визначення відношення критичних швидкостей робочого потоку $a_{ПР*}$ і потоку, $a_{Н*}$, що інжектується:

$$\frac{a_{Н*}}{a_{ПР*}} = \sqrt{\Theta} = \sqrt{\frac{T_H}{T_P}}, \quad (1)$$

де T_P і T_H – відповідно температури робочого потоку і потоку, що інжектується, К.

Блок 5. Обчислення показників газодинамічних функцій у перерізі на вході циліндричної камери змішування Π_{PH} (відносний тиск), λ_{PH} (наведена ізоентропна швидкість) і q_{PH} (наведена масова швидкість):

$$\Pi_{PH} = \frac{P_H}{P_P}, \quad (2)$$

$$\lambda_{PH} = \sqrt{\frac{k+1}{k-1} \left[1 - (\Pi_{PH})^{k-1/k} \right]}, \quad (3)$$

$$q_{PH} = \left(\frac{k+1}{2} \right)^{1/(k-1)} \lambda_{PH} \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{PH}^2 \right)^{1/(k-1)}, \quad (4)$$

де $k = 1,3$ – показник адиабати для робочого потоку і потоку, що інжектується; P_H і P_P – відповідно тиск аміачної пари з генератора-ректифікатора (пара, що інжектується) і робочої пари, МПа.

Блок 6. Визначення показників газодинамічних функцій Π_{PS} , λ_{PS} , q_{PS} для другого граничного режиму в умовному перерізі циліндричної камери змішування, за якого швидкість потоку, що інjektується, не повинна перевищувати граничне значення:

$$\Pi_{PS} = \Pi_{PH} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{k/(k-1)}, \quad (5)$$

$$\lambda_{PS} = \sqrt{\frac{k+1}{k-1} \left[1 - (\Pi_{PS})^{k-1/k} \right]}, \quad (6)$$

$$q_{PS} = \left(\frac{k+1}{2} \right)^{1/(k-1)} \lambda_{PS} \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{PS}^2 \right)^{1/(k-1)}. \quad (7)$$

Блок 7. Завдання низки значень $\lambda_{C3i} \leq 1$ з інтервалом 0,1 у вихідному перерізі камери змішування з подальшим визначенням для кожного заданого значення показників газодинамічних функцій Π_{C3i} та q_{C3i} за рівняннями:

$$\Pi_{C3i} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{C3i}^2 \right)^{k/(k-1)}, \quad (8)$$

$$q_{C3i} = \left(\frac{k+1}{2} \right)^{1/(k-1)} \lambda_{C3i} \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{C3i}^2 \right)^{1/(k-1)}. \quad (9)$$

Блок 8. Знаходження значення коефіцієнту інжекції при другому граничному режимі за формулою:

$$(U_{ГР2})_i = \frac{\frac{P_H}{P_C} \frac{1}{q_{C3i}} - \frac{P_H}{P_P} \frac{1}{q_{PS}}}{\sqrt{\Theta} \left(1 - \frac{P_H}{P_P} \frac{1}{q_{C3i}} \right)}. \quad (10)$$

Блок 9. Ураховують обмеження, за яким коефіцієнт інжекції струминного компресора U_i не повинен перевищувати значення $(U_{ГР2})_i$. Приймаються $U_i = (U_{ГР2})_i$ та розраховують значення газодинамічних функцій q_{H2i} , λ_{H2i} , Π_{H2i} потоку, що інjektується, у перерізі на вході циліндричної камери змішування.

$$q_{H2i} = \frac{U_i \sqrt{\Theta}}{\frac{P_H (1 + U \sqrt{\Theta})}{P_C q_{C3i}} - \frac{P_H}{P_P q_{PH}}}. \quad (11)$$

Блок 10. Визначення величини λ_{H2i} здійснюють методом послідовних наближень до досягнення збіжності з отриманим значенням q_{H2i} , обчисленим за рівнянням (12):

$$q_{H2i} = \left(\frac{k+1}{2} \right)^{1/(k-1)} \lambda_{H2i} \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{H2i}^2 \right)^{1/(k-1)}. \quad (12)$$

Перше наближення приймають $\lambda_{H2i} = 0,5$. Якщо значення q_{H2i} , отримане з рівняння (11) перевищує значення q_{H2i} за рівнянням (12), величину λ_{H2i} зменшують з кроком 0,01 до досягнення збіжності.

Блок 11. Обчислення показників газодинамічних функцій відносного тиску Π_{H2i} та Π_{C2i} за рівняннями:

$$\Pi_{H2i} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_{H2i}^2 \right)^{k/(k-1)}, \quad (13)$$

$$\Pi_{C2i} = \Pi_{H2i} \frac{P_H}{P_C}. \quad (14)$$

Блок 12. Розрахунок коефіцієнтів K_{3i} і K_{4i} за формулами:

$$K_{3i} = 1 + \phi_3 \frac{P_C}{P_P} \left(\frac{\Pi_{C3i} - \frac{P_H}{P_C}}{k \Pi_* \lambda_{C3i} q_{PH}} \right), \quad (15)$$

$$K_{4i} = 1 + \frac{P_C}{P_H} \left(\frac{\Pi_{C3i} - \Pi_{C2i}}{k \Pi_* \lambda_{C3i} q_{H2i}} \right), \quad (16)$$

$$\Pi_* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}}, \quad (17)$$

де $\phi_3 = 0,9$ – рекомендований експериментальний коефіцієнт; Π_* – критичне газодинамічне відношення тисків.

Блок 13. Визначення коефіцієнта інжекції струминного компресора виконують за рівнянням (18) з урахуванням прийнятих експериментальних коефіцієнтів швидкості робочого та інjektованого потоків

$$U_i = \frac{K_1 \lambda_{PH} - K_3 \lambda_{C3i}}{K_4 \lambda_{C3i} - K_2 \lambda_{H2i}} \frac{1}{\sqrt{\Theta}}, \quad (18)$$

де $K_1 = 0,834$ – експериментальний коефіцієнт швидкості робочого потоку; $K_2 = 0,812$ – експериментальний коефіцієнт швидкості потоку, що інjektується.

Блок 14. Порівняння розрахованого значення U_i з $(U_{ГР2})_i$. Якщо $U_i > (U_{ГР2})_i$, то приймається $U_i = (U_{ГР2})_i$ та здійснюється перехід до блоку 7 для завдання нового значення λ_{C3i} . У випадку, коли отримане значення $U_i < (U_{ГР2})_i$, то задається нове значення $U_i < (U_{ГР2})_i$, здійснюється перехід до блоку 9 для визначення за формулою (11) величини q_{H2i} та знову

розраховується за рівнянням (18) коефіцієнт інжекції U_i .

Блок 15. Оцінка похибки умови збіжності $\delta = \frac{|U_i - U_{i+1}|}{U_i} 100 \leq 0,2\%$, у разі виконання якої

остаточно приймається коефіцієнт U та здійснюється перехід до встановлення масової витрати робочої пари аміаку M_p за рівнянням:

$$M_p = M_H / U, \quad (19)$$

де M_H – масова витрата пари, що інjektується з генератора-ректифікатора АХУ, кг/год.

Блок 16. Закриття файлу *STRUM* і завершення процедури.

Чисельну реалізацію розробленого алгоритму виконано в програмному середовищі *MATLAB*. За результатами розрахунків оцінено вплив тиску конденсації аміачної пари на коефіцієнт інжекції та витрату робочої пари струминного компресора за фіксованих параметрів робочого й інжектованого потоків.

На рис. 2 наведено відповідні розрахункові залежності витрати робочої пари M_p та коефіцієнта інжекції u від тиску конденсації P_k для тиску робочої пари 3 МПа і витрати інжектованого потоку 14,87 т/год. Показано, що зниження тиску конденсації з 1,7 до 1,5 МПа супроводжується зменшенням витрати робочої пари на 0,63 т/год, що приводить до зниження навантаження на апарати повітряного охолодження під час конденсації аміачної пари.

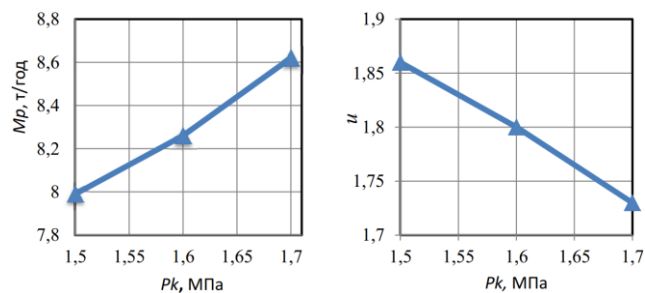


Рис. 2 – Вплив тиску конденсації P_k на коефіцієнт інжекції u та витрату робочої пари M_p

Обговорення результатів

Отримані результати показують, що запропоноване алгоритмічне забезпечення формалізує процес ухвалення рішень щодо режимів роботи струминних компресорів АХУ за змінних умов конденсації аміачної пари. Розрахункова оцінка коефіцієнта інжекції та витрати робочої пари забезпечує узгодження роботи генераторно-ректифікаційного вузла з апаратами повітряного охолодження без застосування емпіричних підходів. У режимі супервізорного керування алгоритм формує рекомендації оператору щодо ввімкнення або

вимкнення додаткових струминних компресорів залежно від поточних значень температури та тиску конденсації, що зменшує вплив суб'єктивного фактора і підвищує відтворюваність рішень. Реалізація алгоритму в програмному середовищі *MATLAB* та апробація на експериментальних даних промислової експлуатації АХУ підтверджують можливість використання підходу як складової підсистеми прийняття рішень у складі інформаційно-керуючих комплексів виробництва аміаку.

Висновки

Проаналізовано умови функціонування абсорбційно-холодильних установок у складі технологічного комплексу вторинної конденсації агрегатів синтезу аміаку серії АМ-1360. Обґрунтовано економічну доцільність керування витратою робочої пари до струминних компресорів, призначених для стабілізації тиску в генераторі-ректифікаторі. Розроблено алгоритмічне забезпечення підсистеми прийняття рішень, яке визначає витрату робочої пари з урахуванням змін температури та тиску конденсації в апаратах повітряного охолодження. Показано, що застосування алгоритму в режимі супервізорного керування забезпечує вибір кількості діючих струминних компресорів залежно від поточних умов конденсації та розрахованого коефіцієнта інжекції. Реалізацію виконано у *MATLAB*, працездатність підтверджено на експериментальних даних промислової експлуатації абсорбційно-холодильної установки.

Список літератури

- Babichenko A. K., Velma V. V., Babichenko Yu. A., Kravchenko Ya. O., Krasnikov I. L. System analysis of the secondary condensation unit in the context of improving energy efficiency of ammonia production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 2, № 6 (86). P. 18–26. doi:10.15587/1729-4061.2017.96464.
- Wang H., Wang J., Liu Z., Chen H., Liu X. Thermodynamic analysis of a new combined cooling and power system coupled by the ammonia–water absorption refrigeration cycle. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. № 20. 13260. doi:10.3390/su142013260.
- Бабіченко А. К., Тошинський В. І. Застосування математичного моделювання для діагностики показників ефективності процесів тепло- і масообміну в абсорберах тепловикористовуючих холоильних установок агрегатів синтезу аміаку. *Питання хімії та хімічної технології*. 2009. № 6. С. 107–111.
- Бабіченко Ю. А. *Інтенсифікація процесів тепло- і масообміну холоильного обладнання блоку вторинної конденсації виробництва синтетичного аміаку*: автореф. дис. канд. техн. наук. Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 20 с.
- Babichenko A. K., Krasnikov I. L., Babichenko Yu. A., Panasenko V. V., Snurnikov D. V., Shutynskiy O. V. Designing energy-efficient hardware and technological structure of absorption refrigeration units for ammonia production. *Eastern-European Journal of Enterprise*

- Technologies*. 2024. Vol. 1, № 2 (127). P. 74–81. doi:10.15587/1729-4061.2024.297717.
6. Бабіченко А. К., Подустов М. О., Кравченко Я. О., Бабіченко Ю. А. Формування інформаційного масиву ідентифікатора адаптивної системи управління блоку конденсації виробництва аміаку за невизначеностей. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Інформатика та моделювання. 2019. № 13 (1338). С. 25–33. doi:10.20998/2411-0558.2019.13.03.
 7. Wang L., Liu J., Zou T., Du J., Jia F. Auto-tuning ejector for refrigeration system. *Energy*. 2018. Vol. 161. P. 536–543. doi:10.1016/j.energy.2018.07.110.
 8. Wang X., Zhang Y., Tian Y., Li X., Yao S., Wu Z. Experimental investigation of a double-slider adjustable ejector under off-design conditions. *Applied Thermal Engineering*. 2021. Vol. 196. 117343. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117343.
 9. Ладанюк А. П., Ладанюк О. А., Бойко Р. О., Івашук В. В., Кроніковський Д. О., Шумигай Д. А. *Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів*. Київ: Інтер Логістик Україна, 2015. 408 с.
 10. Grazzini G., Milazzo A., Mazzelli F. *Ejectors for efficient refrigeration: design, applications and computational fluid dynamics*. Cham: Springer International Publishing, 2018. 180 p. doi:10.1007/978-3-319-91140-2.
 11. Dolatabadi A. M., Mottahedi H. R., Aliabadi M. A. F., Pour M. S., Wen C., Akrami M. Evaluating and optimizing steam ejector performance considering heterogeneous condensation using a machine learning framework. *Energy*. 2024. Vol. 305. 132240. doi:10.1016/j.energy.2024.132240.
 12. Hao X. Experimental investigation of the ejector refrigeration cycle as part of a cascade system. *Frontiers in Energy*. Vol. 31. P. 1476–1486. 2022. doi:10.1007/s11630-020-1367-2.
 13. Xu Y., Wang Z., Jin H., Shen X., Mao J., Chen G. Study on the performance of a high-solar-efficiency ejector-compressor partially coupled refrigeration system with cooling storage at sub-low temperature. *Renewable Energy*. 2024. Vol. 231. 121026. doi: 10.1016/j.renene.2024.121026.
 - mathematical modeling for diagnostics of efficiency indicators of heat and mass transfer processes in absorbers of heat-utilizing refrigeration units of ammonia synthesis plants]. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnologii [Issues of Chemistry and Chemical Technology]*, 2009, no. 6, pp. 107–111.
 4. Babichenko Yu. A. *Intensyfikatsiia protsesiv teplo- i masoobminu kholodylnoho obladnannia bloku vtorynnoi kondensatsii vyrobnytstva syntetychnoho ammiaku [Intensification of heat and mass transfer processes in refrigeration equipment of the secondary condensation unit of synthetic ammonia production]*. Extended abstract of PhD thesis. Kharkiv, NTU «KhPI», 2005, 20 p.
 5. Babichenko A. K., Krasnikov I. L., Babichenko Yu. A., Panasenko V. V., Snurnikov D. V., Shutynskyi O. V. Designing energy-efficient hardware and technological structure of absorption refrigeration units for ammonia production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2024, Vol. 1, no. 2 (127), pp. 74–81, doi:10.15587/1729-4061.2024.297717.
 6. Babichenko A. K., Podustov M. O., Kravchenko Ya. O., Babichenko Yu. A. Formuvannia informatsiinoho masyvu identyfikatora adaptivnoi systemy upravlinnia bloku kondensatsii vyrobnytstva ammiaku za nevyznachenostei. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling"*, 2019, no. 13(1338), pp. 25–33, doi:10.20998/2411-0558.2019.13.03.
 7. Wang L., Liu J., Zou T., Du J., Jia F. Auto-tuning ejector for refrigeration system. *Energy*, 2018, Vol. 161, pp. 536–543, doi:10.1016/j.energy.2018.07.110.
 8. Wang X., Zhang Y., Tian Y., Li X., Yao S., Wu Z. Experimental investigation of a double-slider adjustable ejector under off-design conditions. *Applied Thermal Engineering*, 2021, Vol. 196. 117343. doi:10.1016/j.applthermaleng.2021.117343.
 9. Ladaniuk A. P., Ladaniuk O. A., Boiko R. O., Ivashchuk V. V., Kronikovskiy D. O., Shumyhai D. A. *Suchasni metody avtomatyzatsii tekhnolohichnykh obiektiv*. Kyiv, Inter Lohistykyk Ukraina, 2015, 408 p.
 10. Grazzini G., Milazzo A., Mazzelli F. *Ejectors for efficient refrigeration: design, applications and computational fluid dynamics*. Cham, Springer International Publishing, 2018. 180 p., doi:10.1007/978-3-319-91140-2.
 11. Dolatabadi A. M., Mottahedi H. R., Aliabadi M. A. F., Pour M. S., Wen C., Akrami M. Evaluating and optimizing steam ejector performance considering heterogeneous condensation using a machine learning framework. *Energy*, 2024, Vol. 305, 132240, doi:10.1016/j.energy.2024.132240.
 12. Hao X. Experimental investigation of the ejector refrigeration cycle as part of a cascade system. *Frontiers in Energy*, 2022, Vol. 31, pp. 1476–1486, doi:10.1007/s11630-020-1367-2.
 13. Xu Y., Wang Z., Jin H., Shen X., Mao J., Chen G. Study on the performance of a high-solar-efficiency ejector-compressor partially coupled refrigeration system with cooling storage at sub-low temperature. *Renewable Energy*, 2024, Vol. 231, 121026, doi:10.1016/j.renene.2024.121026.

References (transliterated)

Відомості про авторів (About authors)

Бабіченко Анатолій Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-8649-9417; e-mail: Anatolii.Babichenko@khi.edu.ua.

Babichenko Anatoliy – Phd, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation of Technological Systems and Environmental Monitoring, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-8649-9417; e-mail: Anatoliy.Babichenko@khpі.edu.ua.

Красніков Ігор Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-7663-1816; e-mail: Ihor.Krasnikov@khpі.edu.ua.

Krasnikov Ihor – Phd, Associate Professor, Head of the Department of Automation of Technological Systems and Environmental Monitoring, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID 0000-0002-7663-1816; e-mail: Ihor.Krasnikov@khpі.edu.ua.

Бабіченко Юлія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергоменеджменту, Український державний університет залізничного транспорту; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-5345-7595; e-mail: juliette-ua@ukr.net.

Babichenko Juliya – Phd, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Thermal Engineering and heat engines; Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5345-7595; e-mail: juliette-ua@ukr.net.

Лисаченко Ігор Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації технологічних систем та екологічного моніторингу; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-3723-8587; e-mail: Ihor.Lysachenko@khpі.edu.ua.

Lysachenko Ihor – Phd, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation of Technological Systems and Environmental Monitoring, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-3723-8587; e-mail: Ihor.Lysachenko@khpі.edu.ua.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Бабіченко А. К., Красніков І. Л., Бабіченко Ю. А., Лисаченко І. Г. Підсистема прийняття рішень системи керування абсорбційно-холодильних установок виробництва аміаку. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2026. № 1 (27). С. 54-60. doi:10.20998/2413-4295.2026.01.07.

Please cite this article as:

Babichenko A., Krasnikov I., Babichenko J., Lysachenko I. Decision-making subsystem of the control system for absorption refrigeration units in ammonia production. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2026, no. 1(27), pp. 54–60, doi:10.20998/2413-4295.2026.01.07.

Надійшла (received) 29.01.2026
Прийнята (accepted) 03.03.2026
Опублікована (published) 02.04.2026