

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-278-2-112-118>

УДК 681.5.015

ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДИСКРЕТНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ З МОДЕЛЛЮ ВУЗЛОМ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ АМІАКУ

Купіна О.А., Лорія М.Г., Целіщев О.Б., Гурін О.М.

FEASIBILITY OF USING A DISCRETE CONTROL SYSTEM WITH A REFRIGERATION AND CONDENSATION NODE MODEL IN AMMONIA PRODUCTION

Kupina O.A, Loria M.G., Tselishchev O.B., Hurin O.M.

Задача оптимізації в контексті процесу синтезу аміаку полягає у пошуку оптимальних-параметрів і умов роботи для досягнення певних цілей або максимальної продуктивності процесу при обмежених ресурсах та обставинах.

В даній роботі запропоновано використання дискретної системи керування з моделлю апаратом повітряного охолодження (АПО) й проведено аналіз економічної доцільності використання вищезгаданої системи.

В результаті такого аналізу встановлено, чи підходять наближені розв'язки для використання у практичних застосуваннях або чи потрібно використовувати більш точні методи розв'язування.

По-перше було обрано оптимальний ступінь дискретизації ($0,5 \square$), який, з одного боку забезпечував якомога більш точне вираховування дрібних змін величини, а з іншого – не призводив до збільшення кількості можливих станів або комбінацій, що значно підвищує обчислювальну складність задачі, особливо при роботі зі складними математичними моделями.

По друге, доведено доцільність та ефективність використання дискретної системи керування з моделлю вузлом охолодження та конденсації при врахуванні забруднень як збурюючої координату в автоматизаційній схемі апарата повітряного охолодження. Це забезпечує більш ефективне та точне керування процесом за рахунок зміни режимів роботи вентиляторів чи інших систем охолодження в залежності від рівня забруднення. При збільшенні рівня забруднення система автоматично підвищує оберти вентиляторів або змінює параметри охолодження для компенсації зменшення ефективності теплопередачі.

По-третє, проведено розрахунки економічної доцільності використання дискретної системи .

Для розрахунків економічної доцільності були використані наступні допущення:

- 1. Потужність одного вентилятора $N = 100$ кВт (згідно регламенту).*
- 2. Вартість електроенергії $C 4,06$ грн за 1 кВт (середнє значення в Україні для підприємств).*
- 3. Тривалість роботи агрегату в теплий період року, $H = 5000$ годин/рік (зазначено у тексті).*
- 4. Кількість можливих комбінацій вентиляторів, $K = 256$ (як обговорювалося раніше).*

Максимальна економія, згідно цим розрахункам, становить 2,7млн грн..

Ключові слова: апарат повітряного охолодження, математична модель, виробництво аміаку, оптимальні параметри процесу, оптимізація, дискретна система керування, економічна доцільність, ступінь дискретизації.

Вступ. Порушення стабільності технологічного процесу синтезу аміаку виникає внаслідок невідповідності між роботою автоматичного процесу охолодження та конденсації (АПО) та динамікою самого синтезу. Технологічні параметри, такі як витрата реагентів, температури на вході вузла охолодження та зовнішня температура, змінюються з різних причин, включаючи зміни у рецептурі чи умовах виробництва.

Ці зміни можуть призвести до коливань у температурному режимі синтезу, та внаслідок цього, у температурі газової суміші на виході з колони та вході до АПО. Оператори, намагаю-

чись компенсувати ці зміни, можуть втручатися та регулювати вентиляцію АПО. Але такі втручання можуть призвести до раптових змін тиску та витрати реагентів, порушуючи стабільність процесу синтезу аміаку.

Проблема посилюється, коли вентиляція вмикається несистемно, призводячи до різкого зниження температури. Це призводить до зростання тиску в групі теплообмінників, подальше збільшення перепаду тиску між колоною синтезу та компресором. Це в свою чергу збільшує витрату реагентів та може спровокувати некерувані зміни у циклі синтезу аміаку.

Крім того, нераціональне споживання електроенергії може призвести до значних фінансових витрат для підприємства. Наприклад, якщо обладнання працює з надлишковою потужністю, це призведе до переплати за електроенергію. Оплата за електроенергію може становити суттєву частку в загальних витратах виробництва, тому ефективно управління споживанням електроенергії є важливою економічною задачею.

Крім фінансових аспектів, нераціональне споживання електроенергії також може мати негативний вплив на довкілля. Зайве споживання енергії призводить до викидів забруднюючих речовин у повітря та воду, що може спричинити забруднення навколишнього середовища та впливати на якість повітря. Крім того, виробництво електроенергії може викликати викиди парникових газів, сприяючи глобальному потеплінню та зміні клімату.

Постановка проблеми.

Завдання впровадження дискретної системи керування полягає в усуненні нестабільності та оптимізації процесів в умовах, де традиційні методи керування не забезпечують достатньої точності та ефективності. Дискретні системи керування дозволяють реагувати на зміни в умовах реального часу, враховуючи обмеження та динаміку системи.

У випадку виробництва аміаку, завдання полягає в досягненні стабільності та оптимальних умов роботи процесу синтезу. Дискретна система керування з моделлю вузла охолодження і конденсації може аналізувати дані з датчиків температури, тиску та інших параметрів. Вона автоматично коригує роботу системи охолодження, уникаючи різких перепадів тиску та температури, тим самим забезпечуючи стабільну та ефективну роботу циклу синтезу аміаку.

Ця задача передбачає розробку алгоритмів та стратегій керування, які враховують складні

динамічні зміни в процесі синтезу. Оптимізація полягає в досягненні максимальної продуктивності, мінімізації витрат енергії та ресурсів, а також уникненні аварійних ситуацій. Дискретна система керування дозволяє вирішувати ці завдання шляхом аналізу та регулювання параметрів системи в реальному часі.

Мета статті. Метою даної роботи є доведення доцільності впровадження дискретної системи керування з моделлю вузлом охолодження та конденсації аміаку з точки зору економічної ефективності та забезпечення необхідної температури продукту на виході.

Для досягнення мети необхідно розробити та впровадити дискретну систему керування, виконуючі наступні завдання:

1. Обрати оптимальний ступень дискретизації, який дозволить відповідно враховувати динаміку технологічного процесу синтезу аміаку та забезпечить точність і швидкість реакцій системи керування;
2. Знайти шляхи вирішення проблеми забруднення поверхонь теплообміну;
3. Здійснити аналіз показників ефективності та продуктивності після впровадження системи дискретного керування з моделлю вузла охолодження та конденсації для підтвердження доцільності і позитивного впливу на процес синтезу аміаку.

Аналіз досліджень і публікацій. Створення та імплементація дискретних систем керування є завданням, яке вимагає значних зусиль та досліджень. Цьому питанню присвячено багато наукових досліджень.

В роботі [1] розглянуто аналіз впливу роботи вузла охолодження і конденсації газопродуктової суміші на стабільність виробничого процесу синтезу метанолу. Запропоновано нетрадиційний підхід до регулювання роботи вузла охолодження і конденсації, заснований на принципі компенсації збурень шляхом вибору оптимальної схеми включення елементів вузла. Але автори не враховують вплив зміни рівня забруднень на процес синтезу.

В роботі [2] автори аналізують, які чинники впливають на енергоефективність виробничих процесів та як дискретні системи керування можуть бути використані для кращого управління споживанням електроенергії. Вони розглядають конкретні методи та підходи до впровадження дискретних систем керування, які допомагають в оптимізації енергетичних процесів, зменшенні втрат енергії та підвищенні загальної енергоефективності.

Такий підхід стосується широкого спектру промислових секторів, включаючи виробництво хімічних речовин, палив та енергії, де зменшення витрат енергії може привести до значних економій та зниження впливу на довкілля.

В роботі [3] обговорюється, як дискретні системи керування дозволяють точніше та ефективніше регулювати температуру в системах опалення, що є особливо актуально в контексті забезпечення комфортних умов у приміщеннях та економії енергоресурсів.

Йдеться про використання датчиків температури та інших параметрів для забезпечення точного регулювання системи опалення.

В роботі [4] автори розглядають, як дискретні системи керування можуть сприяти ефективному використанню ресурсів, таких як енергія, сировина і робоча сила. Вони досліджують можливості використання дискретного керування для оптимізації витрат та забезпечення ефективного розподілу ресурсів в процесі виробництва.

Крім того, автори досліджують, як дискретне керування може сприяти зниженню витрат у виробництві шляхом встановлення оптимальних режимів роботи обладнання та систем. Вони аналізують, як дискретні системи керування можуть реагувати на змінні умови та динаміку виробництва, забезпечуючи оптимальні налаштування для забезпечення максимальної продуктивності при мінімальних витратах.

Також проводиться аналіз можливості оптимізації процесів виробництва за допомогою дискретного керування для підвищення якості виробленої продукції шляхом точного контролю параметрів та умов виробництва.

Основною метою роботи [5] було визначення можливостей та обмежень використання інтелектуальних підходів у дискретному керуванні. Робота акцентує на використанні інтелектуальних методів для розробки дискретної системи керування, що може призвести до покращення ефективності та стабільності виробничих систем. Дослідження розглядає можливість розробки алгоритмів, які можуть адаптуватися до змін в процесі виробництва, забезпечуючи більш гнучке та оптимальне керування.

Застосування інтелектуальних підходів може позитивно вплинути на якість виробленої продукції та уникнення дефектів.

Але й є недоліки: складність реалізації, необхідність навчання, вразливість до недостатньої інформативності.

Незважаючи на ці недоліки, дослідження та впровадження дискретних систем керування є важливими кроками у напрямку оптимізації і покращення різних процесів, включаючи промислові та технологічні системи.

Результати досліджень. Дискретна система керування базується на математичній моделі вузла охолодження та конденсації, яка враховує залежності між параметрами та реагує на зміни в процесі теплопередачі. Система буде визначати оптимальні режими роботи вентиляторів та параметрів охолодження, щоб підтримувати стабільну температуру газу на виході колони синтезу та ефективну теплопередачу в АПО.

$$\tau'' \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} + \tau' \cdot \frac{dy_1}{dt} + y_1 = K_1 \cdot \left(\tau_2 \frac{dz_1}{dt} + K_6 \cdot z_1 \right) + K_3 \cdot \left(\tau_2 \frac{dz_3}{dt} + z_3 \right) + K_7 \cdot z_4 \quad (1)$$

З урахуванням коефіцієнтів ММ АПО має наступний вигляд:

1) при вимкненому вентиляторі:

$$3.76 \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} + 1927 \cdot \frac{dy_1}{dt} + y_1 = 0.63 \cdot \left(-79.79 \cdot \frac{dz_1}{dt} + z_1 \right) + 0.27 \cdot \left(1909 \cdot \frac{dz_3}{dt} + z_3 \right) + 0.45 \cdot z_4 \quad (2)$$

2) при включеному вентиляторі:

$$1.37 \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} + 7.16 \cdot \frac{dy_1}{dt} + y_1 = -1.45 \cdot \left(12.71 \cdot \frac{dz_1}{dt} + z_1 \right) + 0.27 \cdot \left(6.97 \cdot \frac{dz_3}{dt} + z_3 \right) + 1.88 \cdot z_4 \quad (3)$$

3) при включеній системі зрошення:

$$0.19 \cdot \frac{d^2 y_1}{dt^2} + 1.16 \cdot \frac{dy_1}{dt} + y_1 = -2.47 \cdot \left(1.03 \cdot \frac{dz_1}{dt} + z_1 \right) + 0.27 \cdot \left(0.96 \cdot \frac{dz_3}{dt} + z_3 \right) + 2.59 \cdot z_4 \quad (4)$$

Під час застосування дискретної системи одним з найбільш важливих питань є обрання ступеня дискретизації. Значення ступеня дискретизації визначає, наскільки дрібними крока-

ми розділяється континуум або величина на дискретні підрозділи. Чим менше значення ступеня дискретизації, тим більш точно можна враховувати дрібні зміни величини.

Однак зменшення ступеня дискретизації також призводить до збільшення кількості можливих станів або комбінацій, що може значно підвищити обчислювальну складність задачі, особливо при роботі зі складними математичними моделями.

Отже, вибір оптимального значення ступеня дискретизації повинен бути компромісом між точністю моделі та обчислювальною ефективністю. Важливо знаходити баланс між достатньою точністю представлення фізичних явищ і обробкою даних без надмірного зростання обчислювальних витрат.

Зменшення ступеня дискретизації вимірювання температури дійсно може зменшити можливість виявлення дрібних змін у температурі. Однак, якщо зменшити ступінь дискретизації до значення, близького до абсолютної похибки вимірювання каналу температури після вузла охолодження ($0,5^{\circ}\text{C}$ у вашому випадку), це може призвести до того, що більшість дрібних змін у температурі будуть помічатися як похибки вимірювання, а не як справжні зміни у процесі.

Застосування показань приладу, що вимірює температуру на вході вузла охолодження, дозволить забезпечити більш точне прогнозування змін температурного режиму відповідно до витрати цільового компоненту. Керуючий алгоритм, опираючись на ці дані, зможе автоматично регулювати роботу вентиляторів на кожному АПО, що забезпечить оптимальний режим охолодження та конденсації газової суміші.

Такий підхід дозволить уникнути неконтрольованих різких змін температури, перепадів тиску та збурень, що можуть виникати при ручному керуванні вентиляторами. Замість цього, система буде динамічно реагувати на зміни у витраті цільового компоненту та адаптувати роботу АПО для забезпечення стабільності процесу синтезу аміаку.

Враховуючи вплив забруднення як збурюючої координати в автоматизованій схемі вузла охолодження та конденсації, використання дискретної системи керування може сприяти більш точному та ефективному управлінню процесом. Це може призвести до покращення продуктивності та забезпечення оптимальних умов функціонування.

Суть дискретної системи керування полягає у використанні певних визначених станів або режимів. Шляхом зміни станів відповідно до рівня забруднення та інших параметрів, дискретна система може оптимізувати операції вузла охолодження та конденсації.

Один із можливих підходів до дискретної системи керування - це зміна режимів роботи вентиляторів та інших охолоджувальних систем в залежності від рівня забруднення. При збільшенні рівня забруднення, система автоматично може збільшити оберти вентиляторів або змінити параметри охолодження для збереження оптимальної ефективності теплопередачі.

Більше того, дискретна система може використовувати логічні алгоритми прийняття рішень, які базуються на рівні забруднення та інших параметрах. Це дозволяє системі автоматично виконувати оптимальні дії щодо керування процесом охолодження та конденсації.

Для вимірювання рівня забруднення АПО можуть бути використані різноманітні датчики та сенсори, розташовані на поверхнях теплообмінників та інших частинах системи. Ці датчики відслідковують різні параметри, які можуть вказувати на рівень забруднення, дозволяючи системі вчасно реагувати та вживати відповідні заходи.

Запропонована дискретна система керування з моделлю вузла охолодження та конденсації дозволяє розраховувати значення коефіцієнта забрудненості поверхонь теплообміну АПО шляхом моніторингу та аналізу різних параметрів процесу теплопередачі та реакції системи на збруднення.

Система включає в себе датчики температури, тиску, теплового потоку та інші, які збирають дані про роботу АПО. Ці дані передаються в математичну модель вузла охолодження та конденсації, яка використовує алгоритми і логічні оператори для аналізу даних.

На основі зібраних даних та аналізу, система може виявляти зміни в теплопередачі, ступінь забруднення поверхонь теплообмінників та інших частин АПО. Наприклад, зниження ефективності теплопередачі може вказувати на забруднення поверхонь.

На основі цих даних система може розраховувати приблизне значення коефіцієнта забрудненості поверхонь теплообмінників шляхом порівняння поточних параметрів з даними, які були зареєстровані раніше або зі заздалегідь встановленими допустимими значеннями.

Враховуючи різні комбінації включення вентиляторів та параметри охолодження, си-

стема може здійснювати оптимальний контроль над рівнем забруднення, встановлюючи такі режими роботи, які дозволять підтримувати ефективну теплопередачу та мінімізувати негативний вплив забруднення на процес охолодження та конденсації.

Таким чином, дискретна система керування дозволяє не тільки визначати рівень забрудненості, але й приймати відповідні рішення для оптимізації процесу теплопередачі та підтримання ефективної роботи вузла охолодження та конденсації.

При досягненні максимально допустимого значення цього коефіцієнта слід увімкнути систему самоочищення АПО.

Крім того, важливим питанням є забезпечити мінімізація енергетичних затрат, і, оскільки вентилятори будуть включатись тільки тоді, коли це необхідно для компенсації змін температурного режим, то це дозволить оптимізувати використання електроенергії та знизити витрати на експлуатацію процесу синтезу аміаку.

Це впливає з наступного розрахунку:

Спершу визначимо вартість електроенергії для кожної можливої комбінації:

1. Вартість електроенергії для кожної комбінації, C_K - це вартість електроенергії за 1 кВт помножене на потужність комбінації:

$$C_K = C \cdot P_K \quad (5)$$

Обираємо комбінацію, яка має найменшу споживану потужність серед тих, що задовольняють вимоги до температури (згідно з розділом 3).

Далі розрахуємо різницю у споживаній потужності між стандартним режимом роботи і вибраною комбінацією.

Помножимо різницю у потужності на кількість годин роботи за рік (у вашому випадку 5000 годин) та на вартість електроенергії за 1 кВт-годину (4.06 грн).

Аналіз даних свідчить про те, що серед комбінацій, що дають задане значення температури на виході АПО ± 1 °С з точки енергоефективності є комбінація, у якій за годину споживається 233,3 кВт енергії вартістю 947,3 грн.

Далі знаходимо економію вартості електроенергії за одну годину при використанні саме оптимальної комбінації у порівнянні з іншими комбінаціями, які дають задане значення температури на виході АПО.

Тоді мінімальна економія за годину становить:

$$1082,7 - 947,3 = 135,4 \text{ грн.}$$

Максимальна економія за годину становить:

$$1488,7 - 947,3 = 541,4 \text{ грн.}$$

Відповідно мінімальна економія за рік становить:

$$135,4 \cdot 5000 = 677\,000 \text{ грн.}$$

Максимальна економія за рік становить:

$$541,4 \cdot 5000 = 2\,707\,000 \text{ грн.}$$

Висновок. В результаті аналізу роботи системи дискретного керування з моделлю вузла охолодження та конденсації в різних температурних умовах було встановлено, що впровадження запропонованої системи призводить до значного ефекту економії електроенергії, а також стабілізації роботи обладнання у виробництві аміаку.

Було обрано ступінь дискретизації 0,5°С, який забезпечує достатню точність відображення змін у технологічному процесі, при цьому не перевантажуючи систему надмірною кількістю обчислень. Це є оптимальним балансом між забезпеченням точності реакцій системи та збереженням ефективності роботи.

Крім того, система дискретного керування з моделлю дозволяє вирішувати проблему забрудненості поверхонь теплообміну АПО. При досягненні максимально допустимого коефіцієнта забрудненості, система може увімкнути самоочищення АПО без необхідності зупинки стадії синтезу. Це дозволяє здійснити очищення в процесі роботи, що зменшить втрати електроенергії та покращить ефективність процесу охолодження та конденсації газоаміачної суміші.

Встановлено, що економічна ефективність запропонованої дискретної системи керування з моделлю вузлом охолодження та конденсації зі ступенем дискретності 0,5, адже за рахунок економії електричної енергії вона дозволяє отримати до 2,7 млн. грн/рік.

Загалом, впровадження дискретної системи керування з моделлю вузла охолодження та конденсації аміаку у виробництві аміаку дозволяє забезпечити більш стабільну та ефективну роботу обладнання, знизити витрати електроенергії та забезпечити стабільність та надійність усього процесу синтезу аміаку.

Л і т е р а т у р а

1. Оптимальне керування вузлом охолодження і конденсації газопродуктової суміші у виробництві синтезу метанолу / [М. Г. Лорія, О. В. Поркуян, О. Б. Целіщев, П. Й. Єлісєєв] // Вісник Східноукраїнського національного

- університету імені Володимира Даля. – 2019. – №2(250)– С. 54 – 59.
2. Energy Efficiency Enhancement in Discrete Manufacturing Process with Energy Use Parameters / [Juhani Heilala, Krzysztof Klobut, Tapio Salonen, Paula Jarvinen] // VTT Technical Research Centre of Finland, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland/ - 2011
 3. Design and Implementation of a Discrete-Time Proportional Integral (PI) Controller for the Temperature Control of a Heating Pad/ [Pathan Fayaz Khan, S Sengottuvel, Rajesh Patel, K Gireesan, R Baskaran, Awadhesh Mani] // <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29746801/> – 2010.
 4. Optimal Control Problem of Converter Steelmaking Production Process Based on Operation Optimization Method/ [Jun Zhang] // Discrete Dynamics in Nature and Society – 2015.
 5. Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system/ [Qiang Liu, Jiewu Leng, Douxi Yan, Ding Zhang, Lijun Wei, Ailin Yu, Rongli Zhao, Hao Zhang, Xin Chen] // Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – №58(B)– С. 52 – 64

References –

1. Optimal control of the cooling and condensation unit of the gas product mixture in the production of methanol synthesis / [M. H. Loria, O. V. Porkuyan, O. B. Tselishchev, P. Y. Eliseev] // Bulletin of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl. – 2019. – No. 2(250) – P. 54 – 59.
2. Energy Efficiency Enhancement in Discrete Manufacturing Process with Energy Use Parameters / [Juhani Heilala, Krzysztof Klobut, Tapio Salonen, Paula Jarvinen] // VTT Technical Research Centre of Finland, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland/ - 2011
3. Design and Implementation of a Discrete-Time Proportional Integral (PI) Controller for the Temperature Control of a Heating Pad/ [Pathan Fayaz Khan, S Sengottuvel, Rajesh Patel, K Gireesan, R Baskaran, Awadhesh Mani] // <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29746801/> – 2010.
4. Optimal Control Problem of Converter Steelmaking Production Process Based on Operation Optimization Method/ [Jun Zhang] // Discrete Dynamics in Nature and Society – 2015.
5. Digital twin-based designing of the configuration, motion, control, and optimization model of a flow-type smart manufacturing system/ [Qiang Liu, Jiewu Leng, Douxi Yan, Ding Zhang, Lijun Wei, Ailin Yu, Rongli Zhao, Hao Zhang, Xin Chen] // Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – №58(B)– С. 52 – 64

Kupina O.A., Loria M.G., Tselishchev O.B., Hurin O.M.

Feasibility of using a discrete control system with a refrigeration and condensation node model in ammonia production

The task of optimization in the context of the ammonia synthesis process is to find the optimal parameters and operating conditions to achieve certain goals or the maximum productivity of the process under limited resources and circumstances.

In this paper, the use of a discrete control system with a model of an air-cooling device (APO) is proposed and an analysis of the economic feasibility of using the above-mentioned system is carried out.

As a result of such an analysis, it is determined whether approximate solutions are suitable for use in practical applications or whether more accurate methods of solving should be used.

First, the optimal degree of discretization (0.5□) was chosen, which, on the one hand, ensured the most accurate calculation of small changes in magnitude, and on the other hand, did not lead to an increase in the number of possible states or combinations, which significantly increases computational complexity of the task, especially when working with complex mathematical models.

Secondly, the expediency and effectiveness of using a discrete control system with a model of a cooling and condensation node, taking into account pollution as a disturbing coordinate in the automation scheme of the air cooling device, has been proven. This provides more efficient and accurate control of the process by changing the operating modes of fans or other cooling systems depending on the level of contamination. When the level of contamination increases, the system automatically increases the fan speed or changes the cooling parameters to compensate for the decrease in heat transfer efficiency.

Thirdly, calculations of the economic feasibility of using a discrete system were carried out.

The following assumptions were used for economic feasibility calculations:

1. Power of one fan $N = 100$ kW (according to regulations).
2. The cost of electricity is UAH 4.06 per 1 kW (average value in Ukraine for enterprises).
3. Duration of operation of the unit in the warm period of the year, $H - 5000$ hours/year (specified in the text).
4. The number of possible fan combinations, $K - 256$ (as discussed earlier).

The maximum savings, according to these calculations, is UAH 2.7 million.

Keywords: air cooler, mathematical model, ammonia production, optimal process parameters, optimization, discrete control system, economic feasibility, discretization degree.

Купіна О.А. – аспірант кафедри «Комп'ютерно-інтегрованих систем управління» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: kupina@snu.edu.ua

Лорія М.Г. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Комп'ютерно-інтегрованих систем управління» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: m_loria@snu.edu.ua.

Целішев О. Б. д.т.н., професор, проректор з наукової роботи Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: atp00@ukr.net.

Гурін Олександр Миколайович - аспірант кафедри «Комп'ютерно-інтегрованих систем управління» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: gurin@ukr.net.

Стаття подана 03.04.2023.