

УДК 66.03

**Іванченко А.В.**

Дніпровський державний технічний університет

**Пасс О.В.**

Дніпровський державний технічний університет

## ВИКОРИСТАННЯ ДОДАТКОВОГО ЕЖЕКТОРА В СИСТЕМІ ВАКУУМНОЇ КОНДЕНСАЦІЇ КОМПРЕСОРА СИНТЕЗ-ГАЗУ НА АГРЕГАТІ СИНТЕЗУ АМОНІАКУ

*Робота присвячена дослідженню використання додаткового ежектора для поглиблення показнику вакууму в системі вакуумної конденсації відпрацьованої пари компресора синтез-газу на агрегаті синтезу амоніаку. Поглиблення вакууму дозволяє знизити витрату природного газу котлами за рахунок зменшення споживання пари турбіною компресора. Зазначено актуальність проблеми економії природного газу у виробництві амоніаку. На підставі експериментальних досліджень виявлено вплив додаткового ежектора на технологічні параметри систем утворення та розподілу пари. Представлено основні переваги його використання.*

**Ключові слова:** амоніак, компресор синтез-газу, система пароутворення та паророзподілу, система вакуумної конденсації, ежектор.

**Постановка проблеми.** Амоніак та його сполуки широко використовуються в усіх областях діяльності людини і, в першу чергу, у виробництві мінеральних добрив та синтезу таких важливих полімерних матеріалів, як поліаміди, поліуретани та ін. [1].

В Україні амоніак виробляється в основному на п'яти хімічних комбінатах великої одиночної потужності. Більшість із них побудовані у 80-х роках минулого сторіччя [2], і без оптимізації технології та модернізації наявних виробництв, у зв'язку з підвищенням цін на сировину, собівартість амоніаку значно зросте.

Основною сировиною у виробництві амоніаку є природний газ, який використовується як у процесі конверсії метану, так і для забезпечення агрегату парою. Пара потрібна для реакції конверсії і роботи турбін основних компресорів. Через високу вартість та великі витрати природного газу питання вдосконалення виробництва для зниження його споживання є актуальним.

На установці синтезу амоніаку парові турбіни компресорів та деяких насосів обладнано системами вакуумної конденсації відпрацьованої пари [3]. Такі турбіни перетворюють максимально можливу частину теплоти пари в механічну роботу. Модернізація систем конденсації для поглиблення показнику вакууму та підвищення КПД турбін дозволяє економити природний газ, що витрачається котлами на виробництво пари.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковцями запропоновано [4] модернізацію сис-

теми вакуумної конденсації, яка полягає в монтажі турбіни м'ятої пари, яка паралельно з'єднана на вході з лінією відпрацьованої пари турбіни компресора до повітряного та водного конденсаторів. Турбіна м'ятої пари обладнана електрогенератором для можливості виробітку електроенергії під час роботи повітряного конденсатора. Під час нормальної роботи конденсатор повітряного охолодження знаходиться в резерві та може бути використаний у випадку несправності в роботі турбіни м'ятої пари або двоступеневого теплообмінника.

У патенті [5] розроблено установку подання відпрацьованого конденсату із системи вакуумної витяжки в деаератор на установці синтезу амоніаку Одеського припортового заводу за рахунок використання очистки парового конденсату через відповідний фільтр.

На Северодонецькому об'єднанні «АЗОТ» установка синтезу амоніаку додатково обладнана двопорожнинним парогенератором [6], один із входів якого з'єднаний із трубопроводом виходу відпрацьованої пари з турбіни компресора технологічного повітря, а один із виходів його з'єднаний із входом подачі конденсату в повітряний конденсатор для його переохолодження.

**Постановка завдання.** На рис. 1 представлена схема паророзподілу агрегату синтезу амоніаку, в якій головним споживачем пари високого тиску (10,15 МПа) є турбіна компресора синтез-газу 1, велика частина якої виробляється так званим

допоміжним котлом 2, який вмонтовано в конвекційну зону реактора первинного риформінгу.

У процесі утворення пари деаерована вода з парозбірника 3 по опускних трубах надходить до котлів-утилізаторів та допоміжного котла 2, де за рахунок утилізації тепла конвертованого газу і спалювання паливного газу в топці допоміжного котла 2 відбувається випаровування води при тиску 10,15 МПа.

Пароводяна емульсія повертається до парозбірника (за рахунок природної циркуляції) по підйомних трубах. Для відділення води від насиченої пари парозбірник обладнано циклонними сепараторами і відбійними пристроями.

Насичена пара з тиском 10,15 МПа і температурою 583 К надходить у пароперегрівач 4, який вмонтовано в конвекційну зону печі первинного риформінгу. За рахунок утилізації тепла димових газів печі і допоміжного котла, які вилучаються димососами через конвекційну зону печі, а також тепла, що виділяється за рахунок додаткового спалювання паливного газу в пальниках пароперегрівача, пара перегрівається до 755 К і потрапляє в колектор пари високого тиску, звідки витрачається на роботу турбіни компресора синтез-газу та інші технологічні потреби.

Після проходження другого ступеня турбіни проводиться відбір частково відпрацьованої пари під тиском 3,8–4,3 МПа в колектор пари серед-

нього тиску за допомогою автоматичних регуляторів та клапанів відбору. Постійний тиск пари підтримується за допомогою регулятора і клапанів відбору. Пара середнього тиску витрачається на реакцію конверсії і на роботу решти компресорів.

Після четвертого ступеня компресора синтез-газу та інших компресорів 5 відпрацьована пара направляєється до систем вакуумних витяжок. Кожний компресор обладнано своєю системою вакуумної конденсації відпрацьованої пари, вакуумні лінії яких з'єднані між собою. У даній роботі розглянута система конденсації (рис. 2) компресора синтез-газу, оскільки цей компресор найбільш енергоємний і працює на парі високого тиску.

Система вакуумної витяжки, крім основного призначення, забезпечує також отримання парового конденсату, який використовується для охолоджуючих «сорочок» реактора вторинного риформінгу і котлів-утилізаторів 1-го ступеня.

До нижньої частини вихлопного паропроводу турбіни 1 приєднано конденсатозбірник 2, конденсат із якого під час роботи системи вилучається водоструминним ежектором 3 до збірника конденсату 4.

Далі неконденсована пара потрапляє у турбінні пучки секцій первинного повітряного теплообмінника (конденсатора) 5, трубки якого омиваються

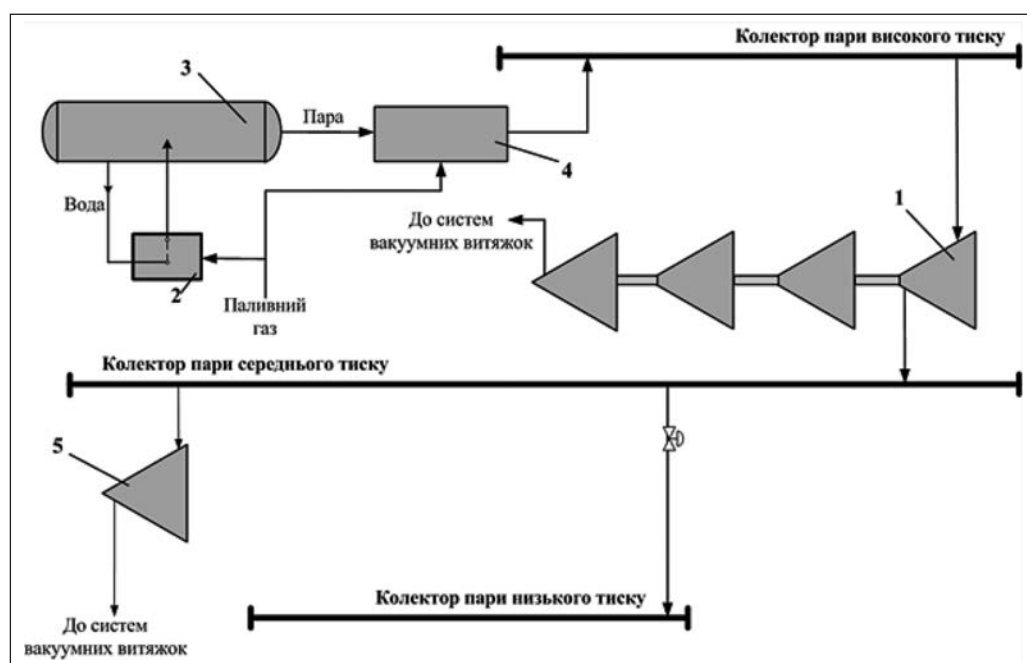


Рис. 1. Схема паророзподілу агрегату синтезу амоніаку  
1 – перша ступінь турбіни компресора синтез-газу; 2 – допоміжний котел;  
3 – парозбірник; 4 – пароперегрівач; 5 – інші компресори

потоками повітря, яке нагнітається вентиляторами. Піднімаючись по трубкам, пара конденсується та стікає у вихлопний колектор, звідки потрапляє до конденсатозбірника. У первинному повітряному теплообміннику конденсується близько 95% загальної кількості відпрацьованої пари. Решта неконденсованої пари, інерти та повітря проходять трубні пучки вторинного повітряного теплообмінника (дефлегматора), звідки конденсат стікає у збірник конденсату.

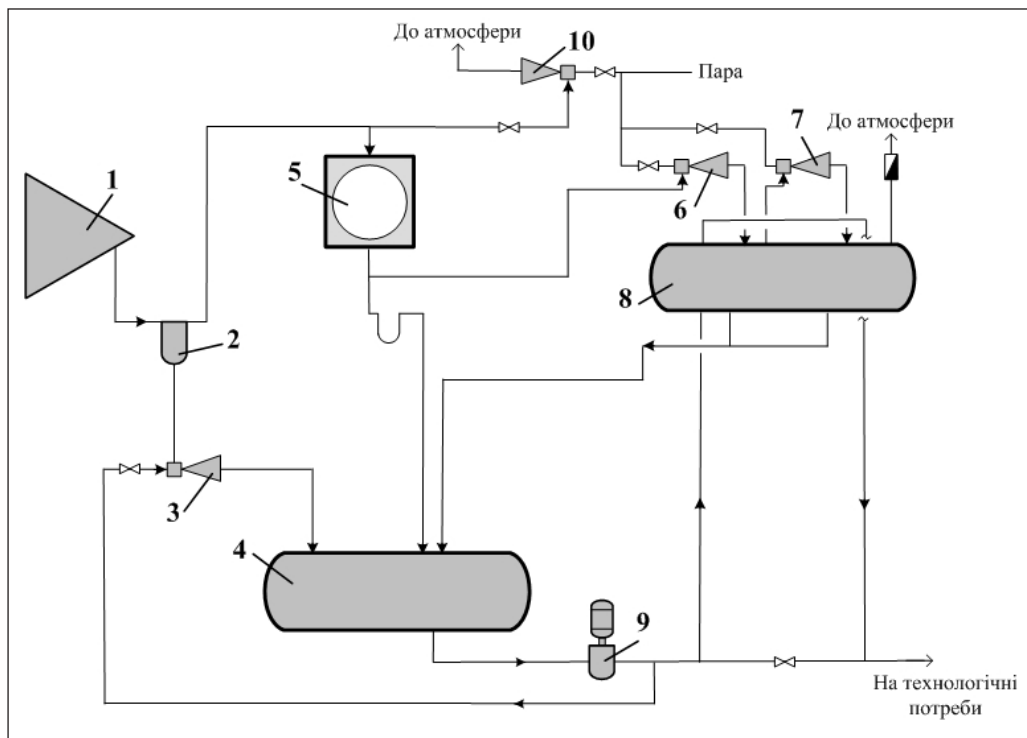
Залишкова пара відкачується ежекторами 6 і 7 до двоступеневого теплообмінника 8, в якому конденсуються залишки відпрацьованої пари в суміші з повітрям, інертами та парою від ежекторів за рахунок охолодження конденсатом, який подається з конденсатозбірника насосом 9 у трубний простір теплообмінника. Залишкова пара, інерти та повітря з міжтрубного простору теплообмінника викидаються в атмосферу на «свічу», а конденсат відводиться до збірника конденсату.

Вакуум у системі утворюється за рахунок значного зменшення об'єму відпрацьованої пари під час її конденсації. Підтримка вакууму в заданих межах у процесі роботи системи здійснюється групою із двох ежекторів. Ежектор першого ступеня 6 відкачує пару в першу секцію теплообмінника, а ежектор другого ступеня 7 відкачує пару з першої секції до другої секції теплообмінника.

До сопла ежекторів подається пара з колектора низького тиску (0,35 МПа). Далі з вихідного вузького перетину сопла пара надходить із великою швидкістю в так звану камеру змішування, при цьому тиск знижується. Пара з колектора низького тиску проходить по вузькому перетину та створює розрідження в камері змішування, яке забезпечує надходження відпрацьованої пари до двоступеневого теплообмінника.

У роботі запропоновано використання додаткового ежектора 10 для поглиблення вакууму в конденсаційній установці, що дозволяє знизити витрату пари високого тиску на турбіну для економії природного газу. Вакуумна лінія додаткового ежектора пов'язана з паропроводом відпрацьованої пари після компресора синтез-газу. Лінія викиду пари з ежектора виведена до атмосфери.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження проведено на підприємстві «ДНІАПРОАЗОТ» у м. Кам'янському, в цеху синтезу амоніаку № 1Б на установці потужністю 1500 т рідкого амоніаку на добу.



**Рис. 2. Схема вакуумної витяжки компресора синтез-газу**  
 1 – турбіна компресора синтез-газу; 2 – конденсатозбірник; 3 – водоструминний інжектор; 4 – збірник конденсату; 5 – повітряний конденсатор; 6,7 – ежектори; 8 – двоступеневий теплообмінник; 9 – насос конденсату; 10 – додатковий ежектор

Експеримент із включення в роботу додаткового ежектора проведено при навантаженні на первинний риформінг 40000 м<sup>3</sup>/год. на 3,9 МПа та при температурі зовнішнього середовища –2°C. При даній температурі оптимальний регламентований показник вакууму становить – 3630 Па...– 4120 Па. Більші показники вакууму можуть спричинити заморожування конденсату в трубах повітряного конденсатора або інших місцях вакуумної витяжки, що може призвести до тріщини та під час розморожування викликає підсмоктування повітря із зовнішнього середовища та зниження показників вакууму.

У ході експерименту встановлено вплив допоміжного ежектора на параметри системи утворення та розподілу пари (табл. 1).

Після подачі пари з колектора низького тиску на додатковий ежектор відбуваються такі процеси:

1) падіння тиску у колекторі пари низького тиску з 0,367 МПа до 0,348 МПа;

2) поглиблення вакууму в системі з –3700 Па до –4060 Па;

3) зменшення витрати пари високого тиску на турбіну компресора синтез-газу з 359,1 до 355,3 т/год.

Менша витрата пари високого тиску, у свою чергу, призвела до:

1) зростання тиску пари в парозбірнику з 10,15 МПа до 10,19 МПа;

2) зростання температури перегрітої пари з 755°C до 758°C.

Порівняння економічності системи пароутворення наведено в табл. 2.

У результаті зміни показників тиску та температури пари виконано такі дії з використанням системи автоматичного регулювання:

– для компенсації витрати пари низького тиску збільшено ступінь відкриття клапана, що з'єднує колектори пари середнього та низького тиску, і показник тиску пари повернувся до встановленого завдання 0,367 МПа;

– зменшено ступінь відкриття клапана видачі паливного газу на пальники допоміжного котла, в результаті чого знижено витрату газу з 4450 м<sup>3</sup>/год. до 4240 м<sup>3</sup>/год., і тиск пари в парозбірнику повернувся на встановлене завдання 10,15 МПа;

– прикрито клапан видачі паливного газу на пальники пароперегрівача, в результаті чого знижено витрату газу з 2970 м<sup>3</sup>/год. до 2885 м<sup>3</sup>/год., і температура перегрітої пари знизилась до встановленого показнику 755 К.

Експериментальні дані показують, що в результаті включення в роботу додаткового ежектора та поглиблення вакууму витрата паливного газу допоміжним котлом знизилась на 210 м<sup>3</sup>/год., та на 85 м<sup>3</sup>/год. – пароперегрівачем, що за місяць складе 212400 м<sup>3</sup>. При загальному споживанні газу 70000 м<sup>3</sup>/год. і виході рідкого амоніаку 62,5 т/год. витратний коефіцієнт складає 1120 м<sup>3</sup> газу на виробництво однієї тонни готового продукту. Отже, економія газу за температури повітря –2°C за умов даного навантаження на первинний риформінг еквівалентна – 189,6 т рідкого амоніаку на місяць.

У разі поглиблення вакууму більше допустимих регламентом показників можна знизити швидкість вентиляторів повітряного конденса-

Таблиця 1

## Вплив допоміжного ежектора на параметри системи утворення та розподілу пари

	Вакуум, Па	Тиск, МПа		Витрата пари високого тиску, т/год.	Температура перегрітої пари, К
		пари в котлі	пари низького тиску		
Без ежектора	–3700	10,15	0,367	359,1	755
З ежектором	–4060	10,19	0,348	355,3	758

Таблиця 2

## Порівняння економічності системи пароутворення

	Тиск, МПа		Температура перегрітої пари, К	Витрата, м <sup>3</sup> /год.	
	пари в котлі	пари низького тиску		газу на котел	газу на пароперегрівач
До включення ежектора	10,15	0,367	755	4450	2970
Після стабілізації режиму	10,15	0,367	755	4240	2885

тора або вимкнути їх, що дозволить також економити електроенергію.

У випадку недостатньої кількості парового конденсату в «сорочках» реактора вторинного риформінгу та котлів-утилізаторів можна збільшити витрату конденсату з відпарної колони або відкрити подачу охолоджуючої води до «сорочок».

**Висновки.** Експериментально встановлено, що за температури повітря  $-2^{\circ}\text{C}$  та у випадку наван-

таження на первинний риформінг  $40000\text{ м}^3/\text{год.}$  на  $3,9\text{ МПа}$  використання додаткового ежектора в системі вакуумної конденсації відпрацьованої пари компресора синтез-газу економить  $210\text{ м}^3/\text{год.}$  паливного газу допоміжним котлом та  $85\text{ м}^3/\text{год.}$  – пароперегрівачем. Також поглиблення вакууму дозволяє за необхідності економити електроенергію за рахунок зниження навантаження на вентилятори повітряного конденсатора.

#### Список літератури:

1. Кузнецов Л.Д. Синтез аммиака. Москва : «Химия», 1982. 296 с.
2. Янковский Н.А. Аммиак. Вопросы технологии. Донецк : «Новая печать», 2001. 122 с.
3. Инструкция по рабочему месту аппаратчика конверсии 6 разряда / ЧАО «ДНЕПРАЗОТ». Каменское, 2017. 173 с.
4. Установка для утилизации отработанного пара турбин производства амиака: пат. 23840А Україна. № 97062700; заявл. 09.06.1997; опубл. 16.06.1998. Бюл. № 4. 3 с.
5. Установка подання конденсату турбин производства амиака у деаератори : пат. 24922А Україна. № 97063331 ; заявл. 27.06.1997 ; опубл. 06.10.1998. Бюл. № 6. 2 с.
6. Установка для производства амиака : пат. 65356А Україна. № 2003076698 ; заявл. 16.07.2003; опубл. 15.03.2004. Бюл. № 3. 4 с.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЖЕКТОРА В СИСТЕМЕ ВАКУУМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ КОМПРЕССОРА СИНТЕЗ-ГАЗА В ЦЕХЕ СИНТЕЗА АММИАКА

*Работа посвящена исследованию использования дополнительного эжектора для углубления показателя вакуума в системе конденсации отработанного пара компрессора синтез-газа на агрегате синтеза аммиака. Углубление вакуума позволяет снизить расход природного газа на котлы за счет уменьшения потребления пара турбиной компрессора. Указана актуальность проблемы экономии природного газа в производстве аммиака. На основании экспериментальных исследований определено влияние дополнительного эжектора на технологические параметры систем образования и распределения пара. Представлены основные преимущества его использования.*

**Ключевые слова:** аммиак, компрессор синтез-газа, система парообразования и парораспределения, система вакуумной конденсации, эжектор.

#### THE USING OF THE SUPPORTING EJECTOR IN THE VACUUM CONDENSATION SYSTEM OF SYNTHESIS-GAS COMPRESSOR IN THE AMMONIA SYNTHESIS

*The article is devoted to research of the using of an supporting ejector to make deeper vacuum value in the condensation system of synthesis-gas compressor in the ammonia synthesis. Deepening the vacuum reduces the consumption of natural gas to the boilers by reducing the steam consumption of the compressor turbine. The urgency of the problem of saving natural gas in ammonia production is noted. Based on experimental studies the influence of the supporting ejector on technological parameters of the steam formation and distribution systems is determined. The main advantages of its use are presented.*

**Key words:** ammonia, synthesis-gas compressor, steam formation and distribution systems, vacuum condensation system, ejector.