
ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ

УДК 681.51:621.575:661.53

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВТОРИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ АМІАЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Канд. техн. наук Ю.А. Бабіченко

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВТОРИЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ АММИАЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Канд. техн. наук Ю.А. Бабіченко

INCREASE OF EFFICIENCY OF THE SECONDARY CONDENSATION PROCESS OF AMMONIAC PRODUCTION

Candidate tehn. Sciences Yu.A. Babichenko

Здійснено синтез енергозберігаючої схеми процесу вторинної конденсації у виробництві синтетичного аміаку, що дає змогу за рахунок вилучення аміачного турбокомпресора й утилізації низькопотенціальної теплоти знизити питому витрату електроенергії майже на 30 %.

Ключові слова: вторинна конденсація, абсорбційна холодильна установка, енергозберігаюча система охолодження, виробництво аміаку.

Осуществлен синтез энергосберегающей схемы процесса вторичной конденсации в производстве синтетического аммиака, позволяющей за счет исключения аммиачного турбокомпрессора и утилизации низкопотенциальной теплоты снизить удельный расход электроэнергии почти на 30 %.

Ключевые слова: вторичная конденсация, абсорбционная холодильная установка, энергосберегающая система охлаждения, производство аммиака.

The synthesis of the energy saving scheme of the secondary condensation process in synthetic ammonia production is carried out, that made it possible to decrease specific power consumption by the exclusion of the ammonia turbo compressor refrigerator from the scheme and low potential heat utilization. The main technical and economic indicators of the developed scheme are defined.

Keywords: secondary condensation, absorbing refrigeration unit, energy saving cooling system, production of ammonia.

Вступ. Одними з базових для азотної промисловості України є великотоннажні агрегати синтезу продуктивністю 1360 т/доб (серія АМ-1360) з двоступеневою системою конденсації аміаку, що побудовані за традиційно прийнятою майже в усіх сучасних аміачних виробництвах індустріально розвинених країн схемою [1]. Однак за споживанням електроенергії і природного газу вітчизняні агрегати поступаються їм у 3 і 1,25 рази відповідно. Таке перевищення значною мірою пов'язано з надмірною

енергоємністю блоків вторинної конденсації (понад 40 % від загального споживання електроенергії) та компресії газової суміші (біля 3 % від споживання природного газу). У блоці вторинної конденсації це зумовлено застосуванням аміачного турбокомпресорного холодильного агрегату (АТК) із споживанням електроенергії понад 24 тис. МВт·год/р., а у блоці компресії – використанням природного газу у допоміжному паровому котлі у кількості біля 16 млн м³/р. Крім того, в агрегаті синтезу безповоротно втрачається низькопотенціальна

теплота спрацьованої водяної пари кількістю 240 тис. Гкал/р. з витратою електроенергії на її конденсацію до 7 тис. МВт·год/р.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Протягом останніх років актуальною для вітчизняних аміачних виробництв залишається тенденція підвищення енергоефективності й особливо це стосується базових агрегатів синтезу серії АМ-1360, у яких одними з найбільш енергоємних за споживанням електроенергії і природного газу є відповідно блоки вторинної конденсації і компресії відділення синтезу [2].

Основний недолік існуючого апаратурно-технологічного оформлення відділення синтезу полягає у застосуванні у блоці первинної конденсації (ПК) для охолодження циркуляційного газу апаратів повітряного охолодження, за якого із збільшенням температури атмосферного повітря відбувається: підвищення температури первинної конденсації і концентрації аміаку у циркуляційному газі, що призводить до збільшення теплового навантаження на блок компресії (БК) з паровою турбіною (ПТ), а отже, і витрат природного газу на спалювання і знесоленої води у допоміжний паровий котел (ДК); збільшення теплового навантаження на блок вторинної конденсації (ВК), що вимагає збільшення холодопродуктивності АТК для стабілізації температури вторинної конденсації на регламентному рівні 0°C, а отже, і витрат електроенергії на привод АТК; збільшення тиску в абсорбері і випарнику (ВП) в абсорбційній холодильній установці (АХУ), що унеможливує стабілізацію температури вторинної конденсації на регламентному рівні, збільшення якої також знижує енергоефективність агрегату за рахунок підвищення енергозатрат на привод парової турбіни. Показано, що підвищення енергоефективності агрегату синтезу за рахунок виключення зі схеми роботи АТК, як найбільш енергоємного обладнання з точки зору споживання електроенергії, може бути здійснено як шляхом зниження теплового навантаження на блок вторинної конденсації, так і збільшенням холодопродуктивності АХУ.

Мета і завдання дослідження. Енергоефективність агрегату синтезу може бути підвищена шляхом модернізації апаратурно-технологічного оформлення, що передбачає: виключення АТК, застосування

пароелектричної холодильної установки, яка забезпечує можливість утилізації низькопотенціальної теплоти спрацьованої водяної пари та зниження витрати природного газу у допоміжний котел. Таким чином метою є здійснення синтезу енергозберігаючого апаратурно-технологічного оформлення АХУ і конденсаційних систем відділення синтезу в цілому та обґрунтування техніко-економічної ефективності його застосування.

Результати досліджень. Попередніми дослідженнями встановлено, що з виключенням АТК зі схеми блока вторинної конденсації для забезпечення температури охолодження циркуляційного газу на рівні не більше 0 °C загальна холодопродуктивність двох АХУ повинна бути збільшена до 10,6 МВт. Таке підвищення холодопродуктивності реалізується за рахунок збільшення витрати і концентрації холодоагенту, що надходить до випарника, відповідно до 17,5 т/год і 0,998 кг/кг.

Результати математичного моделювання технологічної системи прямого циклу АХУ дали змогу встановити, що концентрація і витрата холодоагенту до випарника можуть бути збільшені відповідно до 0,9956 кг/кг і 13 т/год за рахунок зменшення тиску у генераторі-ректифікаторі з 1,58 до 1,4 МПа та збільшенні тиску в абсорбері з 0,29 до 0,375 МПа [3-5].

Запропоновано встановлений вище розподіл тисків і концентрацій забезпечити шляхом включення у термодинамічний цикл АХУ струменевих апаратів, що входять до складу пароелектричної холодильної системи (ПХС) (рис. 1). Досягнення потрібного ступеня стиску забезпечується робочою аміачною парою тиском не менше 3 МПа, отримання якої здійснюється у парогенераторі Пг за рахунок утилізації низькопотенціального тепла відпрацьованої водяної пари турбіни компресора технологічного повітря відділення пароутворення. Ця енергія в агрегатах синтезу на сьогодні безповоротно втрачається.

З метою забезпечення витрати робочої пари і додаткової витрати холодоагенту до кожного випарника у кількості 4,5 т/год (збільшення з 13 до 17,5 т/год) проведені розрахунки матеріального й теплового балансів ПХС з установленням значень коефіцієнтів інжекції струменевих апаратів для визначених ступенів стиску ϵ , величина якого, як відомо, характеризується залежністю

$$\varepsilon = P_C / P_H = f(u, \sqrt{\Theta}, P_P), \quad (1)$$

де P_C , P_H , P_P – відповідно тиск стиску, інжектованого і робочого потоків;

$\Theta = T_H / T_P$ – відповідно відношення температур інжектованого і робочого потоків;
 u – коефіцієнт інжекції, що визначає відношення масової витрати інжектованого потоку до масової витрати робочого потоку [6].

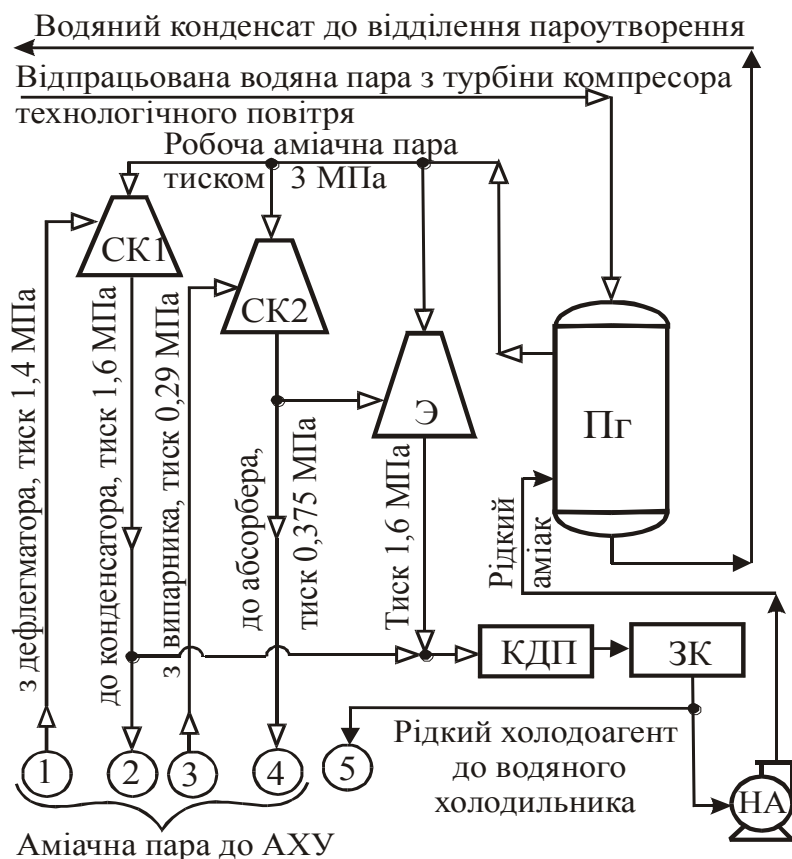


Рис. 1. Пароежекторна холодильна система (ПХС) стабілізації тисків циклу АХУ та забезпечення випарників додатковим холодоагентом:

1÷4 – аміачна пара відповідно з дефлегматора до конденсатора, з переохолоджувача (випарника) і до абсорбера АХУ; 5 – рідкий холодоагент до водяного холодильника ВХ, Пг – парогенератор; На – аміачний насос

У зв'язку з необхідністю створення різного ступеня стиску ε у схемі застосовані струменеві компресори СК1, СК2 ($\varepsilon < 2,5$) і ежектори Э ($\varepsilon > 2,5$), для яких були розраховані коефіцієнти інжекції: $u_{СК1}=1,67$, $u_{СК2} = 2,467$ і $u_{Э}=0,233$. При цьому сумарна витрата робочої пари складає 125,18 т/год, концентрація водоаміачної пари після СК1 підвищується до 0,9976 кг/кг, а після ежектора і повітряного

конденсатора (КДП) концентрація потоку рідкого холодоагенту збільшується до 0,9997 кг/кг. Після збірника конденсату (ЗК) частина холодоагенту у кількості 4,5 т/год прямує до випарника, де за рахунок змішування з холодоагентом з циклу АХУ концентрація холодоагенту до випарника підвищується до 0,998 кг/кг. За результатами проведених досліджень і розрахунків здійснено синтез

технологічної системи охолодження блока вторинної конденсації, узагальнена схема якої подана на рис. 2.

Згідно зі схемою (рис. 2), охолоджуюча вода частково у кількості 30 т/год попередньо проходить водяний холодильник ВХ, де відбувається переохолодження рідкого холодоагенту до температури не більше 35°C. Після ВХ вода змішується з основним потоком і у кількості 420 т/год надходить до кожної АХУ, який далі розподіляється. Потік у кількості 370 т/год надходить до абсорбера, а інший потік у кількості 50 т/год прямує для охолодження дефлегматора та додаткового конденсатора. Додатковий рідкий холодоагент у кількості 4,5 т/год об'єднується з основним

потоком холодоагенту з АХУ перед дросель-вентилем ДВ і з витратою 17,5 т/год прямує до кожного випарника. Відпрацьована водяна пара з турбін тиском 0,04 МПа і температурою до 90°C надходить до парогенератора ПХС, де за рахунок теплообміну з рідким аміаком відбувається його конденсація. Водяний конденсат прямує до відділення пароутворення, а отримана в парогенераторі (Пг) робоча аміачна пара тиском 3 МПа і температурою 69°C – до струменевих апаратів [7].

Основні техніко-економічні показники ефективності для існуючої і новоствореної технологічної системи охолодження зведені до таблиці.

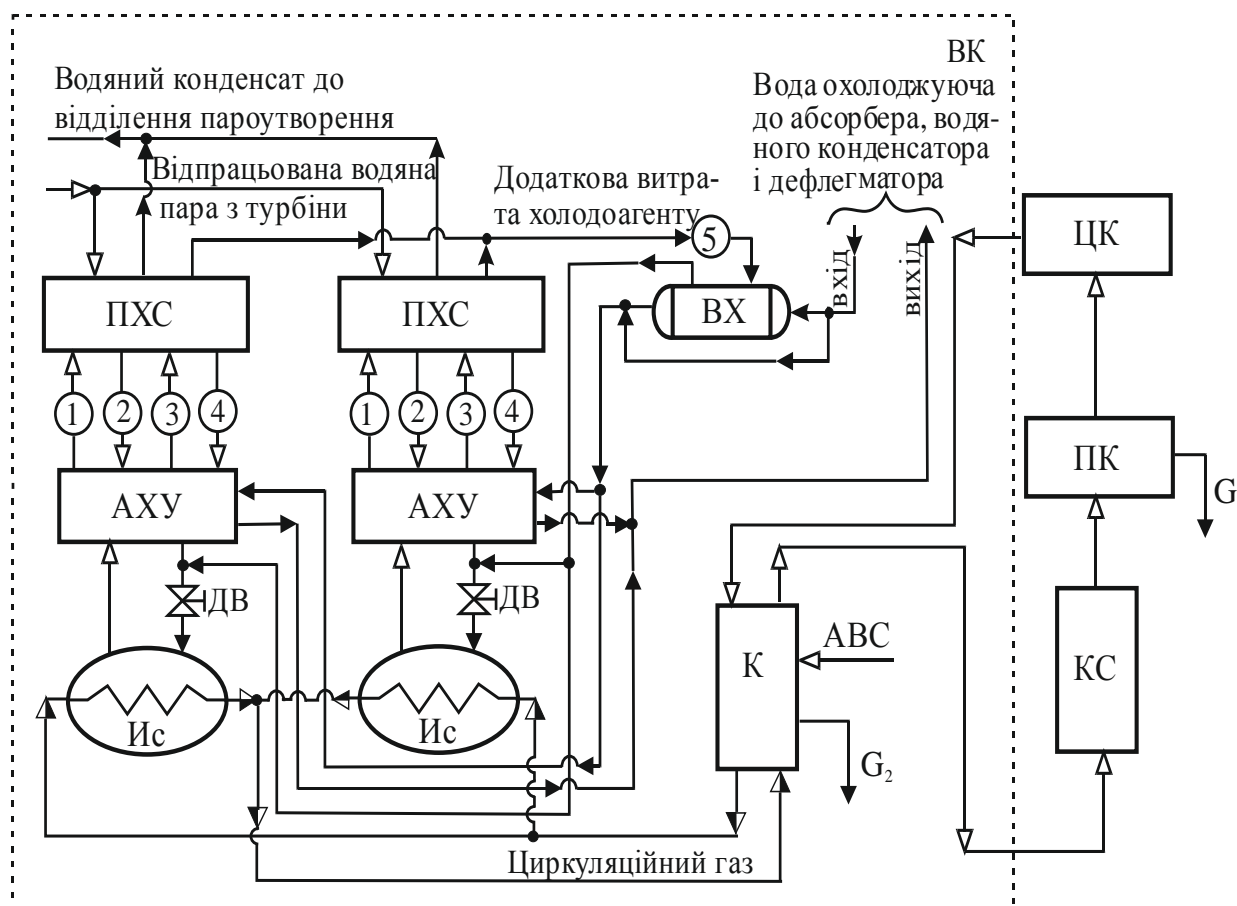


Рис. 2. Енергозберігаюча система процесу охолодження циркуляційного газу в блоці вторинної конденсації: ПК, ВК – блок первинної і вторинної конденсації; К – конденсаційна колона; ЦК – циркуляційний компресор; Ис – випарник; КС – колона синтезу аміаку; АХУ – абсорбційно-охолоджувальна установка; АТК – турбокомпресорна охолоджувальна установка; АВС – азотоводнева суміш; G_1, G_2 – продукційний аміак

Теплові двигуни

Таблиця

Основні техніко-економічні показники ефективності роботи існуючої та розробленої систем охолодження блока вторинної конденсації

Показник	Варіант системи охолодження	
	існуючий	розроблений
Холодопродуктивність Φ , МВт:		
загальна	10,58	10,74
АТК	4,02	—
двох АХУ	6,56	8,12
ПХС	—	2,62
Споживання електроенергії, кВт·год:		
загальне	6492	3214
АТК	4800	—
АХУ	1692	1054
ПХС	—	2160
Кратність циркуляції розчинів f	7,6	6,34
Тиск, МПа:		
у генераторі-ректифікаторі	1,58	1,4
у конденсаторі	1,58	1,6
в абсорбері	0,29	0,375
у випарнику	0,29	0,29
Зона дегазації розчинів $(\xi_r - \xi_a)$, кг/кг	0,092	0,1088
Концентрація рідкого холодоагенту до випарника, кг/кг	0,994	0,998
Температура, °С:		
кипіння слабкого розчину в генераторі-ректифікаторі	122	115
охолодження циркуляційного газу у випарнику	0	-0,5
Витрата охолоджуючої оборотної води, т/год	960	840

Як випливає з таблиці, застосування ПХС забезпечило отримання додаткового рідкого холодоагенту у кількості 9 т/год (4,5 т/год на кожен АХУ) і стабілізацію тисків у циклі АХУ, що дало змогу зменшити кратність циркуляції до 6,34, збільшити концентрацію рідкого холодоагенту до випарника до 0,998 кг/кг, а також підвищити холодопродуктивність у випарниках кожної АХУ до 5,37 МВт в умовах максимального теплового навантаження на випарники блока вторинної конденсації. За таких обставин виключення АТК зі схеми агрегату синтезу аміаку дає змогу знизити споживання електроенергії понад 3000 кВт·год.

Висновки. Запропоновано підвищення загальної холодопродуктивності АХУ і системи

охолодження в цілому здійснити за допомогою пароежекторної системи ПХС, робота струменевих апаратів якої забезпечує встановлений розподіл тисків в АХУ. Показана можливість вироблення робочої аміачної пари для струменевих апаратів у парогенераторі ПХС за рахунок утилізації низькопотенціальної теплоти відпрацьованої пари турбіни компресора технологічного повітря, яке безповоротно втрачалося в агрегаті синтезу у конденсаторах повітряного охолодження. Виконано матеріальний і тепловий розрахунок циклу ПХС з визначенням коефіцієнтів інжекції пароструменевих апаратів.

Список використаних джерел

1. Виробництво аміаку: еволюція, стан, перспективи [Текст] / М.А. Глікін, О.П. Мітронов, Г.В. Черепнова [та ін.] // Хімічна промисловість України. – 1998. – № 2. – С. 52-57.

2. Постоянный технологический регламент производства аммиака цеха 1–Б. № 114 [Текст]. – Северодонецк: ПО «Азот», 1985. – 722 с.

3. Тошинський, В.І. Алгоритм інформаційно-програмного забезпечення ефективності експлуатації абсорбційно-холодильних установок агрегатів синтезу аміаку [Текст] / В.І. Тошинський, Ю.А. Бабіченко // Хімічна промисловість України. – 2003. – № 6. – С. 38-45.

4. Тошинский, В.И. Математическое моделирование абсорбера водоаммиачной теплоиспользующей холодильной установки агрегата синтеза аммиака [Текст] / В.И. Тошинский, Ю.А. Бабиченко // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2004. – № 1. – С. 44-49.

5. Бабіченко, Ю.А. Математичне моделювання випаровувачів тепловикористовуючих холодильних систем агрегатів синтезу аміаку [Текст] // Вестник Национального технического университета. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2002. – № 6, т.2. – С. 103-108.

6. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты [Текст] / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 350 с.

7. Установка для виробництва аміаку [Текст]. Пат. 65356А Україна: МПК7 F25B15/04, F25B49/00, C01C1/04 / Бабіченко Ю.А., Тошинський В.І. – № 2003076698; заявл. 16.07.2003; опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3.

Рецензент д-р техн. наук, професор А.П.Фалендиш

Бабіченко Юлія Анатоліївна, канд. техн. наук, доцент кафедри теплотехніки та теплових двигунів Української державної академії залізничного транспорту. Тел. (057) 730-10-77.

Babichenko Yulia Anatolyevna, candidate of technical sciences, associate professor of heating engineers and heat engines of the Ukrainian state academy of railway transport. Тел. (057) 730-10-77.