

УДК 661.53: 66. 042. 2

А.К. БАБІЧЕНКО, к.т.н., доцент, професор, **В.І. ТОШИНСЬКИЙ**, д.т.н., професор, завідувач кафедри Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ»), м. Харків

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АГРЕГАТІВ СИНТЕЗУ АМІАКУ ШЛЯХОМ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Розглянуто особливості роботи агрегату синтезу аміаку в умовах зміни витрати продувних газів та отримано кількісні залежності їх впливу на енергоефективність агрегату. Кількісно визначено оптимальну витрату цих газів, а отже, і вміст інертів у газовій суміші на вході колони синтезу, що забезпечують мінімальне споживання природного газу у виробництві аміаку.

синтез аміаку, енергоефективність, ресурсозбереження, оптимізація, продувні газу

В усіх промислових агрегатах синтезу за неможливості повного перетворення свіжої азотно-водневої суміші (АВС) в аміак у колоні синтезу прийнята циркуляційна схема з двоступеневою конденсаційною системою вилучення аміаку, а за наявності у цій суміші небажаних інертних газів (аргон, метан) здійснюється продувка перед блоком компримування циркуляційного газу. За традиційно прийнятою технологією, незмінна частина цих продувних газів прямує до криогенної холодильної установки паралельно працюючого агрегату для отримання аргону, а інша (більша) – на спалювання у піч первинного риформінгу, що забезпечує економію паливного природного газу. Як свідчить аналіз літератури [1, 2], збільшення витрати продувних газів обумовлює зменшення вмісту інертів у газовій суміші на вході колони синтезу, збільшення витрати свіжої АВС з метою підтримки постійної продуктивності та підвищення енергозатрат на її компресію. Однак енергозатрати на блоки компримування циркуляційного газу первинної і вторинної конденсації зменшуються. За рахунок необхідності збільшення свіжої АВС підвищується і витрата природного газу на агрегат в цілому, а також на спалювання збільшеної кількості продувних газів.

Аналіз умов експлуатації доводить, що вміст інертів у циклі синтезу аміаку коливається у доволі широкому діапазоні 12,5–15 % об. Тому визначення кількісних залежностей впливу витрати продувних газів на енергоефективність агрегатів синтезу та її оптимальної величини, а отже, і вмісту інертів у циклі синтезу, становить актуальну проблему і набуває особливого значення в умовах суттєвого подорожчання енергоносіїв.

Дослідження проводились методом математичного моделювання із застосуванням функціональних залежностей, які отримані за результатами пасивного реєстраційного експерименту в умовах промислової експлуата-

ції агрегату синтезу аміаку серії АМ-1360 [3]. Розв'язання системи рівнянь математичного опису відділення синтезу аміаку дозволило отримати залежності (рис. 1) параметрів його роботи від витрати продувних газів, а отже, і вмісту інертів.

Розрахунки здійснювались за характерних для існуючих промислових умов обмежень:

- середня температура синтезу $t_c = 465$ °С;
- співвідношення водню до азоту у газі на вході колони синтезу $C = 3$;
- вміст інертів у свіжій АВС $I_A = 0,7$ % об.;
- температура первинної конденсації $t_{ПК} = 30$ °С;
- температура вторинної конденсації $t_{БК} = 0$ °С;
- перепад тиску на колоні синтезу $\Delta P_C = 0,85$ МПа;
- перепад тиску на циркуляційній ступені компресору $\Delta P_{ЦК} = 1,5$ МПа;
- продуктивність колони синтезу $G_C = 20,041$ $\text{нм}^3/\text{с}$;
- коефіцієнт корисної дії колони синтезу – 97 %.

Похибка розрахунків не перевищувала 0,4 %.

Отримані залежності свідчать, що, наприклад, з підвищенням витрати продувних газів $V_{П}$ з 1,6 $\text{м}^3/\text{с}$ до 2,0 $\text{м}^3/\text{с}$ концентрація інертів у газі на вході колони синтезу $I_C^{БК}$ зменшується з 15 % об. до 12 % об., що викликає необхідність збільшення витрати свіжої АВС V_A з 43,72 $\text{нм}^3/\text{с}$ до 44,11 $\text{нм}^3/\text{с}$ і витрати природного газу на вході агрегату $V_{ПГ}$ з 18,712 $\text{нм}^3/\text{с}$ до 18,83 $\text{нм}^3/\text{с}$.

Витрата газу на вході колони синтезу $V_C^{БК}$ знизиться з 207,9 $\text{нм}^3/\text{с}$ до 203,9 $\text{нм}^3/\text{с}$. За рахунок такого зниження зменшується як витрата циркуляційного газу на вході циркуляційного компресора, так і блоків первинної та вторинної конденсації. При цьому зменшується і тиск синтезу, зокрема на вході колони синтезу $P_C^{БК}$, на 0,2 МПа. Однак із зниженням вмісту інертів $I_C^{БК}$ на вході блоку первинної конденсації підвищується концентрація аміаку як на вході колони синтезу, так і на виході блоку

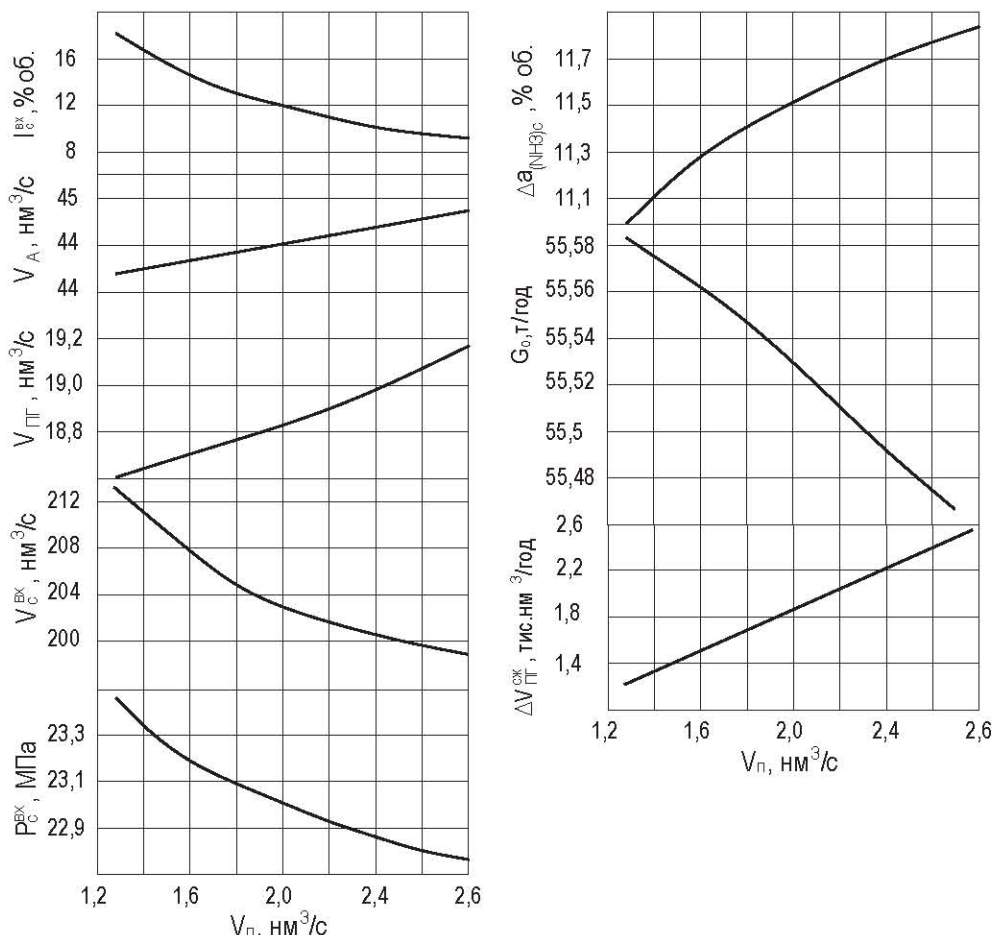


Рисунок 1 – Кількісні залежності впливу витрати продувних газів на основні показники роботи відділення синтезу аміаку

первинної конденсації. При цьому вміст аміаку на виході блоку вторинної конденсації внаслідок значного збільшення витрати свіжої АВС і незначного зниження тиску вторинної конденсації дещо зменшується, що обумовлює зростання різниці концентрацій на вході і виході колони синтезу $\Delta\alpha_{(NH_3)_C}$ з 11,09 % об. до 11,34 % об. Незважаючи на таке зростання, загальна продуктивність G_o відділення синтезу щодо аміаку, який вилучається з циклу, з урахуванням його кількості, отриманої в блоці виморожування з танкових і продувних газів, знижується на 0,033 т/год внаслідок збільшення витрати продувних газів $V_{пг}$, а отже і аміаку, що виводиться з ними. За таких умов та постійності витрати на рівні 2345 $\text{m}^3/\text{год}$ танкових і продувних газів, що надходять до криогенної холодильної системи вилучення аргону, збільшується і витрата цих газів на спалювання у піч первинного риформінгу. У перерахунку на природний газ це обумовить збільшення приросту природного газу $\Delta V_{пг}^{ож}$, на який може бути зменшена загальна його кількість, що надходить на агрегат.

Вищенаведені результати розрахунків навантажень (витрат) на відцентровий трикорпусний компресор з приводом від парової трубки стиску циркуляційного газу та

свіжої АВС, блоки первинної і вторинної конденсації дозволили встановити залежності енергетичних та вартісних експлуатаційних показників (рис. 2) відділення синтезу.

Аналіз цих залежностей свідчить про наявність оптимальної величини продувних газів на рівні 2 m^3/s , за якої мінімальна споживча потужність на валу турбіни $N_{вт}$ становить 22,73 МВт·год. За такої витрати продувних газів оптимальне значення концентрації інертів I_c^{BX} на вході колони синтезу знаходиться на рівні 12 % об. Це обумовлено, з одного боку, підвищенням споживчої потужності стиску свіжої АВС зі збільшенням витрати $V_{пг}$, а з іншого – зменшенням споживчої потужності стиску циркуляційного газу. При цьому зниження витрати циркуляційного газу на блоки первинної і вторинної конденсації з підвищенням витрати $V_{пг}$ призводить до зниження теплового навантаження на ці блоки. За таких обставин загальна споживча потужність N_o у відділенні синтезу у наведеному діапазоні зміни $V_{пг}$ має характер прямо пропорційної нелінійної залежності від витрати продувних газів. Однак з урахуванням існуючої вартості природного газу (1 тис. m^3 – 1780 грн) та глибоко знесоленої води (1 т –

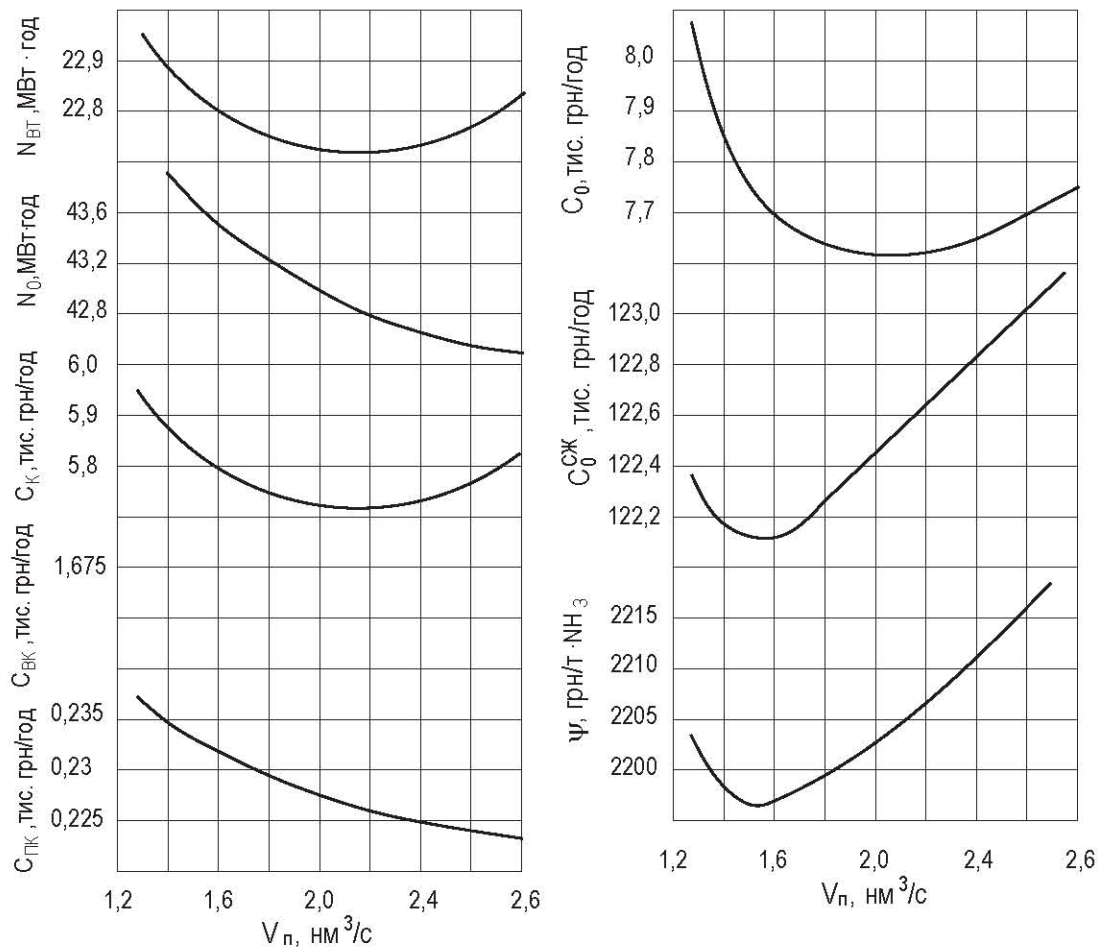


Рисунок 2 – Кількісні залежності енергетичних та економічних експлуатаційних показників відділення синтезу від витрати продувних газів

11,23 грн), що необхідна для виробництва пари у додатковому паровому котлі на турбіну компресора, електроенергії (1 тис. кВт·год – 490 грн), витратних коефіцієнтів турбіни щодо пари – 11,89 кг/кВт і додаткового парового котла щодо природного газу – 65,8 $\text{m}^3/\text{т}$ [4] загальні мінімальні затрати енергоресурсів $C_0^E = 7,625$ тис. грн/год будуть відповідати оптимальній величині $V_p = 2,1 \text{ m}^3/\text{с}$, а отже і вмісту інертів у газі на вході колони синтезу $I_C^{вх} = 11,8 \%$ об. Таке зміщення у бік збільшення V_p і зменшення $I_C^{вх}$ обумовлене, в основному, зниженням затрат електроенергії $C_{пк}$ на охолодження циркуляційного газу в апаратах повітряного охолодження блоку первинної конденсації за незмінної оптимальної величини $V_p = 2 \text{ m}^3/\text{с}$ для затрат енергоносіїв на привод відцентрового трикорпусного компресора C_k та постійністю затрат електроенергії холодильних систем (дві абсорбційно-холодильні і турбокомпресорні холодильні установки) блоку вторинної конденсації $C_{вк}$ на рівні 1,675 тис. грн/год. Останнє пояснюється особливістю експлуатації турбокомпресорної холодильної установки, недоліком якої є можливість зміни холодопродуктивності лише у діапазоні 100–50 %. З урахуванням загальної вартості природного газу на агрегат

синтезу мінімальна величина затрат енергоносіїв $C_0^{сж}$ складатиме 122,095 тис. грн/год; витратний коефіцієнт ψ для відділення синтезу буде на рівні 2196 грн/т NH_3 за оптимальної величини витрати $V_p = 1,55 \text{ m}^3/\text{с}$. Зниження оптимальної величини V_p з 2,1 $\text{m}^3/\text{с}$ до 1,55 $\text{m}^3/\text{с}$ обумовлене зменшенням витрати природного газу на агрегат та спалюванням у печі риформінгу танкових і продувних газів, кількість яких зростає з підвищенням продувки.

ВИСНОВКИ

За результатами проведених експериментально-аналітичних досліджень в промислових умовах встановлені кількісні залежності впливу витрати продувних газів, а отже і вмісту інертів у циклі синтезу на експлуатаційні показники роботи відділення синтезу аміаку агрегатів серії АМ-1360. Кількісно визначена наявність оптимальної величини витрати продувних газів на рівні 1,55 $\text{m}^3/\text{с}$, що відповідає концентрації інертів у газі на вході колони синтезу 15,5 % об., за якої забезпечується мінімальний витратний коефіцієнт на рівні 2196 грн/т NH_3 . При цьому збільшення концентрації інертів у газі на вході колони синтезу навіть



на 1 % об., наприклад з 13,5 % об. до 14,5 % об., обумовлює зниження енергозатрат на 153 грн/год в основному за рахунок зменшення витрати природного газу майже на 70 м³/год, що в перерахунку на річний пробіг агрегату склادатиме 560 тис. м³. Тому існуючі коливання вмісту інертів у газі на вході колони синтезу в діапазоні 12,5–15 % об. неприпустимі, особливо за такої великої тоннажності агрегату синтезу. Запропонований алгоритм визначення оптимальної величини концентрації інертів у циклі синтезу може бути адаптований в промислових умовах за допомогою мікропроцесорного керуючого комплексу TDC-3000, яким оснащені агрегати синтезу цієї серії.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. **Кузнецов, Л.Д.** Синтез аммиака / Л.Д. Кузнецов, А.М. Дмитренко, П.Д. Рабина и др.; под ред. Л.Д. Кузнецова. – М. : Химия, 1982. – 296 с.
2. **Товажнянский, Л.Л.** Технология зв'язного азоту : підручник / Л.Л. Товажнянский, О.Я. Лобойко, Г.І. Гринь та ін. ; за ред. О.Я. Лобойка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2007. – 536 с.
3. **Бабіченко, А.К.** Вплив температури первинної конденсації на ефективність експлуатації великотоннажних агрегатів синтезу аміаку / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 3/4 (33). – С. 23–27.
4. **Бабіченко, А.К.** Дослідження експериментальних показників ефективності роботи відцентрового трикорпусного компресора з приводом від парової турбіни великотоннажного агрегату синтезу аміаку / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 1/3 (31). – С. 3–4.

Поступила в редакцію 15.04.2010

Рассмотрены особенности работы агрегата синтеза аммиака в условиях изменения расхода продувочных газов и получены количественные зависимости их влияния на энергоэффективность эксплуатации. Количественно определена оптимальная величина расхода этих газов, а следовательно, и содержание инертных в газе на входе колонны синтеза, обеспечивающих минимальное потребление природного газа в производстве аммиака.

Peculiarities of ammonia synthesis aggregate operation are considered in conditions of purge gases consumption change and quantitative dependences of their influence on energy efficiency of operation are obtained. The optimum consumption of these gases and content of rare gases on the entrance of synthesis column are obtained, that provides minimum consumption of natural gas in ammonia production.