

УДК 624.57:661.53

Бабиченко А.К., Тошинский В.И., Красников И.Л., Подустов М.А.

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ  
БЛОКА ВТОРИЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ  
КРУПНОТОННАЖНЫХ АГРЕГАТОВ СИНТЕЗА АММИАКА**

К одним из самых энергоемких процессов в химической промышленности относится производство аммиака. Поэтому основная тенденция его развития на современном этапе связана с повышением энергетической эффективности. Среди особо энергоемких участков крупнотоннажных агрегатов синтеза серии АМ1360 по проекту ГИАП, являющихся базовыми для постсоветского пространства, следует выделить блок вторичной конденсации, потребление электроэнергии в котором в основном за счет использования в схеме аммиачного турбокомпрессорного холодильного агрегата (АТК) составляет около 40% от общего объема потребляемого агрегатом. Исключение из схемы АТК холодопроизводительностью 4,88 МВт как раз и является одной из основных задач повышения энергоэффективности агрегата синтеза, позволяющей обеспечить снижение потребления электроэнергии на 3 тыс.квт.ч.

Наиболее эффективным способом решения поставленной задачи является утилизация низкопотенциальной теплоты. Такой подход нашел отражение в использовании в схеме блока вторичной конденсации двух теплоиспользующих абсорбционно-холодильных установок (АХУ) холодопроизводительностью 6,28 МВт, которые совместно с АТК обеспечивают охлаждение циркуляционного газа до регламентной температуры не более 0°С с целью выделения продукционного аммиака. При этом работа АХУ связана с утилизацией теплоты материальных потоков сравнительно высокого потенциала – свыше 100 °С, которая практически полностью используется в агрегате. Однако имеется в достаточно большом количестве неиспользуемая теплота очень низкого потенциала (менее 100 °С) и, в частности, теплота водяных паров турбоприводов с давлением 0,04 МПа и температурой 90 °С, на охлаждение которых в цикле отделения парообразования затрачивается дополнительно электроэнергия на привод вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения (АВО).

Анализ существующих энергосберегающих технологий свидетельствует о возможности утилизации столь низкого потенциала в циклах парорезекторных холодильных установок (ПХУ), работающих на легкокипящем веществе [1]. В качестве хладагента, как нельзя кстати в аммиачном производстве, может быть использован тот же аммиак, широкое применение которого в циклах ПХУ различных отраслей промышленности ограничивалось его вредными свойствами.

Ранее проведенные исследования [2,3] позволили сделать заключение о возможности отключения АТК с обеспечением регламентной температуры вторичной конденсации в осенне-зимний период при температуре атмосферного воздуха ниже 0 °С и работе двумя АХУ на два испарителя вследствие снижения тепловой нагрузки по циркуляционному газу за счет уменьшения его температуры до 37 °С на входе блока вторичной конденсации. Внедрение этого предложения на одном агрегате позволило сэкономить более 7 млн. кВт электроэнергии [4]. Поэтому дальнейшие исследования и разработки были направлены на создание энерготехнологического оформления блока вторичной конденсации, обеспечивающего на его входе снижение тепловой нагрузки по циркуляционному газу.

Результаты исследований по эксплуатации блока вторичной конденсации позволили установить, что в летний период максимальная температура циркуляционного га-

за на входе блока не превышает 50 °С, а значит, необходимое снижение температуры должно составлять не более 15 °С. Расчет холодопроизводительности, результаты которого представлены в табл. 1 в соответствии с апробированной в промышленных условиях методикой [5] показал, что для обеспечения такого снижения требуется установка высокотемпературного испарителя с температурой кипения хладагента 29 °С при давлении  $P_H = 1,154$  МПа перед конденсационной колонной (рис. 1), включенного в схему ПХУ холодопроизводительностью не более 7,8 МВт (6,7 Гкал/ч). При этом, со стороны выхода циркуляционного газа из высокотемпературного испарителя будет и достаточно высокая разность температур 6 °С, соответствующая реальным условиям эксплуатации испарителей блока вторичной конденсации.

Таблица 1 – Результаты расчета потребной холодопроизводительности ПХУ по проектным и эксплуатационным показателям циркуляционного газа на входе блока вторичной конденсации

Водо-род	Состав, % об.				Расход, м <sup>3</sup> /ч	Давление, МПа	Температура, °С		Холодо-производительность, МВт
	Азот	Метан	Аргон	Аммиак			Вход	Выход	
53,25	17,84	13	4,61	11,3	666990	30	50	35	7,8
56,0	18,9	8,3	6,9	9,9	632450	23	50	37	7,0*

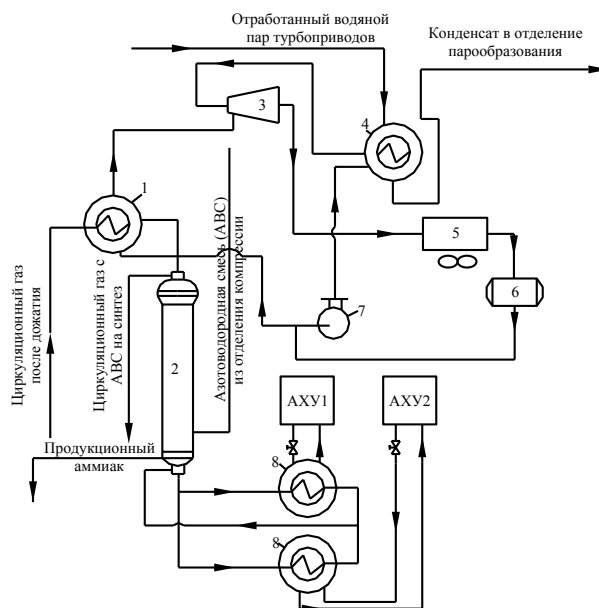


Рисунок 1 – Энергосберегающее технологическое оформление блока вторичной конденсации [7]

Как известно, работа ПХУ обеспечивается паровым эжектором 3, парогенератором 4, конденсатором 5 с воздушным охлаждением, ресивером жидкого аммиака 6 и насосом 7 подачи жидкого хладагента в парогенератор. Эксплуатация ПХУ с повышенным давлением кипения аммиачного хладагента в испарителе 1 позволяет повысить коэффициент инжекции цикла ПХУ. Величина достижимого коэффициента инжекции ( $\mu$ ) струйного компрессора определялась в соответствии с хорошо отработанным на практике алгоритмом [6]. Вследствие применения в ПХУ аппаратов АВО коэффициент ( $\mu$ ) устанавливался по величине достижимого давления сжатия  $P_C$ , значение которого ограничивалось давлением 1,6 МПа, что позволит даже в летний период обеспечить высокую температуру (40 °С) конденсации паров аммиака после струйного компрессора. При этом степень сжатия  $P_C/P_H$  и давление сжатия определялись по уравнению:

$$\frac{P_C}{P_H} = \frac{k_1 \lambda_{pH} + \varphi_3 \frac{P_{pH}}{\Pi^* k q_{pH}} + u \sqrt{\theta} \left[ k_2 \lambda_{H2} + \varphi_3 \frac{P_{H2}}{\Pi^* k q_{H2}} \right] - (1 - u \sqrt{\theta}) \lambda_{C3}}{\varphi_3 \Pi_{C3} \left[ \frac{P_{pH}}{\Pi^* k q_{pH}} + u \sqrt{\theta} \frac{1}{\Pi^* k q_{pH}} \right]}, \quad (1)$$

где  $\Pi^* = [2/(k+1)]^{1/(k-1)}$  – приведенное давление при приведенной изотропной скорости  $\lambda$  равной критической, т.е. при  $\lambda=1$ ;  $\varphi_3=0,9$  – экспериментальный коэффициент;  $k_1=0,834$ ,  $k_2=0,812$  – коэффициенты скорости рабочего и инжектируемого потоков по экспериментальным данным;  $k$  – показатель адиабаты;  $\sqrt{\theta}$  – отношение критических скоростей рабочего и инжектируемого потоков;  $P_{pH}$ ,  $q_{pH}$ ,  $\lambda_{pH}$  – газодинамические функции (приведенное давление, приведенные изоэнтропная и массовая скорости) во входном сечении цилиндрической камеры смешения;  $P_{p5}$ ,  $q_{p5}$ ,  $\lambda_{p5}$  – газодинамические функции при втором предельном давлении в условном сечении цилиндрической камеры смешения, где скорость инжектируемого потока не должна превышать критическую;  $P_{p2}$ ,  $q_{p2}$ ,  $\lambda_{p2}$  – газодинамические функции инжектируемого потока во входном сечении цилиндрической камеры смешения;  $P_{C3}$ ,  $q_{C3}$ ,  $\lambda_{C3}$  – газодинамические функции в выходном сечении цилиндрической камеры смешения.

В результате расчета величина коэффициента инжекции составила 0,5, что позволяет обеспечить инжекцию паров аммиака из высокотемпературного испарителя в количестве 24 т/ч рабочим аммиачным паром из парогенератора с давлением 3 МПа в количестве до 48 т/ч. При этом, общее количество паров хладагента и рабочего пара на воздушные конденсаторы (АВО) составит 72 т/ч, конденсация которых может быть осуществлена согласно проектным показателям шестью АВО с потреблением электроэнергии до 1200 кВт.ч. Количество отработанного водяного пара, требуемого для получения рабочего пара в парогенераторе, определялся по формуле:

$$G_{ВП} = G_{АП} r_A / r_{ВП}; \quad (2)$$

$$G_{ВП} = 48 * 250 / 550 = 22 \text{ т/ч},$$

где  $G_{ВП}$  – количество водяного пара, т/ч;  $G_{АП}$  – количество рабочего аммиачного пара, т/ч;  $r_A$  – удельная теплота парообразования аммиака при температуре 65 °С и давлении 3 МПа, ккал/кг;  $r_{ВП}$  – удельная теплота конденсации водяного пара трубопроводов, ккал/кг.

За счет такой утилизации возможно отключение одного из трех воздушных вентиляторов конденсаторов отработанного водяного пара турбины компрессора технологического воздуха с потреблением электроэнергии 100 кВт.ч. Работа блока вторичной конденсации по предложенной схеме позволяет исключить из схемы АТК и обеспечить работу каждой их АХУ на свой испаритель 8 и увеличить в летний период общую холодопроизводительность холодильных систем до 14 МВт (12 Гкал/ч). Для существующего в Украине агрегата синтеза (по такой схеме эксплуатируются три агрегата) снижение потребления электроэнергии составит:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 - N_4 - N_5 - N_6, \quad (3)$$

где  $N_1 = 3000$  кВт.ч – расход электроэнергии для обеспечения работы АТК по существующей схеме;  $N_2 = 300$  кВт.ч – расход электроэнергии на привод вентиляторов воздушных конденсаторов отработанного водяного пара турбин компрессора технологического воздуха в существующей схеме;  $N_3 = 800$  кВт.ч – расход электроэнергии на привод

вентиляторов воздушных конденсаторов для конденсации аммиака в цикле АТК по существующей схеме;  $N_4 = 80$  кВт.ч – расход электроэнергии на привод насоса жидкого аммиака в схеме ПХУ по разработанной технологии;  $N_5 = 1200$  кВт.ч – расход электроэнергии на привод вентиляторов воздушных конденсаторов для конденсации паров аммиака в цикле ПХУ по разработанной технологии;  $N_6 = 200$  кВт.ч – расход электроэнергии на привод вентиляторов воздушных конденсаторов отработанного водяного пара турбин компрессора технологического воздуха по разработанной технологии.

$$N = 3000 + 300 + 800 - 80 - 1200 - 200 = 2620 \text{ кВт.ч}$$

При стоимости электроэнергии для промышленного производства 240 грн. за 1 тыс.кВт.ч и среднегодовой работе агрегата 4000 часов в условиях повышенной температуры атмосферного воздуха (весенне-летний период) экономический эффект для действующего агрегата синтеза АМ1360 составит более 2,5 млн. грн.

Таким образом, разработанное энерготехнологическое оформление впервые в условиях аммиачного производства позволяет утилизировать низкопотенциальное тепло с уровнем температур менее 100 °С и повысить энергоэффективность за счет снижения потребления электроэнергии более чем на 2,5 тыс.кВт.ч.

#### Литература

1. Кошкин Н.Н., Саун И.А., Бамбушек Е.Н. и др. Холодильные машины. Учебн. для вузов.– Л.: Машиностроение. – 1985.–510 с.

2. Бабиченко А.К. Исследование эффективности эксплуатации участка вторичной конденсации агрегата синтеза аммиака от температуры атмосферного воздуха // Вестник Харьковского государственного политехнического университета – 1999.– Вып. 26.– с. 96–99.

3. Бабиченко А.К., Ефимов В.Т., Василенко В.П. и др. Повышение эффективности работы системы охлаждения циркуляционного газа в агрегатах синтеза большой единичной мощности //Химическая технология. – 1983. – №3. – с. 17–18.

4. Способ регулирования производительности агрегата синтеза аммиака: А.с. 1002756 СССР / Бабиченко А.К., Ерощенко С.А. и др. – Оpubл. в Б.И., 1983, № 9.

5. Ефимов В.Т., Бабиченко А.К., Ерощенко С.А. Повышение эффективности работы абсорбционных холодильных установок в агрегате синтеза аммиака большой мощности //Холодильная техника . – 1979. – № 2. – с. 23–26.

6. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты.– М.– 1989. – 350 с.

7. Установка для виробництва аміаку: Патент №20992. Україна, МПК 7F25B15/02, C01C1/04, F25B 49/00 /Бабіченко А.К., Гошинський В.І., Бабіченко Ю.А. – №200609938; Заявл. 15.02.2007; Опубл. 15.02.2007, Бюл. №2.

УДК 624.57:661.53

Бабіченко А.К., Гошинський В.І., Красніков І.Л., Подустов М.О.

#### **ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОФОРМЛЕННЯ БЛОКУ ВТОРИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ КРУПНОТОНАЖНИХ АГРЕГАТИВ СИНТЕЗУ АМІАКУ**

Проведений аналіз існуючого енерготехнологічного оформлення процесу вторинної конденсації аміаку. Узагальнені результати досліджень, що дозволило вперше здійснити утилізацію низкопотенціальної теплоти з рівнем температури менше 100 °С. Створена енергозберігаюча технологія забезпечує зниження споживання електроенергії на 2,5, тис.кВт.год в процесі охолодження циркуляційного газу у блоці вторинної конденсації за рахунок виключення із схеми аміачного турбокомпресорного холодильного агрегату.