



УДК 661.53:042.2

А.К. БАБИЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент, профессор

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»), г. Харьков

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ БЛОКА ВТОРИЧНОЙ КОНДЕНСАЦИИ АГРЕГАТОВ СИНТЕЗА АММИАКА В УСЛОВИЯХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Рассмотрены особенности работы блока вторичной конденсации крупнотоннажных агрегатов синтеза аммиака в условиях изменения температуры атмосферного воздуха. В промышленных условиях установлены функциональные зависимости влияния температуры на эффективность блока вторичной конденсации, что позволило разработать и внедрить технологию повышения энергоэффективности его эксплуатации.

**Ключевые слова:** агрегат синтеза аммиака, повышение энергоэффективности.

Во многих технологических системах химической промышленности применяются аппараты воздушного охлаждения (АВО). В связи с сезонными и суточными колебаниями температуры атмосферного воздуха работа АВО вносит значительные изменения в режимы работ технологических систем, обусловленные сменой тепловой нагрузки. С повышением тепловой нагрузки в весенне-летний период, как правило, снижается энергоэффективность эксплуатации производств в целом. Такое явление наблюдается и в базовых для азотной промышленности Украины крупнотоннажных агрегатах синтеза аммиака серии АМ-1360, в которых в блоке первичной конденсации продукционного аммиака отделения синтеза используются АВО. При таком технологическом оформлении с использованием АВО повышение температуры атмосферного воздуха вызывает увеличение температуры первичной конденсации, а значит, и тепловой нагрузки на последующий блок вторичной конденсации, в котором конденсация продукционного аммиака осуществляется в двух параллельно работающих аммиачных низкотемпературных испарителях с конденсационной колонной. Один из этих испарителей включен в схему работы двух водоаммиачных абсорбционно-холодильных установок (АХУ), а второй – в схему аммиачного турбокомпрессорного холодильного агрегата (АТК) с потреблением электроэнергии по проекту до 4,8 тыс. кВт·час, что составляет до 40 % всего потребления электроэнергии агрегатом синтеза аммиака. Следовательно, с увеличением температуры атмосферного воздуха для обеспечения регламентной температуры вторичной конденсации (не более 0 °С) возникает необходимость повышения холодопроизводительности АТК, что, безусловно, снижает энер-

гоэффективность агрегата синтеза аммиака в целом. Определение условий повышения энергоэффективности агрегата синтеза за счет возможного исключения АТК из схемы его работы и явилось целью настоящих исследований.

Исследования выполнялись методом пассивного регистрационного эксперимента в промышленных условиях работы блока вторичной конденсации агрегата синтеза аммиака серии АМ-1360.

Сбор информации о параметрах осуществлялся с помощью средств контроля микропроцессорного информационно-управляющего комплекса TDC-3000, установленного в центральном пункте управления. Для оценки достоверности полученных данных проведено сравнение диапазонов изменения значений эксплуатационных показателей с допустимыми погрешностями измерения, которые находились в середине диапазона изменения показателей. Окончательное формирование выборки осуществлялось после оценки сходимости материального баланса для отделения синтеза с целью исключения динамических режимов. В ходе пассивного эксперимента после оценки качества полученной информации в соответствии с известным алгоритмом [1] сформирована выборка по наиболее характерным режимам работы блока вторичной конденсации (табл. 1). При этом для определения максимально достигаемой холодильной мощности АХУ были проведены специальные исследования, которые осуществлялись в ноябре, в период очередного их ремонта. Потребление холодильной мощности АХУ, как и АТК, устанавливалось по количеству теплоты, отданному циркуляционным газом в процессе охлаждения его в испарителях [2], а эффективность работы блока вторичной конденсации оценивалась коэф-

Таблица 1 – Экспериментальные данные по режимам работы блока вторичной конденсации

№ режима	Расход циркуляционного газа $V_{ц} \cdot 10^{-3}$ , $нм^3/час$	Давление циркуляционного газа, МПа	Состав циркуляционного газа на входе испарителей $a_i$ , % об.						Температура циркуляционного газа, °С					Температура вторичной конденсации, °С	Температура первичной конденсации, °С
			водород	азот	метан	аргон	аммиак	на входе испарителей	на выходе испарителя	на выходе испарителя	на выходе конденсационной колонны	на выходе конденсационной колонны			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	319,6	24,2	55,7	18,9	8,4	6,9	10,1	16	-5	4	37	23	-0,5	28	
2	318,4	23,2	55,9	19,9	7,0	6,2	11,0	20	-4	-3	42	25	-3,5	32	
3	316,2	23,0	56,0	18,9	8,3	6,9	9,9	23	-1	1	44	26	0	34	
4	310,6	22,4	57,0	19,6	8,0	6,8	8,6	19	-4	0	43	24	-2	32	
5	311,1	23,4	56,1	19,7	9,4	6,2	8,6	12	-14	4	32	22	-5	23	
6	310,5	23,8	56,5	19,4	8,5	5,9	8,7	13	-11	7	35	23	-2	24	
7	317,4	23,0	56,2	20,0	8,4	7,3	8,1	18	-6	9	38	24	2	29	
8	306,5	22,2	55,6	18,9	7,8	7,3	10,4	17	-6	-4	40	24	-5	30	
9	321,7	23,0	55,6	19,2	8,7	6,7	9,8	15	-8	-2	38	24	-5	28	
10	310,8	22,0	55,2	18,6	8,0	7,5	10,7	14	-10	-5	38	24	-7	28	
11	315,5	22,7	56,8	17,6	8,8	6,8	10,0	18	-6	-2	-40	24	-4	30	
12*	313,5	23	55,7	20,0	8,0	7,0	9,3	13	-1	-2	35	22	-1,5	27	
13*	311,7	23,5	57,2	19,0	8,0	6,9	8,9	13	-3	-4	34	22	-3,5	25	
14*	320,0	23,8	56,2	19,5	7,7	6,8	9,8	18	4	-9	38	24	-2,5	29	
15*	321,1	23,1	56,7	18,9	8,8	6,9	9,7	14	-3	-9	37	24	-6	28	

\* В работе находилась одна абсорбционно-холодильная установка



фициентом использования АТК  $\eta_B$  (%), который определяется по уравнению

$$\eta_B = (Q_{\text{АТК}} / Q_{\text{ВК}}) \cdot 100, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{АТК}}$ ,  $Q_{\text{ВК}}$  – соответственно расход холодильной мощности АТК и в блоке вторичной конденсации в целом (АХУ и АТК), МВт·час

В табл. 2 приведены результаты расчетов потребляемой холодильной мощности на участке вторичной конденсации и коэффициента использования АТК, а на

рис. 1 – среднестатистические, построенные по данным табл. 2 зависимости основных показателей от температуры первичной конденсации.

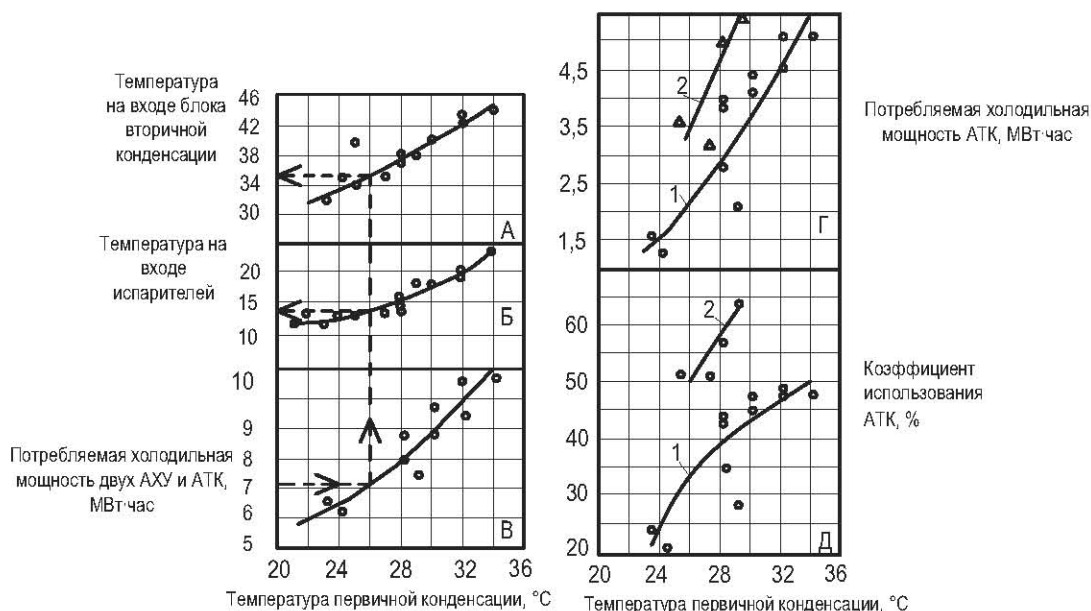
Представленные на рис. 1 зависимости свидетельствуют, что увеличение температуры первичной конденсации, например с 25 °С до 30 °С, вызывает повышение температуры циркуляционного газа как на входе блока вторичной конденсации (рис. 1 А), так и на входе испарителей (рис. 1 Б) соответственно с 34 °С до 40 °С и с 13 °С до 18 °С.

**Таблица 2 – Результаты расчетов потребляемой холодильной мощности АХУ и АТК блока вторичной конденсации**

№ режима	Потребляемая холодильная мощность двух АХУ, МВт·час	Потребляемая холодильная мощность АТК, МВт·час	Потребляемая холодильная мощность, общая АХУ и АТК, МВт·час	Температура атмосферного воздуха, °С	Коэффициент использования АТК, %
1	4,59	2,76	7,85	10	35,16
2	5,36	5,17	10,53	19	49,09
3	5,53	5,12	10,58	25	48,39
4	4,86	4,51	9,37	17	48,13
5**	5,02	1,57	6,59	-2	23,82
6**	4,87	1,28	6,15	-1	20,81
7**	5,22	2,05	7,27	14	28,2
8	4,58	4,18	8,76	20	47,7
9	5,01	3,77	8,78	14	42,93
10	4,95	3,92	8,87	15	44,19
11	5,24	4,46	9,7	13	45,98
12*	3,05	3,2	6,25	7	51,2
13*	3,39	3,61	7,0	8	51,57
14*	3,78	4,97	8,65	6	57,26
15*	3,24	5,41	8,64	13	63,94

\* В работе находилась одна абсорбционно-холодильная установка

\*\* Обеспечение испарителя АТК хладогентом путем подачи его из хранилища аммиака



**Рисунок 1 – Основные зависимости показателей эффективности работы блока вторичной конденсации от температуры первичной конденсации: 1 – для двух работающих АХУ и АТК; 2 – для одной работающей АХУ и АТК**

При этом увеличивается и тепловая нагрузка с циркуляционным газом на испарители, что требует для обеспечения регламентной температуры вторичной конденсации повышения потребления холодильной мощности АХУ и АТК с 6,8 до 9 МВт·час (рис. 1В) в основном за счет АТК (рис. 1Г, кривая 1). Вследствие такого повышения нагрузки на АТК увеличивается его коэффициент использования с 30 до 44 % (рис. 1Д, кривая 1), что приводит к увеличению потребления электроэнергии в АТК до величины 3,4 тыс. кВт·час и снижению энергоэффективности блока вторичной конденсации. С отключением одной из АХУ (рис. 1Д, кривая 2) коэффициент использования АТК при температуре первичной конденсации 30 °С увеличивается до 64 %, а его потребление холодильной мощности и электроэнергии достигает максимальных значений – соответственно 5,5 МВт·час и 4,8 тыс. кВт·час.

Анализ данных (табл. 2) показывает, что при температуре первичной конденсации 26 °С общее потребление холодильной мощности, обеспечивающее регламентную температуру вторичной конденсации не выше 0 °С, составляет около 7 МВт·час, которая может быть генерирована только двумя АХУ с отключением АТК. Такой вывод подтверждается режимом 13 (табл. 2). При этом температурный режим тепловой нагрузки с циркуляционным газом, выделенный пунктиром на рис. 1А–1В, должен не превышать температур на входе блока вторичной конденсации и испарителей – соответственно 35 °С и 13 °С, что обусловлено в свою очередь температурой атмосферного воздуха (рис. 2) не выше 5 °С.

Установленные функциональные зависимости позволили разработать технологию резервирования (отключения) АТК в случае снижения температуры атмосферного воздуха ниже 5 °С, а циркуляционного газа на входе блока вторичной конденсации (конденсационной колонны) – до 35 °С. Данная технология резервирования АТК была внедрена на ЧАО «Северодонецкое объединение «Азот», что обеспечило снижение потребления электроэнергии на 8,6 млн кВт·час, а в пересчете на одну тонну продукции составило 19,4 кВт·час/т аммиака.

Розглянуто особливості роботи блоку вторинної конденсації великотоннажних агрегатів синтезу аміаку в умовах зміни температури атмосферного повітря. Встановлено функціональні залежності впливу цієї температури на ефективність блоку вторинної конденсації в промислових умовах, що дозволило визначити та впровадити технологію підвищення енергоефективності його експлуатації.

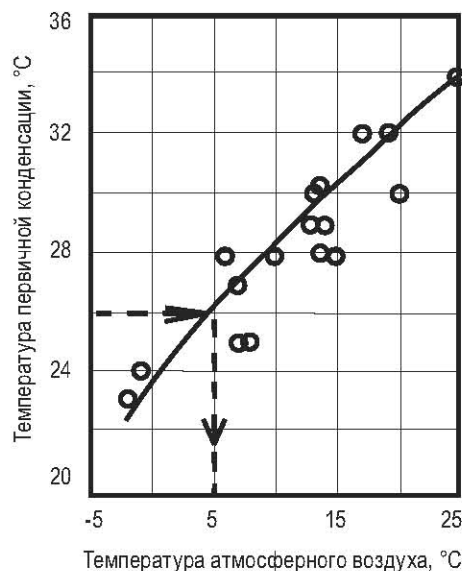


Рисунок 2 – Зависимость температуры первичной конденсации отделения синтеза от температуры атмосферного воздуха

### ВЫВОДЫ

Результаты исследования позволили установить функциональные зависимости эффективности работы блока вторичной конденсации от температуры атмосферного воздуха и разработать технологию резервирования АТК, внедрение которой обеспечило снижение расхода электроэнергии на 19,4 кВт·час/т аммиака.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грубов, В.И. Математическое моделирование непрерывных технологических процессов / В.И. Грубов. – К. : Киевский университет, 1971. – 175 с.
2. Ефимов, В.Т. Повышение эффективности абсорбционных холодильных установок в агрегате синтеза аммиака большой мощности / В.Т. Ефимов, С.А. Ерощенко, А.К. Бабиченко // Холодильная техника. – 1979. – № 2. – С. 23–26.

Поступила в редакцию 26.07.2011

The work features of the second condensation sector of the ammonia synthesis aggregates of large productivity are considered in the conditions of atmospheric air temperature changes. Functional dependences of temperature influence on the second condensation sector efficiency are determined that enables developing and implementing the technology aimed at increasing power efficiency of its exploitation.