

В.І. ТОШИНСЬКИЙ, докт. техн. наук, проф.

А.К. БАБІЧЕНКО, канд. техн. наук, проф.

Т.В. ВЛАСОВА

НТУ «ХПІ», Харків

З ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БЛОКУ ВТОРИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ СИНТЕТИЧНОГО АМІАКУ

У статті приведена математична модель, яка описує процеси тепло- та масообміну у конденсаційній колоні блоку вторинної конденсації та результати ідентифікації цієї моделі. Уточнене значення температури циркуляційного газу на виході з сепараційної частини конденсаційної колони.

Ключові слова: аміак; блок вторинної конденсації; азотоводнева суміш; циркуляційний газ; конденсаційна колона; математична модель; ідентифікація.

Агрегати виробництва синтетичного аміаку серії АМ–1360 в Україні мають підвищену енергоємність порівняно із зарубіжними аналогами. В значній мірі це пов'язано з блоком вторинної конденсації, в якому доля споживання електроенергії складає біля 40 % від загального обсягу, за рахунок використання турбокомпресорного холодильного агрегату (АТК) з електроприводом, споживання електроенергії АТК складає біля 4 тис. кВт·год. При цьому паралельно АТК експлуатуються дві абсорбційні холодильні установки (АХУ), які більш економічні внаслідок забезпечення їх роботи за рахунок утилізації низькопотенційної теплоти. Аналіз технологічного оформлення показав, що в агрегаті існує велика кількість не використаної теплоти матеріальних потоків з дуже низьким температурним потенціалом (<100 °С), теплота яких витрачається в агрегатах повітряного охолодження, що ще в більшій мірі сприяє збільшенню енергоємності. Тому задача створення енергоефективної схеми блоку вторинної конденсації за рахунок зниження навантаження АТК, а то і взагалі його виключення зі схеми роботи, набуває актуального значення.

Синтез таких складних систем найбільш ефективно вирішується із застосуванням методів математичного моделювання. Схема блоку вторинної конденсації представлена на рис. 1, одним з основних апаратів якого є конденсаційна колона (КК). Вона представляє собою вертикальний апарат підвищеного тиску, який складається з корпусу та насадки. Насадка складається з теплообмінника розташованого у верхній частині, та сепаратора, що включає корзину з фарфоровими кільцями Рашига та вільний сепараційний об'єм. У шар рідкого аміаку в сепараційній частині колони підводиться свіжа азотоводнева суміш (АВС). У міжтрубному просторі теплообмінника проходить циркуляційний газ (ЦГ) після циркуляційного колеса турбокомпресора, у трубному – охолоджуючий циркуляційний газ після аміачних випарників, який пройшов сепараційну частину колони.

Головним параметром зв'язку для ідентифікації роботи КК є коефіцієнт тепловіддачі з боку охолоджуваного ЦГ за наявності конденсату, що у літературі раніше не було висвітлено. Також немає чітких даних для визначення температури ЦГ на виході з сепараційної частини КК [1], що необхідна при розрахунку її холодопродуктивності. За проектом приймається, що ця температура на два градуси

вища ніж температура ЦГ після випарника. Таким чином уточнення її за математичною моделлю і стали метою дійсних досліджень.

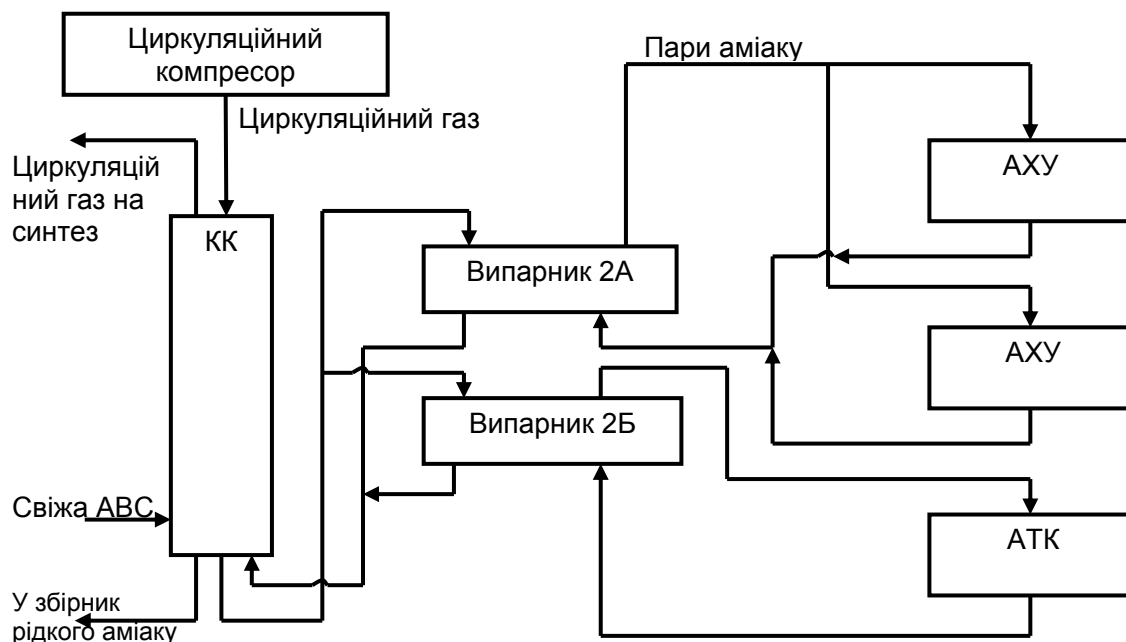


Рис. 1. Узагальнене структура відділення вторинної конденсації аміаку

Статична ідентифікація КК проведена на основі даних, які отримані через пасивний експеримент, за результатами якого була сформована вибірка режимів, деякі з котрих наведені у табл.1 та табл.2.

Таблиця 1

Результати досліджень по роботі конденсаційної колони (теплообмінник)

№	Витрата ЦГ на синтез, $\text{нм}^3/\text{с}$	Тиск ЦГ P_1 , МПа	Температура, $^{\circ}\text{C}$		Склад ЦГ після колеса циркуляційного компресора (ЦК), %					Склад ЦГ, котрий подається на синтез, %				
			ЦГ після колеса ЦК	ЦГ на синтез	Водень	Азот	Метан	Аргон	Аміак	Водень	Азот	Метан	Аргон	Аміак
1	213,66	23,9	43	26	56,6	18,4	8,7	7,	8,8	62,3	20,3	7,5	6,2	3,7
2	195,6	23,2	41	24	56,6	17,3	8,9	6,7	10,5	63,5	19,5	7,7	5,8	3,5
3	205,44	24,2	37	23	55,7	18,9	8,4	6,9	10,1	62,2	21,3	7,2	6	3,3
4	206,95	23,4	40	23	55,7	19,4	8,5	7,2	9,2	62,2	21,1	7,1	6,1	3,5
5	198,24	22,2	40	24	55,6	18,9	7,8	7,3	10,4	62,8	20,8	6,5	6,3	3,6
6	203,64	23,0	30	20	57,1	19,5	8,8	6,9	7,7	61,5	21,4	7,4	5,7	4

Таблиця 2

Результати досліджень по роботі конденсаційної колони (сепараційна частина)

№	Витрата, $\text{нм}^3/\text{с}$		Тиск АВС, МПа	Температура, $^{\circ}\text{C}$			Склад азотоводневої суміші (АВС), %			
	Азотоводневої суміші	ЦГ після колеса ЦК		АВС	ЦГ до випарника рідкого аміаку	ЦГ з випарника рідкого аміаку	Водень	Азот	Метан	Аргон
1	48,055	176,33	24	50	21	0	76,3	23,2	0,4	0,1
2	48,333	168,99	23,5	49	18	-4	76,3	23,2	0,4	0,1
3	48,333	177,56	24	35	16	1	76,3	23,2	0,4	0,1
4	48,055	174,04	23,9	39	15	-7	76,3	23,2	0,4	0,1
5	46,94	170,3	23,2	40	17	-4	76,3	23,2	0,4	0,1
6	50,27	168,23	24,3	36	11	-2	76,3	23,2	0,4	0,1

Розрахунок матеріально-теплого балансу теплообмінника та сепараційної частини колони був здійснений за методикою запропонованою у роботі [2].

Матеріально-тепловий баланс теплообмінника КК представлено рівняннями (1-10). Прямий хід ЦГ у міжтрубному просторі КК:

$$Q_{\text{ЦГ}} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{Ж}} + Q_{\text{К}} + Q_{\text{П}}, \quad (1)$$

$$Q_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{CP}}^{\Gamma} \cdot (t_{\text{ЦГ}}^{\text{ВХ}} - t_{\text{ЦГ}}^{\text{ВЛХ}}), \quad (2)$$

$$Q_{\text{Ж}} = (V_{\text{Ж}}^{\text{ВХ}} + 0,5 \cdot V_{\text{К}}) \cdot \rho_{\text{NH}_3} \cdot (i_{\text{Ж}}^{\text{ВХ}} - i_{\text{Ж}}^{\text{ВЛХ}}), \quad (3)$$

$$Q_{\text{П}} = V_{\text{П}}^{\text{ВЛХ}} \cdot \rho_{\text{NH}_3} \cdot (i_{\text{П}}^{\text{ВХ}} - i_{\text{П}}^{\text{ВЛХ}}), \quad (4)$$

$$Q_{\text{К}} = V_{\text{К}} \cdot \rho_{\text{NH}_3} \cdot r, \quad (5)$$

Зворотній хід ЦГ у трубному просторі КК:

$$Q_{\text{ЦГ}} = Q_{\Gamma} + Q_{\text{Ж}} + Q_{\text{И}} + Q_{\text{П}}, \quad (6)$$

$$Q_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot C_{\text{CP}}^{\Gamma} \cdot (t_{\text{ЦГ}}^{\text{ВЛХ}} - t_{\text{ЦГ}}^{\text{ВХ}}), \quad (7)$$

$$Q_{\text{Ж}} = V_{\text{Ж}}^{\text{ВХ}} \cdot \rho_{\text{NH}_3} \cdot (i_{\text{Ж}}^{\text{ВЛХ}} - i_{\text{Ж}}^{\text{ВХ}}), \quad (8)$$

$$Q_{II} = V_{II}^{BIX} \cdot \rho_{NH_3} \cdot (i_{II}^{BIX} - i_{II}^{BX}), \quad (9)$$

$$Q_{II} = V_{II} \cdot \rho_{NH_3} \cdot r, \quad (10)$$

Матеріально-тепловий баланс сепараційної частини представлено рівняннями (11–17). Тепло яке поступає до сепаратора із азотоводновою сумішшю:

$$Q_{ABC} = V_{ABC} \cdot \rho_{ABC} \cdot C_{CP}^{ABC} \cdot (t_{ABC}^{BX} - t_4), \quad (11)$$

Тепло яке забирається циркуляційним газом та сконденсованим аміаком:

$$Q_{ЦГ} = Q_{Г} + Q_{Ж} + Q_{К} + Q_{II} + Q_{прод}, \quad (12)$$

$$Q_{Г} = V_{Г} \cdot \rho_{Г} \cdot C_{CP}^{Г} \cdot (t_4 - t_{ЦГ}^{BX}), \quad (13)$$

$$Q_{Ж} = V_{Ж}^{BX} \cdot \rho_{NH_3} \cdot (i_{Ж}^{BIX} - i_{Ж}^{BX}), \quad (14)$$

$$Q_{II} = V_{II}^{BX} \cdot \rho_{NH_3} \cdot (i_{II}^{BIX} - i_{II}^{BX}), \quad (15)$$

$$Q_{II} = V_{II} \cdot \rho_{NH_3} \cdot r, \quad (16)$$

$$Q_{К} = V_{К} \cdot \rho_{NH_3} \cdot i_{Ж}^{BIX}. \quad (17)$$

де $Q_{ЦГ}, Q_{ABC}, Q_{Г}, Q_{Ж}, Q_{II}, Q_{II}, Q_{К}$ – тепловий потік відповідно від ЦГ, ABC, ЦГ без урахування аміаку, рідкого, парообразного, випареного та сконденсованого аміаку, МВт; $V_{ABC}, V_{Г}, V_{Ж}^{BX}, V_{Ж}^{BIX}, V_{II}^{BX}, V_{II}^{BIX}, V_{II}, V_{К}$ – об'ємні витрати відповідно ABC, ЦГ без урахування аміаку, рідкого, парообразного, випареного та сконденсованого аміаку, $\text{м}^3/\text{с}$; $\rho_{ABC}, \rho_{Г}, \rho_{NH_3}$ – щільність ABC, ЦГ без урахування аміаку та аміаку, $\text{кг}/\text{м}^3$; $C_{CP}^{ABC}, C_{CP}^{Г}$ – середня питома теплоємність ABC та ЦГ, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $t_{ABC}^{BX}, t_{ЦГ}^{BX}, t_{ЦГ}^{BIX}, t_4$ – температура входу ABC, ЦГ на вході та виході, температура змішаного потоку на виході, $^{\circ}\text{C}$; $i_{Ж}^{BX}, i_{Ж}^{BIX}, i_{II}^{BX}, i_{II}^{BIX}$ – ентальпія рідкого та парообразного аміаку на вході та виході, $\text{Дж}/\text{кг}$; r – питома теплота фазового перетворення аміаку, $\text{Дж}/\text{кг}$.

Уточнене значення температури ЦГ на виході з сепараційної частини КК було отримано з розрахунку матеріально теплового балансу теплообмінника КК за приведеною математичною моделлю. Після чого були отримані значення теплових потоків ABC та ЦГ сепараційної частини КК, результати зведені у табл.3. На графіках рис.2 та рис.3 зображені поліноміальні криві залежності теплових потоків від температури змішаного потоку.

Результати розрахунку теплових потоків від ЦГ та АВС

№	за експериментальними даними			за математичною моделлю		
	Температура над сепараційною частиною колони, °С	Тепловий потік від ЦГ та сконденсованого аміаку, МВт	Тепловий потік від АВС, МВт	Температура над сепараційною частиною колони, °С	Тепловий потік від ЦГ та сконденсованого аміаку, МВт	Тепловий потік від АВС, МВт
1	2	3,89	3	1,3	3,64	3,047
2	-2	4,42	3,21	-3,9	3,81	3,33
3	3	4,55	2,01	-1,7	2,92	2,31
4	-2	3,88	2,75	1,5	3,78	2,77
5	-4	4,38	3	-1,7	3,75	2,68
6	6	4,45	2,67	-1,5	2,54	2,41

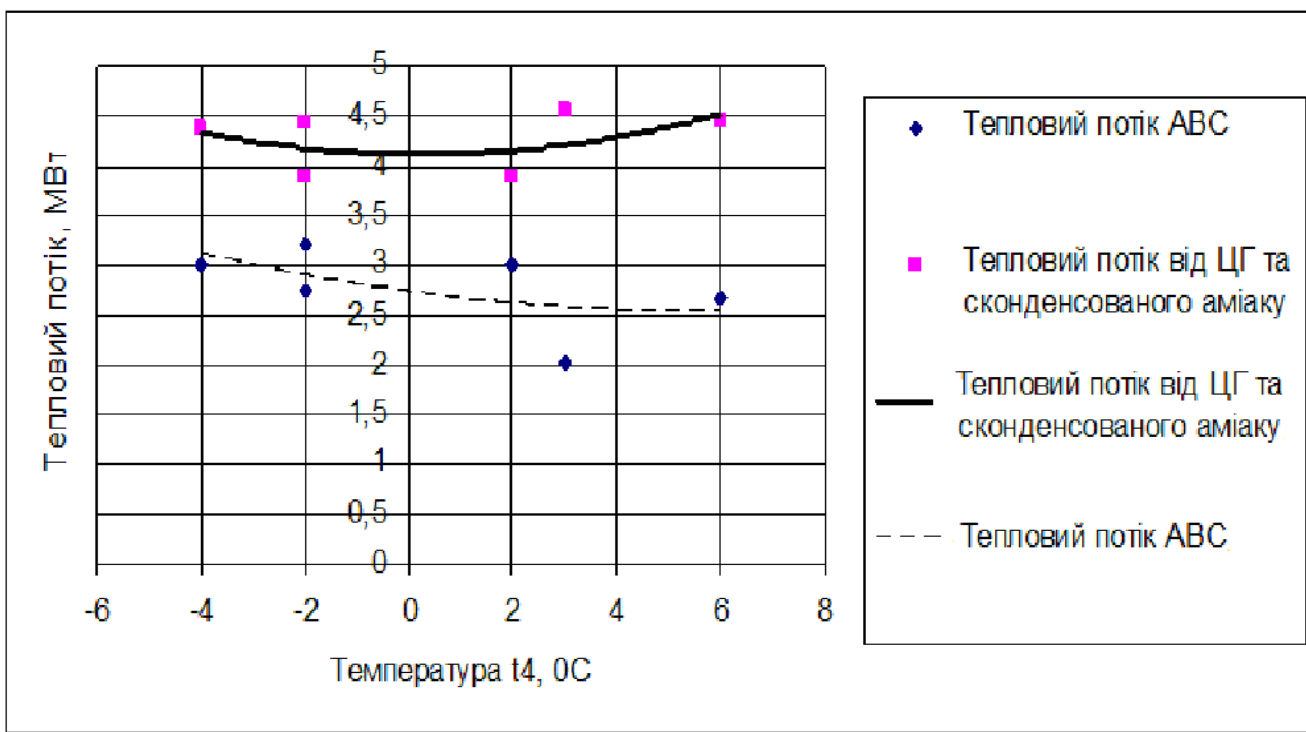


Рис.2. Теплові потоки розраховані за експериментальними даними

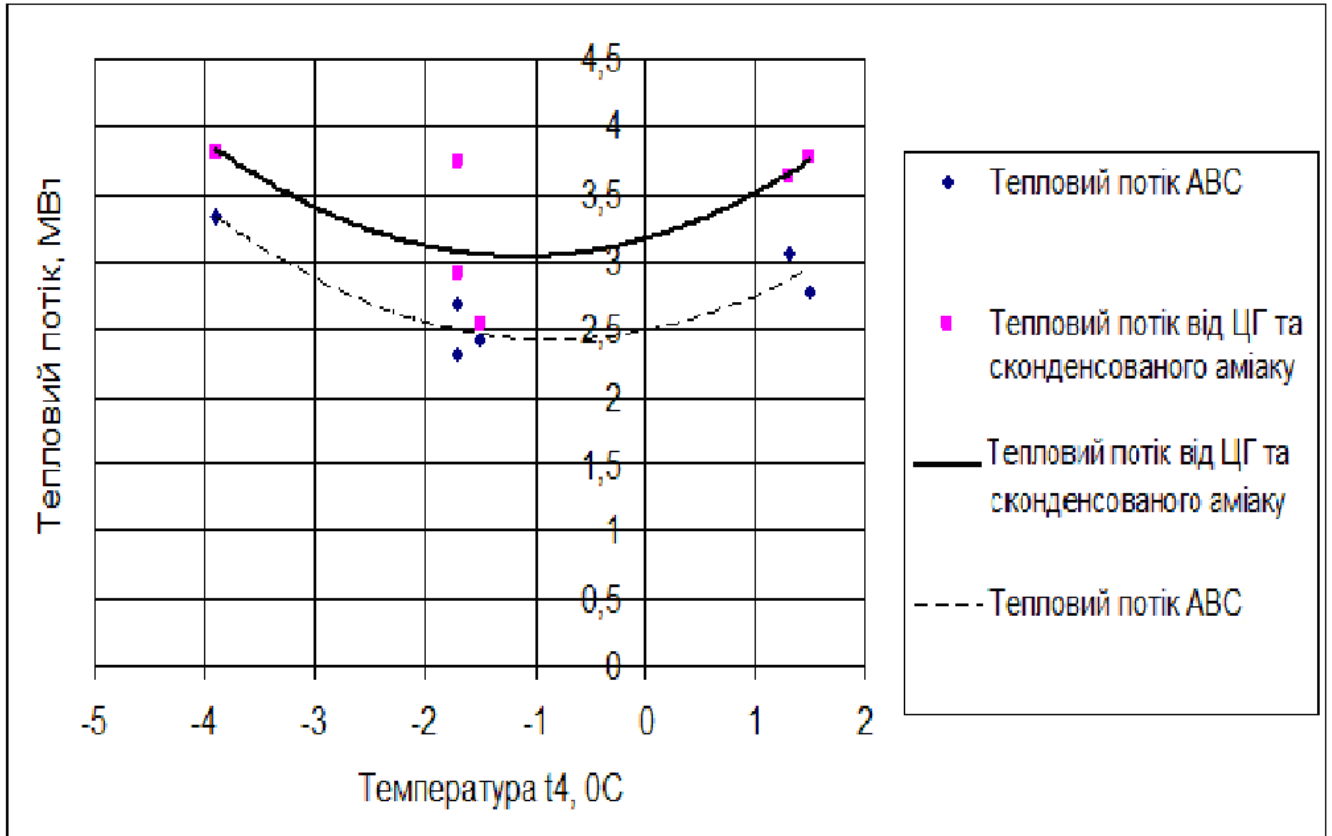


Рис. 3. Теплові потоки розраховані за результатами математичного моделювання

За результатами моделювання можна зробити висновок, що температура змішаного потоку з сепараційної частини КК нижча за проектну, що необхідно враховувати при розрахунку теплових навантажень на КК при проектуванні. Подальші дослідження направлені на уточнення коефіцієнту тепловіддачі з боку охолоджуваного ЦГ за наявності конденсату.

Використана література: 1. Кузнецов Л.Д. Синтез амміака / Л.Д. Кузнецов, Л.М. Дмитриенка, П.Д. Рабина, Ю.А. Соколинскийю – М.: Химия, 1982. – 296 с. 2. Ефимов В.Т. Повышение эффективности работы абсорбционных холодильных установок в агрегатах синтеза аммиака большой мощности / В.Т. Ефимов, С.А. Ерощенков, А.К. Бабиченко// Холодильная техника. – 1979. – № 2 – С. 23 – 26. 3. Исоченко В.П. Теплопередача: учебник для ВУЗов / В.П. Исоченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – [3-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Энергия, 1975. – 488 с. 4. Розенфельд Л.М. Примеры и расчеты холодильных машин и аппаратов / Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г., Гуревич Е.С. – М.: Госторгиздат, 1960. – 238 с. 5. Янковский Н.А. Аммиак. Вопросы технологии / [Н.А. Янковский, И.М. Демиденко, В.А. Степанов, Б.И. Мельников и др.]; под общей редакцией Н.А. Янковского. – Донецк: ГИК Новая печать, ООО Лебедь, 2001. – 497 с.