

Л.М. УЛЬЄВ, докт. техн. наук, НТУ «ХП»,
К.О. СІЛЬЧЕНКО, студент, НТУ «ХП»

ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСУ РЕКТИФІКАЦІЇ ЧАСТКОВО РОЗЧИННОЇ АЗЕОТРОПНОЇ СУМІШІ ФУРФУРОЛ-ВОДА

У даній роботі визначається потенціал енергозберігаючого процесу ректифікації частково розчинної азеотропної суміші фурфурол-вода. В роботі показано, що за допомогою методу пінч-реконструкції можливо зменшити споживання пара на 137,3 кВт, а споживання потужності холодних утиліт на 144,3 кВт

В настоящей работе определяется энергосберегающий потенциал процесса ректификации частично растворимой азеотропной смеси фурфурол-вода. В работе показано, что с помощью метода пинч-анализа возможно уменьшить потребление пара на 137,3 кВт, а потребление мощности холодных утилит на 144,3 кВт

In given work is defined potential energy-efficient process rectification partly soluble mixture furfural-water. In work is shown that by means of method pinch-reconstructions possible to reduce the consumption a pair on 137,3 кВт, but consumption to powers cool scrap on 144,3 кВт

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями. Україна в даний час забезпечена власними енергетичними ресурсами не більше ніж на 40%, а середня вартість енергії, яка приходить на питомий продукт, що випускається українською промисловістю, навіть з урахуванням тіньового виробництва, в 1,5–2 рази перевищує цей показник для індустріально-розвинених країн. Значною мірою це відбувається через те, що технологічні схеми промислових підприємств, діючі зараз на Україні, були створені під час відносно дешевих енергоносіїв. В даний час, коли вартість енергії різко зросла, і на Україні існує її дефіцит, питання економії енергії для промислових підприємств є життєво важливим. Тому більшість українських підприємств вимагають реконструкції, а при будівництві нових підприємств необхідно використовувати сучасні ресурсо- і енергозберігаючі методи проектування [1]. Зниження споживання енергії на одиницю продукції, що випускається, за інших рівних умов позитивно також впливає на довкілля і здоров'я людини за рахунок зниження викиду шкідливих газів, що утворюються при отриманні енергоносіїв [4]. Одним з методів, який дозволяє досягти всіх цих цілей є Pinch-аналіз.

вний теплообмінник, потім в холодильнику охолоджується до температури 30°C і поступає в накопичувальну ємність. Пара, після виходу з колони при температурі 98°C, конденсується в дефлегматорі і отриманий конденсат, з концентрацією фурфурола 94,2%, в дільнику ділиться на два потоки. Один потік повертається на верхню тарілку колони як флегма з флегмовим числом 4,23, а другий потік подається на 2-ий рекуперативний теплообмінник.

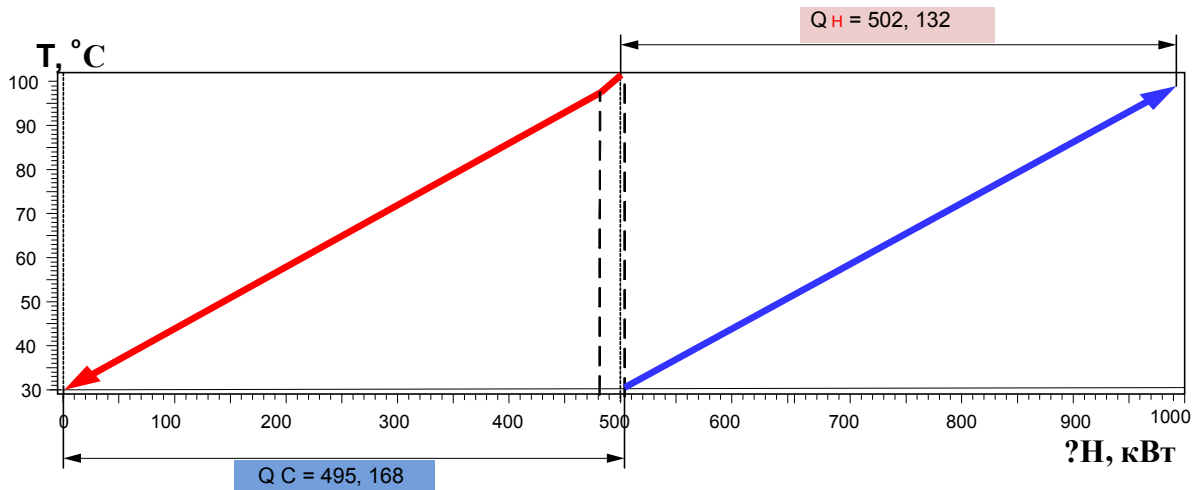


Рис. 2. Складові криві без реконструкції

Далі конденсат поступає у холодильник, охолоджується до температури і прямує у відстійник з температурою 30°C. У відстійнику відбувається розділення конденсату під дією гравітаційних сил на дві фази: легку – водну фазу і важку – фурфурол, який поступає в ємність. А легка водна фаза змішується з вихідною сумішшю і повторює цикл.

Визначення енергозберігаючого потенціалу. Пінч-аналіз зовнішньої мережі ректифікаційної установки можна виконати шляхом побудови складових кривих технологічних потоків, а також за допомогою методу табличного алгоритму. За результатами аналізу схеми процесу ректифікації були розраховані матеріальний і тепловий баланс, визначені значення матеріальних і теплових потоків вихідної суміші, дистилляту й кубового залишку[3]. Знайдені данні наведено в потокову таблицю 1.

Таблиця 1

Потокові дані технологічної схеми

№ потоку	Назва потоку	Тип потоку	Температура постачання, $T_s, ^\circ\text{C}$	Цільова температура, $T_T, ^\circ\text{C}$	Теплова потужність, $Q, \text{кВт}$	Витрачена теплоємність $CP, \text{кВт}/^\circ\text{C}$
----------	--------------	------------	---	--	-------------------------------------	--

1	G'	гарячий	98	30	103,281	1,5188
2	W	гарячий	100	30	398,851	5,699
3	F'	холодний	30	98,6	495,168	7,2182

де T_T, T_S – цільова температура та температура постачання, °С.

Проект пінч-інтеграції передбачає зменшення теплової потужності устаткування, що призводить до зниження річних витрат на енергоносії.

Для існуючого процесу (рис. 2) тепла потужність, необхідна для нагріву холодного потоку складає 495,168 кВт, а потужність, необхідна для охолодження гарячих потоків складає 502,132 кВт. На температурно-ентальпійній діаграмі виконуємо спільне зображення гарячої і холодної складових кривих. Тепер зрушуємо потоки уздовж ентальпійної осі так, щоб забезпечити рівність $\Delta T_{\min}=20^\circ\text{C}$ (рис. 3).

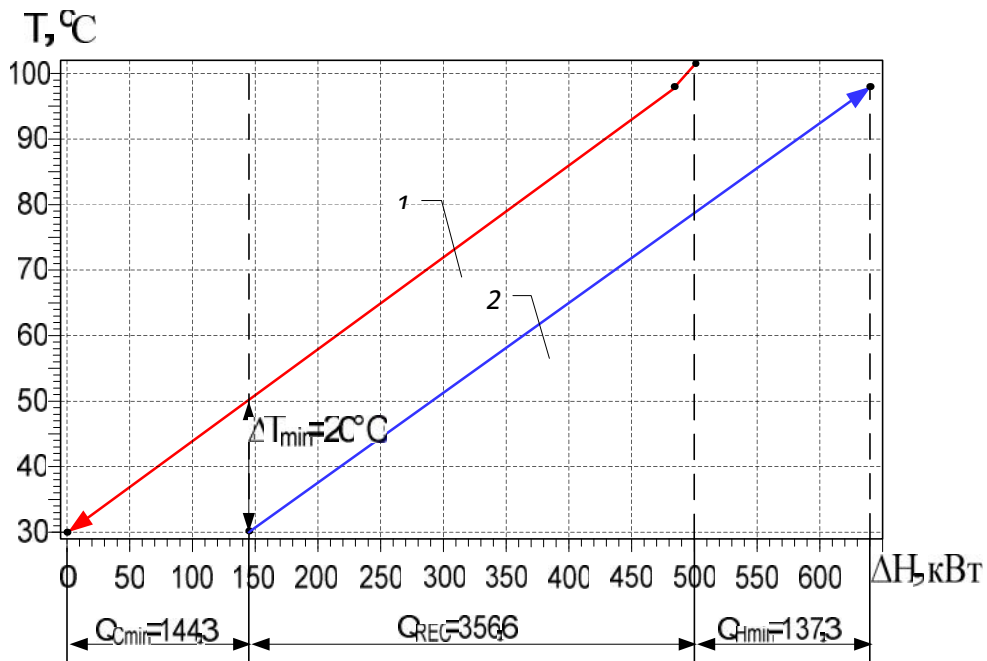


Рис. 3. Спільне зображення гарячої й холодної складових кривих: 1– гаряча складова крива; 2– холодна складова крива; Q_{Hmin}, Q_{Cmin} – споживання потужності від гарячих утиліт і холодних утиліт.

Складові криві потоків, побудовані для ректифікаційної установки при $\Delta T_{\min}=20^\circ\text{C}$, показують, що існує можливість синтезувати мережу рекуперативного теплообміну в якій зменшуються використання холодних і гарячих утиліт. В результаті одержали цільові енергетичні значення для гарячих $Q_{Hmin}=137,3$ кВт і холодних енергоносіїв $Q_{Cmin}=144,3$ кВт, а максимальна потужність рекуперації – $Q_{REK}=356,6$ кВт. Також визначили

локалізацію пінча на температурах холодних потоків, яка дорівнює $T_{СППНЧ}=30^{\circ}\text{C}$ та гарячих – $T_{НПНЧ}=50^{\circ}\text{C}$.

За допомогою методу табличного алгоритму можна без побудови графіків обчислювати цільові енергетичні значення. Для цього спочатку визначимо зрушені температурні інтервали з реальних температур постачання й цільових температур технологічних потоків процесу. Необхідно всі гарячі потоки зрушити по температурній осі вниз на $\Delta T_{\min}/2$ (гаряча складова крива на $\Delta T_{\min}/2$ холодніше, ніж у дійсності), а холодні потоки піднімемо на $\Delta T_{\min}/2$ (холодна складова крива на $\Delta T_{\min}/2$ гарячіше, ніж насправді) [5]. У результаті такого зрушення стає можлива передача тепла між потоками у межах кожного температурного інтервалу. Дуже важливо відзначити, що вертикальне переміщення кривих не змінює величини основних ентальпійних інтервалів [6].

Розташовуємо зрушені температурні інтервали й технологічні потоки уздовж температурної осі. Визначимо значення ΔT^* для кожного інтервалу та ентальпійний баланс:

$$\Delta H_i = \left(\sum_i^n CP_{C_i} - \sum_i^n CP_{H_i} \right) \Delta T_i,$$

де ΔH_i – тепловий баланс для i -го зрушеного інтервалу, кВт; ΔT_i – величина i -го температурного інтервалу, $^{\circ}\text{C}$; CP_{C_i} та CP_{H_i} – потокова теплоємність холодного та гарячих потоків i -го інтервалу, кВт/ $^{\circ}\text{C}$. Отримані дані заносимо в табл. 2. Розташуємо наші температурні інтервали уздовж температурної шкали, спадаючим донизу каскадом. Спочатку припустимо, що перший температурний інтервал не одержує теплової енергії від зовнішніх енергоджерел рис.4.

Таблиця 2

Тепловий баланс у температурних інтервалах

Номер інтервалу	Температури на межах інтервалів $T, ^\circ\text{C}$	Розподілення потоків	$\Delta T_{\text{інт}}, ^\circ\text{C}$	$\sum C_{\text{Р}} = \sum C_{\text{В}}$ кВт/ $^\circ\text{C}$	$\Delta Q_{\text{інт}},$ кВт	Надлишок/ нестача
1	108 $^\circ\text{C}$		186	+7,2182	+134,258	нестача
	9 $^\circ\text{C}$					
2	8 $^\circ\text{C}$		2	+1,5192	+3,0384	нестача
3	4 $^\circ\text{C}$					
4	2 $^\circ\text{C}$	48	+0,004	+0,0192	нестача	
		20	-7,2178	-144,356	надлишок	

Перший інтервал має нестачу теплової потужності 134,258 кВт, що передається наступному інтервалу. Побудуємо каскад позитивних теплових потоків. Для цього до гарячих утиліт додаємо найбільшу нестачу тепла 137,3156 кВт і знаходимо тепловий баланс для кожного температурного інтервалу таким же чином, наведеним вище. У результаті одержали каскад табличного алгоритму при цільових значеннях гарячих утиліт рис. 4 а та б.

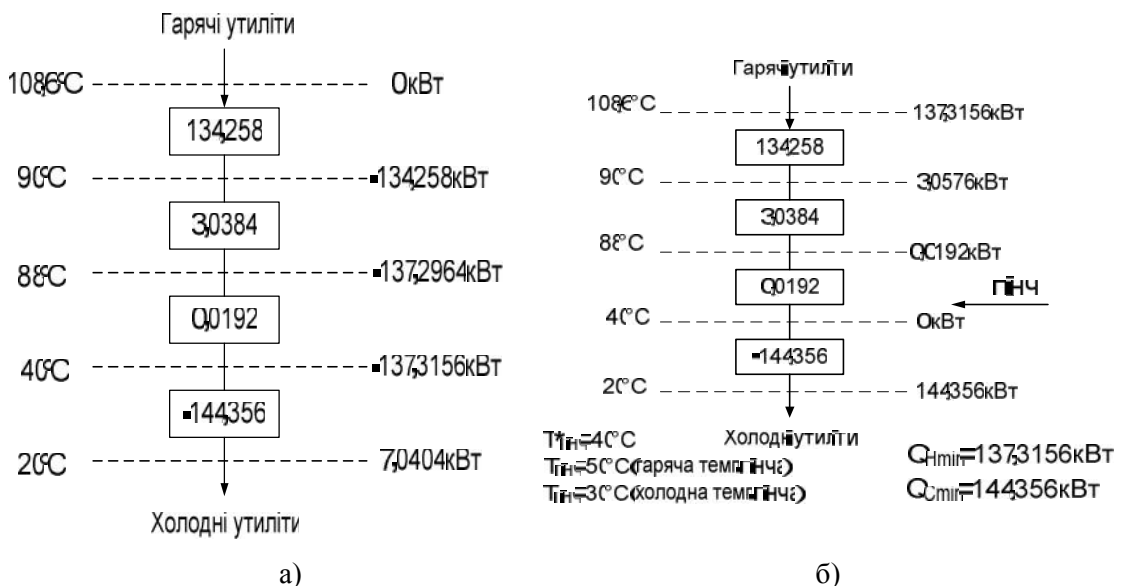


Рис. 4. Тепловий каскад табличного алгоритму при нульових гарячих утилітах (а) та при цільових значеннях гарячих утиліт (б)

Висновки

В результаті виконання розрахунку методом табличного алгоритму отримали, що $Q_{Hmin}=137,3156$ кВт, а $Q_{Cmin}=144,356$ кВт. Визначили температури пінча для гарячих $T_{HPHЧ}=50^{\circ}\text{C}$ та холодних потоків $T_{СПНЧ}=30^{\circ}\text{C}$. Ці значення відповідають величинам, що були отримані при побудові складових кривих.

Список літератури: 1. Мешалкин В.П. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем: Учебн. пособие/ Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 412 с. 2. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Товажнянский Л.Л., Ульев Л.М. и др.]; – Харьков. НТУ «ХПИ». – Библиотека журнала ИТЭ. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2000. – 458 с. 3. Товажнянский Л.Л. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов в химической технологии / В.А. Лещенко, Л.Л. Товажнянского – под ред. Л.Л. Товажнянского – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 432 с. 4. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве / [Товажнянский Л.Л., Кошельник В.М., Соловей В.В., Кошельник А.В.] – под ред. Кошельника В.М. – Харьков. НТУ «ХПИ». 5. Cooper P.R. Royal Society Esso Energy Award. – London: Press Release Society Royal Society, 1981. – P. 150. 6. Linnhoff B. Thermodynamic Analysis in the Design of Process Networks, PhD Thesis. – N.Y.: University of Leeds, 1979. – P. 55.

Надійшла до редколегії 25.03.11