

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ ХЛОРИДУ МАГНІЮ

Биканов С. М., Бабак Т. Г., Данілов Ю. Б., Рищенко І. М.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ ХЛОРИДА МАГНИЯ

Быканов С. Н., Бабак Т. Г., Данилов Ю. Б., Рыщенко И. М.

ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION OF THE MAGNESIUM CHLORIDE EVAPORATION PROCESS

Vykanov S., Babak T., Danilov Yu., Ryshenko I.

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Харків, Україна

sergiobyk1980@gmail.com

tgbabak@gmail.com

danylovyb@gmail.com

ryshchenko@kpi.kharkov.ua

Проведено теплову інтеграцію потоків процесу випарювання хлориду магнію з використанням методів пінч-аналізу. Проведено екстракцію даних, побудовано складені криві потоків процесу для $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$, визначено цільові значення потужності утиліт. Обґрунтовано рішення щодо переносу тепла через пінч, що призводить до корекції цільових значень потужності зовнішніх утиліт. Розташовано відповідне теплообмінне обладнання. Розраховано, що внаслідок теплової інтеграції, витрата гріючої пари зменшується на 23 %.

Ключові слова: *теплова інтеграція, пінч-аналіз, зовнішні утиліти, складені криві, рекуперативні теплообмінники, випарювання*

Проведена тепловая интеграция потоков процесса выпаривания хлорида магния с использованием методов пинч-анализа. Проведена экстракция данных, построены составные кривые потоков процесса для $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$, определены целевые значения мощности утилит. Обосновано решение о переносе тепла через пинч, что приводит к коррекции целевых значений мощности внешних утилит. Размещено соответствующее теплообменное оборудование. Рассчитано, что вследствие тепловой интеграции, расход греющего пара уменьшается на 23 %.

Ключевые слова: *тепловая интеграция, пинч-анализ, внешние утилиты, составные кривые, рекуперативные теплообменники, выпаривание*

Heat integration of the magnesium chloride evaporation process was carried out using pinch analysis methods. The data were extracted, composite curves of the process steams were constructed for $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$, the target power values of the utilities were determined. The decision on heat transfer through the pinch is justified, that leads to the correction of the target power values of external utilities. Corresponding heat exchange equipment is located. It is calculated that the consumption of heating steam is reduced by 23% due to heat integration.

Keywords: *heat integration, pinch analysis, utilities, composite curves, recuperative heat exchangers, evaporation*

ВСТУП

В хімічній і харчовій промисловості широко розповсюджені процеси випарювання. Випарювання застосовують для випарювання розчинів солей (NH_4NO_3 , KNO_3 , MgCl_2 , NaCl , KCl , т.д.) та луг (NaOH , KOH , т.д.), опріснення морської води. Прикладом застосування випарювання в харчовій промисловості може бути випарювання при отриманні цукру. Як відомо, випарювання речовин супроводжується великими енергетичними затратами. Щоб підтримувати процес кипіння розчину, потрібно підводити велику кількість тепла. Відомо, що при проведенні випарювання в однокорпусному випарному апараті, для випарювання 1 кг води затрати пари, що гріє складають 1,1...1,25 (кг пара)/(кг води) [1]. Тому економія тепла в процесі випарювання є актуальною задачею.

Найбільш розповсюдженим і відомим засобом економії є застосування багатокорпусних випарних установок (ВУ), в яких вторинна пара попереднього корпусу гріє наступний. Інший засіб – це вдосконалення конструкцій самих випарних апаратів, завдяки чому збільшуються коефіцієнти теплопередачі і підвищується інтенсивність кипіння розчину, що сприяє зменшенню витрати пари, що гріє. Одним із прикладів такого вдосконалення є застосування випарних апаратів з пластинчастою гріючою камерою [2,3]. Іноді у випарних апаратах застосовується тепловий насос, завдяки чому вторинний пар стискається в компресорі і направляється на нагрівання того ж випарного апарату.

Також одним із засобів економії тепла при випарюванні є проведення комплексної теплової інтеграції випарної установки (ВУ), яку можна проводити за допомогою методу пінч-аналізу [4]. Раніше було показано проведення такої теплової інтеграції на прикладі трьохкорпусної установки по випарюванню їдкового натрію [5]. В цій роботі автори намагаються показати проведення теплової інтеграції процесу випарювання на прикладі двохкорпусної випарної установки по випарюванню хлориду магнію.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

За основу для проведення теплової інтеграції і розрахунків було взято принципову технологічну схему процесу випарювання водного розчину хлориду магнію з природною циркуляцією. Число корпусів – два. Продуктивність установки складала 7 тон/год. початкового розчину MgCl_2 , початкова концентрація розчину 7 %, кінцева 33 % мас. Тиск пари, що гріє, у першому корпусі – 0,3 МПа, тиск в барометричному конденсаторі – 0,015 МПа.

Принципову технологічну схему випарювання хлориду магнію наведено на рис.1. Згідно цієї схеми, початковий розчин з ємкості Е1 насосом подається в теплообмінник-підігрівач Н1, де він підігрівається до температури кипіння і подається на випарку в випарну установку, що складається з двох корпусів.

Задача теплової інтеграції полягає в тому, щоб досягти максимальної рекуперації тепла і використати тепло конденсатів з першого і другого корпусів, а також тепло упареного розчину для підігріву початкової суміші. Для виконання цієї задачі було використано методи пінч-аналізу.

Для отримання потокових даних проведено розрахунок випарної установки на основі рівнянь матеріального і теплового балансу. Внаслідок розрахунків отримано витрату води, що випарюється по корпусам (W_1, W_2), температуру вторинних і гріючої пари, теплове навантаження корпусів установки, теплоємності потоків.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

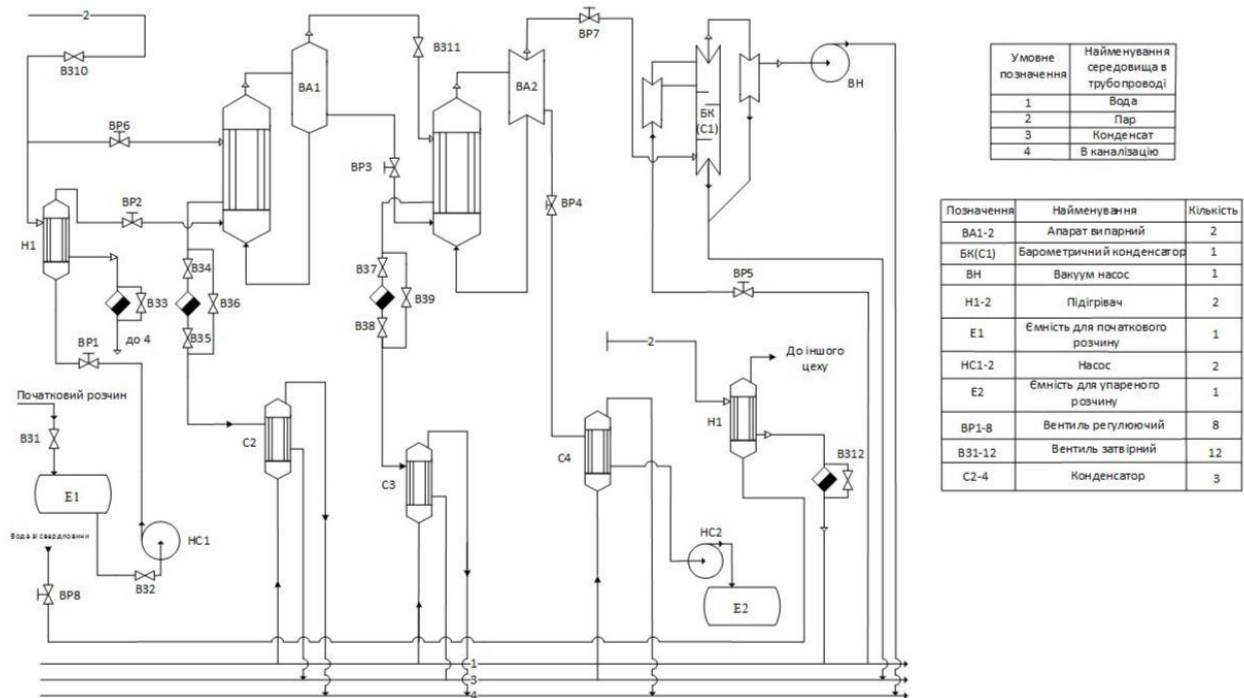


Рис. 1. Принципова технологічна схема процесу випарювання хлориду магнію

Для теплової інтеграції згідно технологічній схемі (рис.1), обираємо дев'ять технологічних потоків. Гарячі потоки: конденсати з 1 і 2 корпусів, вторинні пари з 1 і 2 корпусів, упарений розчин. Холодні потоки: початковий розчин $MgCl_2$, розчин, що випаровується у 1 і 2 корпусах, вода на технічні потреби. Обрані потоки представлено у табл. 1.

Таблиця 1. Таблиця поточкових даних для теплової інтеграції процесу випарювання

№	Потік	Тип	$T_s, ^\circ C$	$T_r, ^\circ C$	$G, \text{ кг/с}$	$C, \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$CP, \text{ кВт/К}$	$r, \text{ кДж/кг}$	$\Delta H, \text{ кВт}$
1	Конденсат з 1-го корпусу	гар	129	35	0.8195	4,2	3,442	–	323,6
2	Конденсат з 2-го корпусу	гар	103	35	0,766	4,190	3,21	–	218,3
3	Вторинна пара з 1-го корпусу	гар	106	106	0.766	–	–	2264	1734
4	Вторинна пара з 2-го корпусу	гар	53	53	0.764	–	–	2370	1810,7
5	Упарений розчин	гар	83	35	0.414	3,08	1,275	–	61,2
6	Початковий розчин $MgCl_2$	хол	25	113	1.944	3,897	7,578	–	666,9
7	Розчин $MgCl_2$ в 1-му корпусі	хол	112	112	1.944	–	–	2228,8	1793
8	Розчин $MgCl_2$ в 2-му корпусі	хол	83	83	1.178	–	–	2302,2	1734
9	Вода на технічні потреби	хол	20	60	0,4	4,190	1,68	–	67,2

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

В таблиці наведено початкові і кінцеві температури технологічних потоків які взяті для інтеграції (T_S і T_T), їх витрати (G , кг/с), теплоємності (C , кДж/(кг·К)), питомі теплоти пароутворення (r , кДж/кг), потокові теплоємності (CP , кВт/К), зміни тепловмісту потоків (ΔH , кВт). Витрати, температури, питомі теплоємності та питомі теплоти пароутворення потоків розраховано за матеріальним і тепловим балансом ВУ. Потокові теплоємності та зміну тепловмісту потоків розраховуємо за формулою:

$$\Delta H = G \cdot C \cdot (T_S - T_T) = CP \cdot \Delta T.$$

В існуючій схемі є рекуперація тепла $Q_{REC}=1734$ кВт, яка відповідає тепловому навантаженню другого корпусу ВУ. Це цілком відповідає принципу багатокорпусного випарювання, згідно якому вторинна пара попереднього корпусу використовується в якості гріючої для наступного. Але, зауважимо, не використовується надлишок тепла упареного розчину, потоків конденсату з корпусів та вторинної пари останнього корпусу.

РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ТЕПЛОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Для даної схеми на основі техніко-економічних розрахунків було обрано мінімальну температурну різницю в теплообмінному обладнанні $\Delta T_{min} = 8^\circ\text{C}$. Складені криві потоків, які побудовані для обраного значення ΔT_{min} (рис.2) вказують на можливість синтезувати мережу рекуперативного теплообміну, завдяки якому буде зменшено використання холодних і гарячих утиліт. В результаті отримуємо цільові енергетичні значення гарячих $Q_{Hmin}=1873,16$ кВт і холодних $Q_{Cmin}=1759,83$ кВт утиліт. Максимальна потужність рекуперації складає $Q_{REC}=2387,9$ кВт (рис.2), що приблизно на 650 кВт більш, ніж у існуючій схемі випарювання ($Q_{REC}=1734$ кВт). Температура пінча гарячих потоків дорівнює 53°C , холодних 45°C .

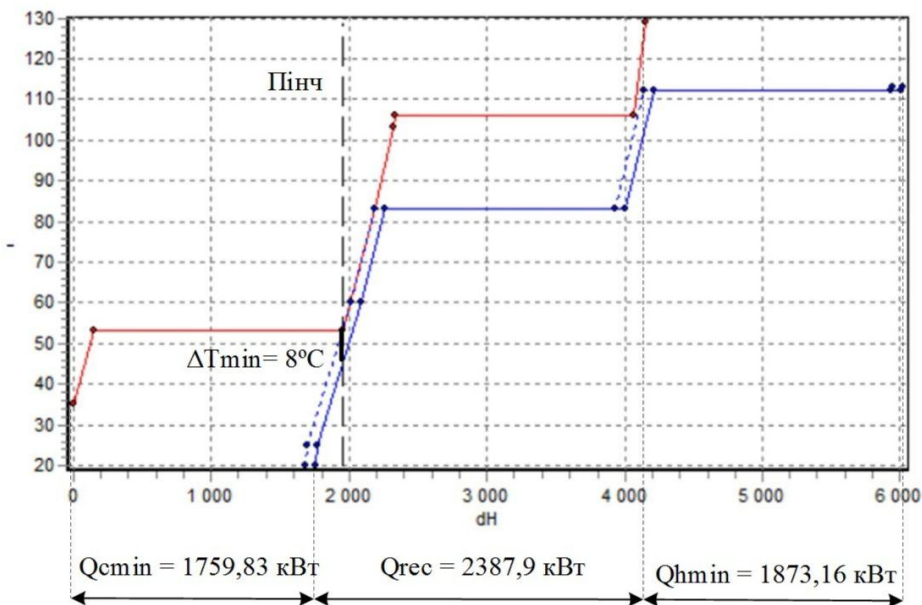


Рис. 2. Складені криві для інтеграції процесу випарювання розчину MgCl_2

На основі розташування точки пінча на складених кривих, отримано сіткову діаграму, і проведено розташування теплообмінників, користуючись N -правилами ($N_{in} \leq N_{out}$) та CP -правилами ($CP_{in} \leq CP_{out}$), рис.3. Для даної технологічної схеми випарювання існують деякі обмеження, що не дозволяють максимізувати

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

навантаження теплообмінників при розміщенні. А саме, виходячи з технологічних міркувань, температура потоку початкової суміші (потік № 6) після теплообмінника РТ1 не може перевищувати 100 °С, оскільки ця температура наближається до температури кипіння розчину. Тому було прийнято рішення не максимізувати теплове навантаження теплообмінника РТ1 і зменшити його теплове навантаження з 261,59 кВт до 210,72 кВт, тобто на 50,87 кВт. Це призвело до того, що потік № 1 (конденсат 1 корпусу) не віддає потрібне тепло, щоб досягти температури пінча, тобто замість 53 °С температура потоку № 1 після теплообмінника РТ1 склала 67,8 °С. У підсумку, ми маємо передачу тепла через пінч у кількості 50,87 кВт. Тому потребується збільшення потужності зовнішніх утиліт – і гарячих, і холодних на 50,87 кВт. Тобто, замість $Q_{Hmin}=1873,16$ кВт отримуємо 1924 кВт, замість $Q_{Cmin}=1759,83$ кВт отримуємо 1810,7 кВт. Теплове навантаження підігрівача Н1 збільшилось з 80,16 кВт до 131,03 кВт, охолоджувача з 1759,83 до 1810,7 кВт (рис.3). Отже, теплове навантаження охолоджувача відповідає тепловому навантаженню барометричного конденсатора, яке отримано при розрахунках.

Для встановлення на позиції рекуперативних теплообмінників РТ1-РТ8 та підігрівача Н1 було обрано пластинчаті теплообмінні апарати.

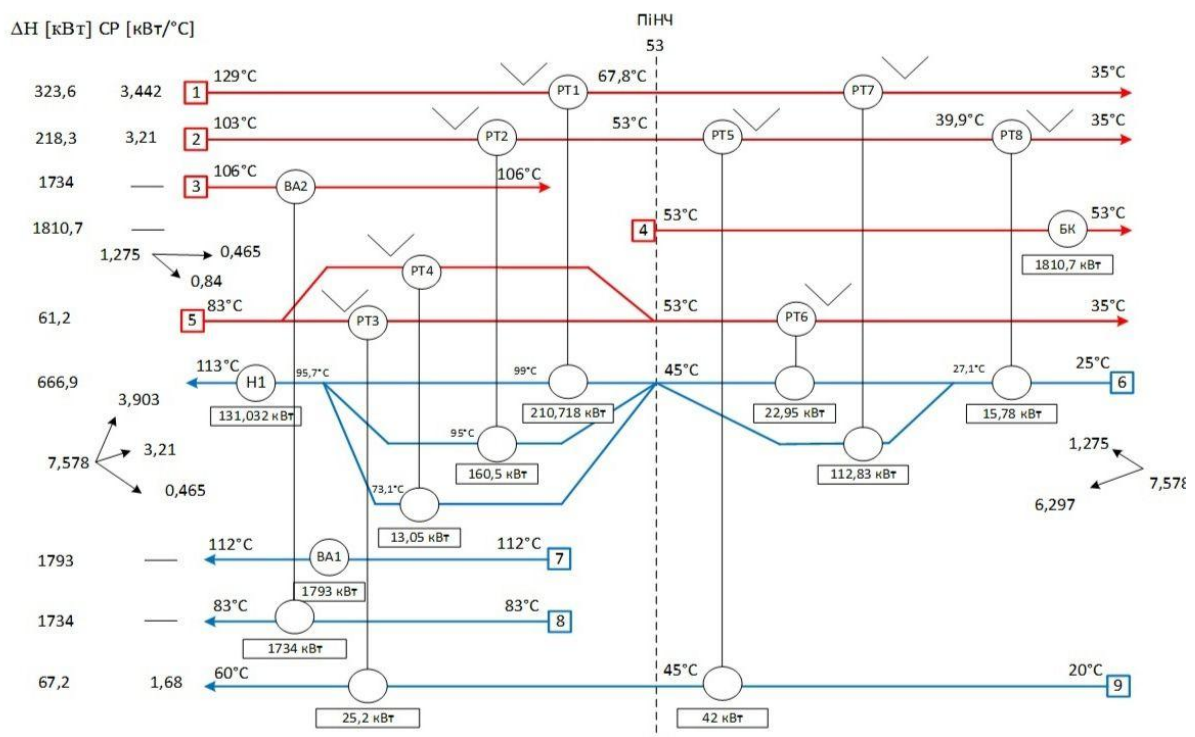


Рис. 3. Сіткова діаграма процесу випарювання хлориду магнію

Згідно сітковій діаграмі (рис.3), початковий розчин $MgCl_2$ (потік №6) подається до рекуперативного теплообмінника РТ8, де нагрівається до температури 27 °С теплом конденсату другого корпусу (потік №2). Потім потік початкового розчину розділяється на два потоки і потрапляє у рекуперативні теплообмінники РТ7 і РТ6, де нагрівається теплом конденсатів першого корпусу і теплом упареного розчину (потік №1 і 5) до 45 °С. Потім потоки об'єднуються і знов розділяються, після проходження пінча, але вже на три потоки. Ці потоки підігріваються у рекуперативних теплообмінниках РТ1, РТ2, РТ4 завдяки теплоті конденсатів першого і другого

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА БІОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

корпусів (потік №1 і 2), а також тепла упареного розчину (потік №5), який, в свою чергу, розділяється на два потоки. Потім початковий розчин (потік №6) об'єднується, і маючи температуру 96 °С остаточно підігрівається до цільової температури – температури кипіння 113 °С в підігрівачі Н1. Гарячою утилітою виступає грююча пара. З цього теплообмінника розчин надходить до 1-го корпусу випарної установки, де концентрується спочатку до 11%, а потім до 33% у другому корпусі. Вода на технічні потреби (потік № 9) підігрівається до цільової температури 60 °С у рекуперативних теплообмінниках РТ5 і РТ3 завдяки теплоті конденсатів 2 корпусу і теплу упареного розчину (потік №2 і 5). Вторинна пара першого корпусу випарної установки (потік № 3) використовується для обігріву другого корпусу випарної установки (потік № 8), що цілком відповідає принципу багатокорпусного випарювання. Для обігріву першого корпусу установки (потік № 7) використовується грююча пара ВА1. Вторинна пара з другого корпусу випарної установки (потік № 4) конденсується в барометричному конденсаторі БК.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Завдяки застосуванню рекуперації тепла і використанню тепла конденсатів першого і другого корпусів та кінцевого розчину, вдалось зменшити споживання гарячих і холодних утиліт у порівнянні із проведенням процесу випарювання за принциповою схемою. Отже, початкові значення споживання гарячих утиліт скоротились з початкових 2527,1 кВт до 1924 кВт, тобто на 603 кВт. Витрата пари, що гріє, згідно розрахунків, зменшиться з 4190 кг/год. до 3190 кг/год., тобто на 23,4 %. Кількість холодних утиліт зменшилась з 2413,8 кВт до 1810,7 кВт. Кількість тепла рекуперації збільшилась 1734 кВт до 2337,03 кВт після проведення інтеграції теплових потоків.

ВИСНОВКИ

1. Екстракція даних установки випарювання хлориду магнію вказала на можливість підвищення її енергоефективності.
2. З використанням методів пінч-аналізу були отримані цільові значення потужності зовнішніх утиліт для обраного значення ΔT_{\min} в теплообмінному обладнанні.
3. Інтеграція теплових потоків була проведена з урахуванням температурних обмежень, що призвело до незначного завищення цільових значень.
4. До встановлення було рекомендоване сучасне теплообмінне обладнання.
5. Економічна оцінка проекту показала його економічну доцільність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Таубман Е. И. Выпаривание. М.: Химия, 1982. – 327 с.
2. Данилов Ю. Б., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., ПЕРЦЕВ Л. П. Пластинчатый выпарный аппарат. Патент на винахід, №88836, бюл.22, 2009.
3. Данилов Ю. Б., Быканов С. Н., Гапонова Е. А., Нагорный А. О., Русинов О. И. Интенсивные и энергосберегающие выпарные аппараты с пластинчатой греющей камерой. // Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ». Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 35. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – С. 38-44.
4. Смит Р., Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., Капустенко П. А., Ульєв Л. М. Основы интеграции тепловых процессов. Харьков: НТУ «ХПІ». 2000. – 456с.
5. Быканов С. Н., Горбунов К. А., Горбунова О. В. Ким А. Е. Тепловая интеграция процесса выпаривания едкого натра. // Интегрированные технологии и энергосбережение.– Харьков.– НТУ «ХПІ». 2016. №3.– С. 9–14.