

Биканов С.М.¹, к.техн.н., доцент, Бабак Т.Г.¹, доцент,
Данилов Ю.Б.¹, д.техн.н., професор, Биканова В.В.², к.техн.н., наук. співроб.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПІНЧ-АНАЛІЗУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕПЛОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ ХЛОРИДУ МАГНІЮ

¹ *Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
Харків, Україна*

² *ДУ «НІОХІМ», Харків, Україна*

Ключові слова: тепла інтеграція, пінч-аналіз, гарячі утиліти, складені криві, рекуперативні теплообмінники, рекуперація, випарювання.

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, при виробництві бішофіту. Прикладом застосування випарювання в харчовій промисловості може бути випарювання при отриманні цукру, переробці плодів і ягід [1–4]. Як відомо, випарювання речовин супроводжується великими енергетичними затратами. Щоб підтримувати процес кипіння розчину, потрібно підводити велику кількість тепла. Наприклад, при проведенні випарювання в однокорпусному випарному апараті, для випарювання 1 кг води затрати гріючого пару складають 1,1–1,25 кг/(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 вторинний пар попереднього корпусу є гріючим для наступного. Інший засіб це вдосконалення конструкцій самих випарних апаратів, завдяки чому збільшуються коефіцієнти теплопередачі і підвищується інтенсивність кипіння розчину, що сприяє зменшенню витрат гріючого пару. Одним із прикладів такого вдосконалення є застосування випарних апаратів з пластинчастою гріючою камерою [5,6]. 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 [7–11]. Раніше було показано проведення такої теплової інтеграції на прикладі трьохкорпусної установки по випарюванню їдкою натрію [12]. В цій статті автори намагаються показати проведення теплової інтеграції процесу випарювання на прикладі двохкорпусній випарній установці по випарюванню хлориду магнію.

Теплова інтеграція процесу випарювання. Отже, за основу для проведення теплової інтеграції і розрахунків була взята принципова технологічна схема 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 % масс. Тиск гріючої пари у першому корпусі було прийнято 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 E1 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, упареного розчину для підігріву початкової суміші, а також

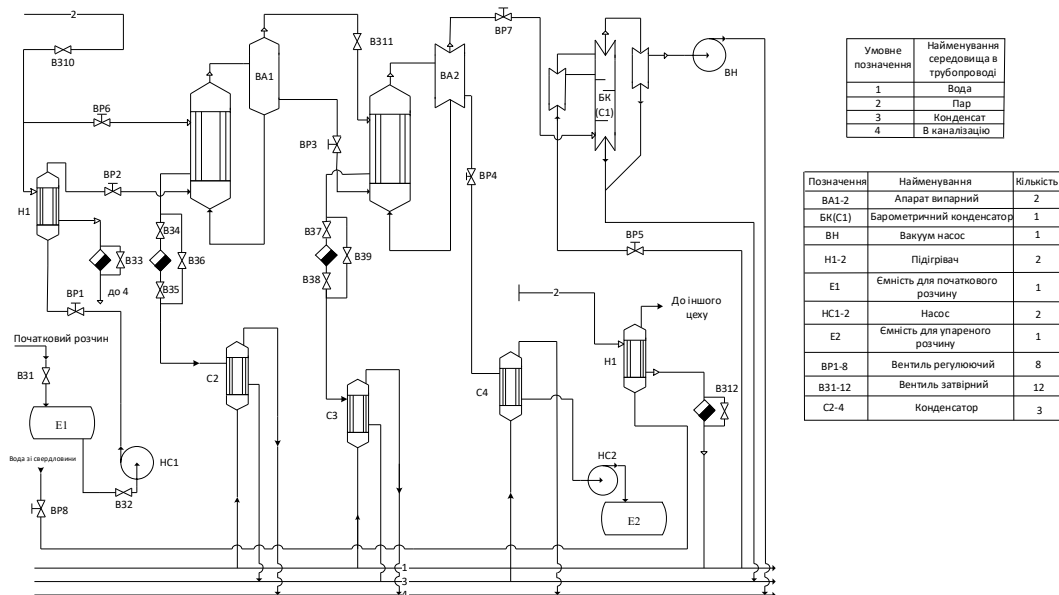


Рисунок 1 – Принципова технологічна схема процесу випарювання хлориду магнію

Таблиця 1 – Таблиця з поточковими даними для інтеграції процесу випарювання

№	Потік	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_T, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$C, \text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	$CP, \text{кВт/К}$	$r, \text{кДж/кг}$	$\Delta H, \text{кВт}$
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

Для отримання потокових даних проводимо розрахунок випарної установки на основі рівнянь матеріального і теплового балансу. Внаслідок розрахунків отримаємо витрату води, що випарюється по корпусам (W_1, W_2), температури вторинних і гріючих парів, теплове навантаження корпусів установки, теплоємності потоків.

Для теплової інтеграції згідно технологічної схеми (рис. 1), обираємо дев'ять технологічних потоків: п'ять гарячих і чотири холодних. 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 представмо у потоковій таблиці 1.

В таблиці наведено початкові і кінцеві температури технологічних потоків які узяті 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), теплове навантаження потоків (ΔH , кВт). Витрати, температури, теплоємності та питомі теплоти пароутворення потоків розраховано за матеріальним і тепловим балансом ВУ. Потокові теплоємності та теплове навантаження потоків розраховуємо за формулою [7]:

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

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

Для даної схеми на основі техніко-економічних розрахунків було обрано мінімальну температурну різницю в теплообмінному обладнанні $\Delta T_{min} = 8^\circ C$. 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 рекуперации 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 $53^\circ C$, холодних $45^\circ C$.

На основі розташування точки пінча на складених кривих, отримуємо сіткову діаграму, і приступаємо до 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 навантаження теплообмінників при розміщенні. А саме, виходячи з технологічних міркувань, температура потоку початкової суміші (потік № 6) після теплообмінника РТ1 не потрібна перевищувати $100^\circ C$, 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 $53^\circ C$ температура потоку № 1 після теплообмінника РТ1 склала $67,8^\circ C$. У підсумку, ми маємо передачу тепла через пінч у кількості $50,87$ кВт [7,11]. Це призвело до 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 БК з $1759,83$ до

1810,7 кВт (рис. 3). Отже, теплове навантаження охолоджувача відповідає тепловому навантаженню барометричного конденсатора, яку отримано при розрахунках.

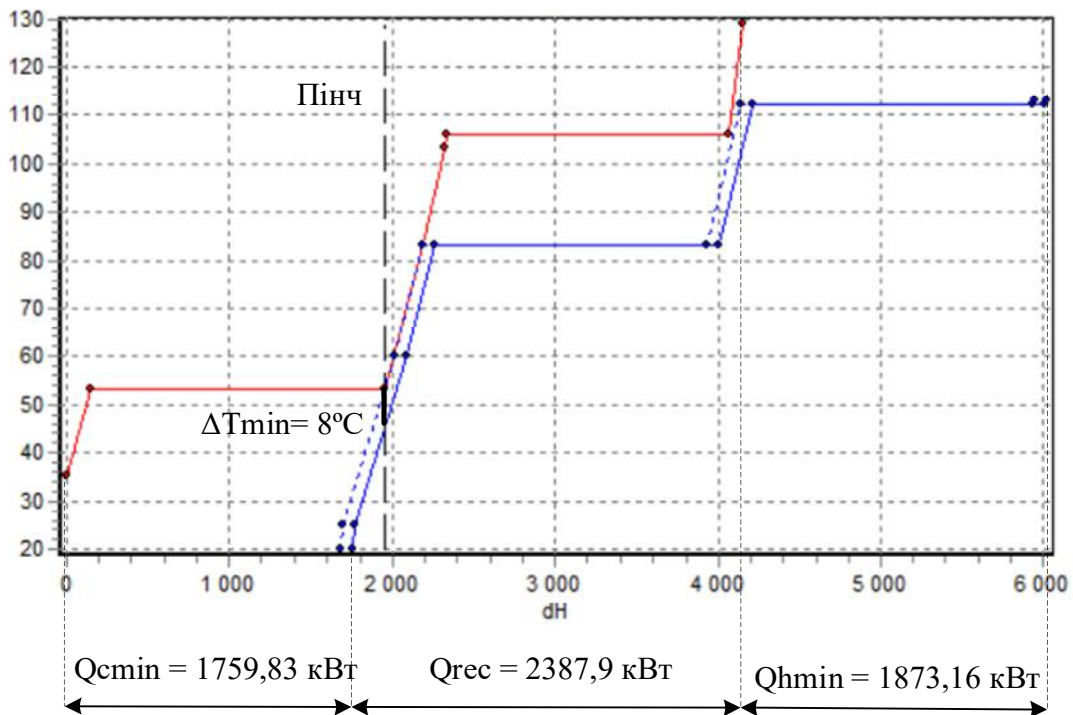


Рисунок 2 – Складені криві для інтегрованого процесу випарювання розчину $MgCl_2$

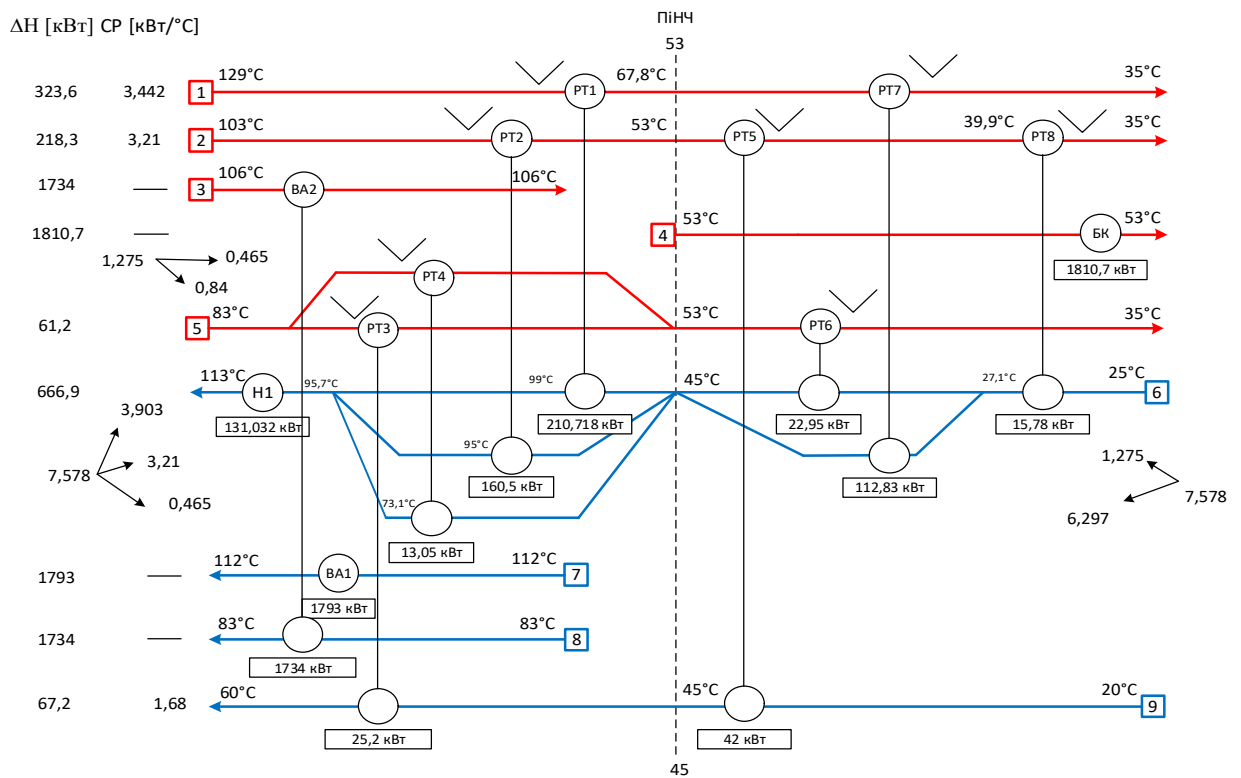


Рисунок 3 – Сіткова діаграма процесу випарювання хлориду магнію після реконструкції

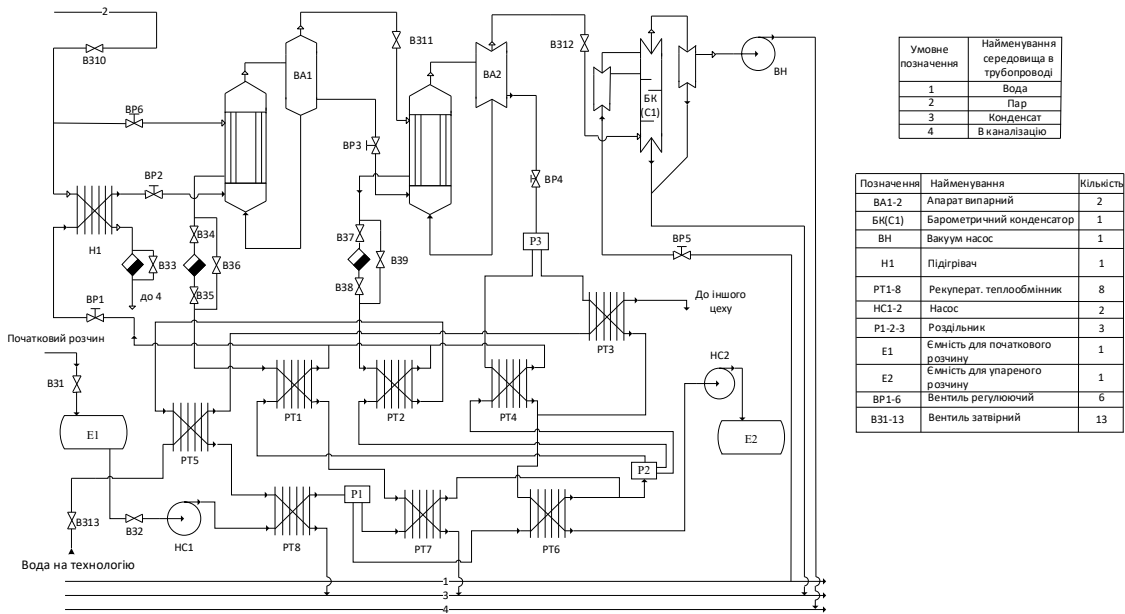


Рисунок 4 – Технологічна схема випарювання хлориду натрію після реконструкції

В результаті отримуємо, що для реалізації заданих цільових значень гарячих і холодних утиліт необхідно 8 рекуперативних теплообмінників (РТ1-РТ8), 2 підігрівача (Н1, ВА1), один охолоджувач (БК). У якості підігрівача використовуємо пластинчастий теплообмінник Н1 та перший корпус випарного апарату, який обігрівється гріючим паром. У якості охолоджувача виступає барометричний конденсатор. Отже, в цієї частині, принципова технологічна схема випарювання не зазнала змін. Але, завдяки використуванню тепла конденсатів та кінцевого розчину, схема дещо змінюється.

На основі сіткової діаграми створюємо інтегровану технологічну схему випарювання хлориду магнію, яка наведена на рис. 4. Згідно цієї схеми, початковий розчин $MgCl_2$ з ємності Е1 насосом подається до рекуперативного теплообмінника РТ8, де нагрівається до температури 27 °С теплом конденсату другого корпусу. Потім потік початкового розчину розділяється на два потоки у розподільвачу Р1 і потрапляє у рекуперативні теплообмінники РТ7 і РТ6, де нагрівається теплом конденсатів першого корпусу і теплом упареного розчину до 45 °С. Потім потоки об'єднуються і знов розділяються, але вже на три потоки у розподільвачу Р2 і підігріваються у рекуперативних теплообмінниках РТ1, РТ2, РТ4 завдяки теплоті конденсатів першого і другого корпусів, а також тепла упареного розчину, який, в свою чергу, розділяється у розподільвачу Р3 на два потоки. Потім початковий розчин об'єднується, і маючи температуру 96 °С остаточно підігрівається до температури кипіння 113 °С в підігрівачі Н1. Гарячою утилітою виступає гріючий пар. З цього теплообмінника розчин надходить до 1-го корпусу випарної установки, де концентрується спочатку до 11 %, а потім до 33 %.

Перший корпус обігрівється гріючим паром, а другий – вторинним паром з першого корпусу, як і в принциповій схемі випарювання. З другого корпусу виходить випарений розчин, який охолоджується до 35 °С у теплообмінниках РТ3, РТ4 та РТ6 і насосом відправляється до ємності Е2. Вода на технічні потреби підігрівається до цільової температури 60 °С в рекуперативних теплообмінниках РТ5 і РТ3 завдяки теплоті конденсату з другого корпусу і кінцевого розчину. Для реалізації подібної схеми обира-

ємо пластинчасті рекуперативні теплообмінники РТ1–РТ8, і пластинчастий підігрівач Н1. Інше обладнання залишається незмінним.

Висновки. 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 $Q_H=2527,1$ кВт до $Q_{Hmin}=1924$ кВт, тобто на 603 кВт. У якості гарячої утиліти використовується грюючий пар. Витрата грюючої пари, згідно розрахунків, зменшилась з 4190 кг/год до 3190 кг/год, тобто на 23 %. Кількість холодних утиліт зменшилась з $Q_C=2413,8$ кВт до $Q_{Cmin}=1810,7$ кВт, тобто на 603 кВт. Кількість тепла рекуперації збільшилась з $Q_{REC}=1734$ кВт до інтеграції до $Q_{REC}=2337,03$ кВт після проведення інтеграції. Для досягнення такого результату потрібно встановити 8 рекуперативних теплообмінників РТ1–РТ8 і один підігрівач Н1, встановити три розподільвачі потоків (Р1-Р3), застосувати необхідні засоби автоматизації, прокласти додаткові трубопроводи. Все це потребує матеріальних затрат. Однак, проведення теплової інтеграції процесу випарювання хлориду магнію, нарешті, приведе до зменшення енерговитрат при проведенні процесу. За розрахунками, строк окупності інтегрованої технологічної схеми випарювання хлориду магнію у порівнянні із проведенням цього процесу за принциповою схемою випарювання, складає від 1,5 до 2 років.

Література

1. Таубман Е.И. Выпаривание. – М.: Химия, 1982. – 327 с.
2. Коваленко С.С., Казанов А.Н., Шибитова Н.В. Выбор оборудования на стадии выпаривания бишофита. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 7 (часть 3) С. 516–517.
3. Штангеев В.О., Кобер В.Т., Белостоцкий Л.Г. и др.. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. – К.: Цукор Украины, 2004 г. – 320 с.
4. А. Емельянов, К. Емельянов. Выпаривание соков прямого отжима в вакууме. – Palmarium – 2012 г. – 316 с.
5. Данилов Ю.Б., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Перцев Л.П. Пластинчатый выпарный аппарат. Патент на винахід, №88836, бюл.22, 2009.
6. 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 «ХП». – Харків: НТУ «ХП», 2018 – № 35. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія – С. 38–44.
7. Смит Р., Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов.– Харьков: НТУ «ХПИ». 2000.–456 с.
8. Smith R. Chemical Process Design and Integration. Chichester. McGraw-Hill, John Wiley and Sons Ltd. 2005. 687 p.
9. Kemp Ian C. Pinch Analysis and Process Integration. – OXFORD. Elsevier Ltd. 2007. 396 p.
10. Introduction to Pinch Technology <https://www.ou.edu/class/chedesign/a-design/Introduction%20to%20Pinch%20Technology-LinhoffMarch.pdf>.
11. Мешалкин В.П., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., Капустенко П.А. Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем. Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. 412 с.

12. Быканов С.Н., Горбунов К.А., Горбунова О.В., Ким А.Е. Тепловая интеграция процесса выпаривания едкого натра. // Интегрированные технологии и энергосбережение.– Харьков.– НТУ «ХПИ».– 2016.– №3.– С. 9–14.

Bibliography (transliterated)

1. Taubman E.I. Vyiparivanie. – M.: Himiya, 1982. – 327 p.
2. Kovalenko S.S., Kazanov A.N., Shibitova N.V. Vyibor oborudovaniya na stadii vyiparivaniya bishofita. // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnih i fundamentalnyih issledovaniy. – 2016. – # 7 (chast 3) P. 516–517.
3. Shtangeev V.O., Kober V.T., Belostotskiy L.G. i dr.. Sovremennyye tehnologi i oborudovanie sveklosaharnogo proizvodstva. – K.: Tsukor Ukrainyi, 2004 g. – 320 p.
4. A. Emelyanov, K. Emelyanov. Vyiparivanie sokov pryamogo otzhima v vakuume. – Palmarium – 2012 g. – 316 p.
5. Danilov Yu.B., Tovazhnyanskyy L.L., Pertsev L.P. Platinchatiy viparniy aparat. Patent na vinahid, #88836, byul.22, 2009.
6. Danilov Yu.B., Byikanov S.N., Gaponova E.A., Nagornyy A.O., Rusinov O.I. Intensivnyie i energosberegayuschie vyiparnyye apparaty s platinchatoy greyushey kame-roy. // Visnik Natsionalnogo Tehnichnogo Universitetu «HPI». – Harkiv: NTU «HPI», 2018 – # 35. Seriya: Himiya, himichna tehnologiya ta ekologiya – P. 38–44.
7. Smit R., Klemesh Y., Tovazhnyanskyy L.L., Kapustenko P.A., Ulev L.M. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov.– Harkov: NTU «HPI». 2000.–456 p.
8. Smith R. Chemical Process Design and Integration. Chichester. McGraw-Hill, John Wiley and Sons Ltd. 2005. 687 p.
9. Kemp Ian C. Pinch Analysis and Process Integration. – OXFORD. Elsevier Ltd. 2007. 396 p.
10. Introduction to Pinch Technology <https://www.ou.edu/class/chedesign/a design/Introduction to Pinch Technology-LinhoffMarch.pdf>.
11. Meshalkin V.P., Tovazhnyanskyy L.L., Kapustenko P.A. Osnovyi teoriiy resursosberegayuschiy integriruvannyiy himiko-tehnologicheskoy sistem. Harkov: NTU «HPI», 2006. 412 p.
12. Byikanov S.N., Gorbunov K.A., Gorbunova O.V., Kim A.E. Teplovaya integratsiya protsessu vyiparivaniya edkogo natra. // Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie.– Harkov.– NTU «HPI».– 2016.– #3.– P. 9–14.

УДК 658.28:665.63

Биканов С.М., Бабак Т.Г., Данилов Ю.Б., Биканова В.В.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПІНЧ-АНАЛІЗУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕПЛОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ ХЛОРИДУ МАГНІЮ

Проведено теплову інтеграцію процесу випарювання хлориду магнію з використанням методу пінч-аналізу. Сформовано таблицю з потоковими даними для інтеграції процесу випарювання на основі розрахунків матеріального і теплового балансу процесу. Для проведення теплової інтеграції обрано п'ять гарячих і чотири холодних потоків. Гарячі потоки: конденсати з першого і другого корпусів, вторинні пари з першого і

другого корпусів, упарений розчин. Холодні потоки: початковий розчин, розчин, що випаровується у першому і другому корпусах, вода на технічні потреби. Побудовано складені криві потоків, які отримані для обраного значення мінімальної різниці температур, визначено цільові енергетичні значення гарячих і холодних утиліт. Встановлено, що температура пінча гарячих потоків дорівнює 53 °С, холодних 45 °С. Отримано сіткову діаграму, на якій розташовано теплообмінники, користуючись N-правилами та CP-правилами. Виходячи з технологічних міркувань, а саме, з температурних обмежень для початкової суміші, температура якої має не наближуватися до температури кипіння в жодному з потоків, що з'явилися в результаті розщеплення, прийняте рішення щодо переносу тепла через пінч потужністю 50,87 кВт, що призводить до зміни потужності зовнішніх утиліт. Розраховано, що в результаті проведення теплової інтеграції, значення споживання гарячих утиліт скоротились з початкових $Q_H=2527,1$ кВт до $Q_{Hmin}=1924$ кВт, тобто на 603 кВт. Витрата греючої пари, згідно розрахунків, зменшено на 23 % у порівнянні з проведенням процесу за принциповою схемою. Показано, що теплове навантаження охолоджувача відповідає тепловому навантаженню барометричного конденсатора, яку отримано при розрахунках. Розраховано, що кількість тепла рекуперації збільшилась з $Q_{REC}=1734$ кВт до інтеграції до $Q_{REC}=2337,03$ кВт після проведення інтеграції. Встановлено, що для реалізації заданих цільових значень гарячих і холодних утиліт необхідно встановити вісім рекуперативних теплообмінників і один підігрівач. На основі сіткової діаграми отримано інтегровану технологічну схему випарювання хлориду магнію, яка забезпечує необхідну рекуперацію тепла.

Ключові слова: теплова інтеграція, пінч-аналіз, гарячі утиліти, складені криві, рекуперативні теплообмінники, рекуперація, випарювання.

Быканов С.Н., Бабак Т.Г. Данилов Ю.Б., Быканова В.В.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПИНЧ-АНАЛИЗА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕГРАЦИИ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ ХЛОРИДА МАГНИЯ

Проведена тепловая интеграция процесса выпаривания хлорида магния с использованием метода пинч-анализа. Сформирована таблица с потоковыми данными для интеграции процесса выпаривания на основе расчетов материального и теплового балансов процесса. Для проведения тепловой интеграции выбраны пять горячих и четыре холодных потоков. Горячие потоки: конденсаты первого и второго корпусов, вторичный пар первого и второго корпусов, упаренный раствор. Холодные потоки: исходный раствор, раствор, выпаривающийся в первом и втором корпусах, вода на технические нужды. Построены составные кривые потоков, которые получены для выбранного значения минимальной разности температур, определены целевые энергетические значения горячих и холодных утилит. Установлено, что температура пинча горячих потоков составляет 53 °С, холодных 45 °С. Построена сеточная диаграмма, на которой, пользуясь N-правилами и CP-правилами, размещены теплообменники. Исходя из технологических соображений, а именно, исходя из температурных ограничений для исходной смеси, температура которой не должна приближаться к температуре кипения в каждом из потоков, которые образовались в результате расщепления, принято решение о переносе тепла через пинч в количестве 50,87 кВт. Это привело к изменению количества внешних утилит. Рассчитано, что в результате проведения тепловой интеграции, значения потребления горячих утилит уменьшились от первоначальных $Q_H=2527,1$ кВт до $Q_{Hmin}=1924$ кВт, то есть на 603 кВт. Расход греющего пара, согласно расчетам, умень-

шился на 23 % в сравнении с проведением процесса по принципиальной схеме. Показано, что тепловая нагрузка холодильника отвечает тепловой нагрузке барометрического конденсатора, которая получена при расчетах. Рассчитано, что количество тепла рекуперации увеличилось от $Q_{\text{REC}}=1734$ кВт до интеграции до $Q_{\text{REC}}=2337,03$ кВт после проведения интеграции. Установлено, что для реализации заданных целевых значений горячих и холодных утилит необходимо установить восемь рекуперативных теплообменников и один подогреватель. На основе сеточной диаграммы получена интегрированная технологическая схема выпаривания хлорида магния, которая обеспечивает необходимую рекуперацию тепла.

Ключевые слова: тепловая интеграция, пинч-анализ, горячие утилиты, составные кривые, рекуперативные теплообменники, рекуперация, выпаривание.

Bykanov S.N., Babak T.G., Danilov Yu.B., Bykanova V.V.

APPLICATION OF THE PINCH-ANALYSIS METHOD IN A THERMAL INTEGRATION OF THE MAGNESIUM CHLORIDE VAPORIZING PROCESS

The thermal integration of the evaporation of magnesium chloride was carried out using the pinch analysis method. A table with streaming data has been generated to integrate the evaporation process based on calculations of the material and thermal balances of the process. Five thermal and four cold flows were selected for thermal integration. Hot flows are: condensates of the first and second frames, secondary steam of the first and second frames, one stripped off solution. Cold flows are: initial solution, solution evaporated in the first and second frames, water for technical needs. Composite flow curves are constructed, which are obtained for the selected value of the minimum temperature difference, the target energy values of hot and cold utilities are determined. It has been established that the pinch temperature of hot flows is 53 °C, and for cold flows is 45 °C. A grid diagram is constructed where heat exchangers are placed, using the N and CP rules. A decision was made to transfer heat through the pinch in the amount of 50,87 kW. It based on technological considerations, namely, on the temperature restrictions for the initial mixture, the temperature of which should not approach the boiling point in each of the streams that were formed as a result of splitting,. This has led to a change in the number of external utilities. It is calculated that as a result of thermal integration, the consumption values of hot utilities decreased from the initial $Q_{\text{H}}=2527,1$ kW to $Q_{\text{Hmin}}=1924$ kW, i.e. by 603 kW. According to calculations the consumption of heating steam decreased by 23 % in comparison with the process according to the principle scheme. It is shown that the thermal load of the refrigerator corresponds to the thermal load of the barometric capacitor, which was obtained in the calculations. It is estimated that the amount of heat of recovery has increased for $Q_{\text{REC}}=1734$ kW before integration to $Q_{\text{REC}}=2337,03$ kW after integration. It was established that in order to realize the set target values of hot and cold utilities, it is necessary to install eight recuperative heat exchangers and one heater. Based on the grid diagram, an integrated technological scheme for the evaporation of magnesium chloride was obtained, which provides the necessary heat recovery.

Key words: thermal integration, pinch analysis, hot utilities, composite curves, recuperative heat exchangers, recovery, evaporation.