

УДК 612.461.2

Ульєв Л.М., Шумакова О.А., Варбанов П.С., Шпилька В.Н.

УВЕЛИЧЕНИЕ МОЩНОСТИ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА КАРБАМИДА

В условиях роста стоимости энергии производственные предприятия постоянно ищут более разумные и рациональные пути использования уже имеющихся в их распоряжении энергетических ресурсов. Одним из таких путей является утилизация тепла. Под влиянием топливного кризиса начала 1970-х годов предприятия с большим уровнем энергопотребления стали заниматься оценкой общего энергетического баланса и изыскивать потенциальные возможности экономии энергии.

Ежегодные затраты на оплату энергии для крупного химического или нефтеперерабатывающего завода могут превышать 100 млн. евро. При осуществлении инвестиций в модернизацию (включая систему управления энергопотреблением), по самой осторожной оценке, экономия энергии может составить 10 % при сроке окупаемости затрат менее трех лет [1].

Повышение эффективности использования энергии – обычно наиболее дешевый, быстрый и экологически безопасный способ справиться с энергетическими потребностями во всем мире. Повышенная эффективность использования энергии снижает потребность в инвестировании в новые ее источники. Таким образом, решения по повышению эффективности использования энергии будут приносить прибыль, и они будут и в дальнейшем окупать себя на протяжении всего срока эксплуатации за счет уменьшения расходов на энергоснабжение.

Системный подход к управлению энергопотреблением в промышленности сможет помочь в принятии верного решения и осуществлении инвестиций. Кроме того, методы анализа, позволяющие определить конкретные места размещения и оптимизировать характеристики оборудования для утилизации тепла, в настоящее время настолько хорошо разработаны, что нет причин их не использовать.

Пинч-анализ является основным способом определения мест технологического процесса производства, в которых можно минимизировать уровень энергопотребления. Использование этого метода позволяет снизить удельное энергопотребление на 30–50 % и значительно снизить капитальные затраты при создании новых предприятий [2].

Выбрать наиболее приемлемый для предприятия способ утилизации тепла не так просто. При проведении различных химических технологических процессов имеется ряд потоков, подлежащих нагреву, и ряд – охлаждению. Необходимо обеспечить максимальную степень утилизации тепла, чтобы сэкономить энергию и уменьшить размеры систем вспомогательного обеспечения.

В процессе производства карбамида имеется 14 потоков энергии различного типа (табл. 1). Наличие способа, позволяющего рассчитать и правильно организовать процесс теплообмена между этими потоками, является ключевым моментом в деле энергосбережения. В таблице 1 представлены основные параметры технологического процесса: начальная и конечная температуры (T_S и T_T , °C), теплота парообразования (r , кДж /кг), потоковая теплоемкость (CP , кВт/К) и нагрузка на поток (ΔH , кВт).

В работе [3, 4], в результате исследования технологической схемы и построения сеточной диаграммы существующего процесса была рассчитана тепловая мощность рекуперативных теплообменных аппаратов, которая составила 1118,9 кВт.

С помощью программного обеспечения, входящего в состав пакета PINCH 2.02, которое базируется на основных принципах и правилах пинч-анализа [4], построим составные кривые для технологических потоков, представленных в табл. 1. Расположение кривых должно быть таким, чтобы интервал перекрытия между ними составлял рассчитанную величину рекуперации мощности.

Составные кривые существующей установки процесса производства карбамида отображены на рис. 1.

На рисунке 1 видно, что при $\Delta T_{\min} = 74$ °C мощность рекуперации $Q_{Rec} = 1118,9$ кВт. Для того чтобы нагреть холодные потоки нужно подвести тепловую энергию, равную 8219,1 кВт (Q_{Hmin}), соответственно для охлаждения горячих потоков отвести тепловую энергию, равную 64697 кВт (Q_{Cmin}). Для этого предприятие тратит каждый год 5434900 долл. США, из них 3041100 долл. США на горячие утилиты и 2393800 долл. США на холодные утилиты.

Чтобы оптимально интегрировать процесс производства грануляции, выясним наиболее важные экономические показатели, которые влияют на приведенную стоимость выполненного проекта.

Во-первых, внедрение проекта предприятие несет капитальные вложения, которые связаны, прежде всего, с закупкой оборудования и его монтажом.

Таблица 1 – Система потоков для анализа энергопотребления процесса производства карбамида

| № | Название потока | Тип | $T_s, ^\circ\text{C}$ | $T_T, ^\circ\text{C}$ | $r,$ кДж/кг | $CP,$ кВт/К | $\Delta H,$ кВт |
|-----|------------------------------------|-----|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|--------------------|
| 1 | Реакционная смесь из R-201 | гор | 183 | 160 | | 48,7 | 1120,1 |
| 2.1 | Конденсация газов из R-201 | гор | 183 | 183 | 1563 | | 5693 |
| 2.2 | Газы из R-201 | гор | 183 | 68,7 | | 9,38 | 1072,1 |
| 3.1 | Конденсация газовой смеси из R-201 | гор | 102,9 | 102,9 | 1357 | | 5642 |
| 3.2 | Газовая смесь из R-201 | гор | 102,9 | 68,4 | | 6,41 | 217,3 |
| 4 | Теплота абсорбции из C-304 | гор | 59,4 | 40 | | 11 | 213,4 |
| 5 | Пары аммиака в E-701 | гор | 90,3 | 42 | | 1,84 | 88,9 |
| 6.1 | Соковый пар в E-702 | гор | 129,8 | 100 | | 8,16 | 243,17 |
| 6.2 | Конденсация сокового пара | гор | 100 | 100 | 3839 | | 16507,7 |
| 6.3 | Соковый конденсат в E-702 | гор | 100 | 42 | | 149,47 | 8669,26 |
| 7.1 | Соковый пар в E-703 | гор | 133,8 | 100 | | 4,88 | 189,34 |
| 7.2 | Конденсация сокового пара | гор | 100 | 100 | 3832 | | 9809,2 |
| 7.3 | Соковый конденсат в E-703 | гор | 100 | 40 | | 90,98 | 5458,8 |
| 8.1 | Соковый пар в E-704 | гор | 109 | 100 | | 2,46 | 22,14 |
| 8.2 | Конденсация сокового пара | гор | 100 | 100 | 3794 | | 4932,2 |
| 8.3 | Соковый конденсат в E-704 | гор | 100 | 42 | | 44,71 | 2593,18 |
| 9.1 | Соковый пар в E-705 | гор | 116,5 | 100 | | 1,02 | 16,83 |
| 9.2 | Конденсация сокового пара | гор | 100 | 100 | 4037 | | 2179,98 |
| 9.3 | Соковый конденсат в E-705 | гор | 100 | 40 | | 18,84 | 1130,4 |
| 10 | Диоксид углеводорода | хол | 100 | 180 | | 13,97 | 1117,6 |
| 11 | Реакционная смесь в R-201 | хол | 106,8 | 167,3 | | 81,49 | 4930,15 |
| 12 | Разложение карбамата | хол | 110,4 | 135 | | 54,53 | 1341,44 |
| 13 | Раствор карбамиду на 1 ст | хол | 90,3 | 130 | | 42,64 | 1692,81 |
| 14 | Раствор карбамиду на 2 ст | хол | 130 | 140 | | 23,95 | 239,5 |

Капитальную стоимость одного теплообменного аппарата можно определить выражением [5–7]:

$$\text{Кап. стоимость} = A_T + B_T \cdot S^c$$

где A_T – стоимость установки одного теплообменного аппарата, $A_T = 20000$ долл. США; B_T – коэффициент, эквивалентный стоимости 1 м² площади поверхности теплообмена, $B_T = 2000$ долл. США; S – площадь поверхности теплообмена; c – коэффициент, отражающий нелинейную зависимость стоимости теплообменника от величины его поверхности, $c = 0,87$.

Во-вторых, необходимо учесть затраты на энергию.

Стоимость горячих утилит, использованных в процессе, примем равной 370 долл. США за 1 кВт год, с учетом того, что в году 8000 рабочих часов. Стоимость холодных утилит принимаем на порядок меньшей, то есть 0,1 стоимости горячих утилит, что дает значения 37,0 долл. США за 1 кВт год.

Расчет дисконтированных величин стоимостей проекта позволяет определить значение оптимальной разности температур между теплоносителями в будущей системе рекуперации тепловой, а также рассчитать минимальные затраты на проектирование (рис. 2).

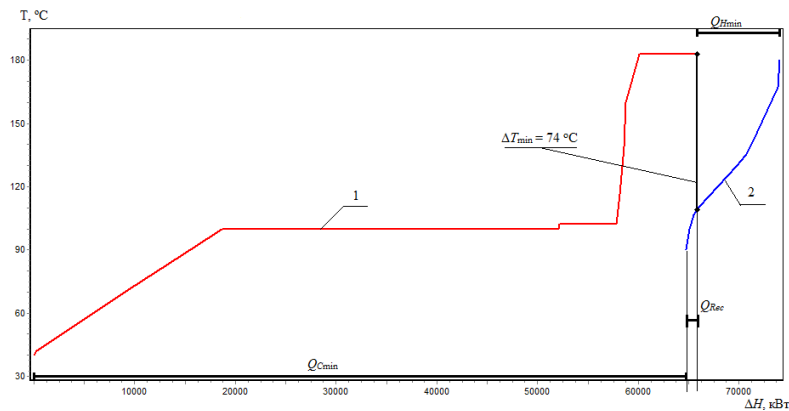


Рисунок 1 – Составные кривые существующего процесса производства карбамида
 1, 2 – составные кривые горячих и холодных технологических потоков;
 Q_{Hmin} – целевая величина горячих утилит; Q_{Cmin} – целевая величина холодных утилит;
 Q_{Rec} – мощность рекуперации

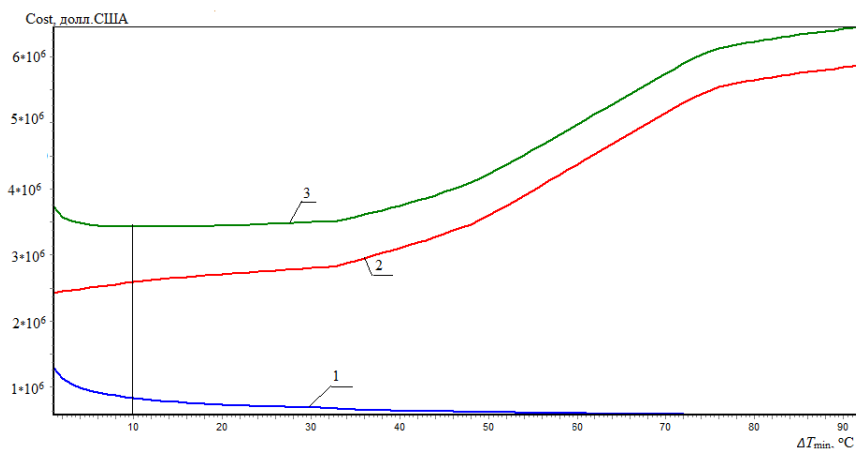


Рисунок 2 – Стоимостные кривые
 1 – инвестиции в оборудование, 2 – затраты на энергию, 3 – общая стоимость

Анализ области локализации ΔT_{min} показывает нам, что при выборе величины $\Delta T_{min} = 10$ °C теплообменная система существующего процесса будет работать в экономически оптимальном режиме, минимальные затраты на проектирования составят 3427000 долл. США.

Сдвинутые технологические потоки интегрированного процесса при $\Delta T_{min} = 10$ °C представлены на рис. 3.

На рисунке 3 видно, что при $\Delta T_{min} = 10$ °C мощность рекуперации $Q_{Rec} = 7526,46$ кВт. Для того чтобы нагреть холодные потоки нужно подвести тепловую энергию, равную 1232,7 кВт (Q_{Hmin}), соответственно для охлаждения горячих потоков отвести тепловую энергию, равную 2591400 кВт (Q_{Cmin}). Для этого предприятие тратит каждый год 2591400 долл. США, из них 456080 долл. США на горячие утилиты и 2135300 долл. США на холодные утилиты.

Наглядно энергосберегающий потенциал процесса приведен в таблице 2.

Эффективность работы интегрированного процесса производства гранулированного карбамида оценивается не только чисто экономическими показателями. К факторам эффективности необходимо отнести такие показатели как влияние производства на окружающую среду [8], т.е. экологический фактор, факторы надежности и технологической безопасности, простоту контроля технологических линий и управления процессами, а также гибкость используемого способа производства по отношению к внешним и внутренним возмущающим воздействиям.

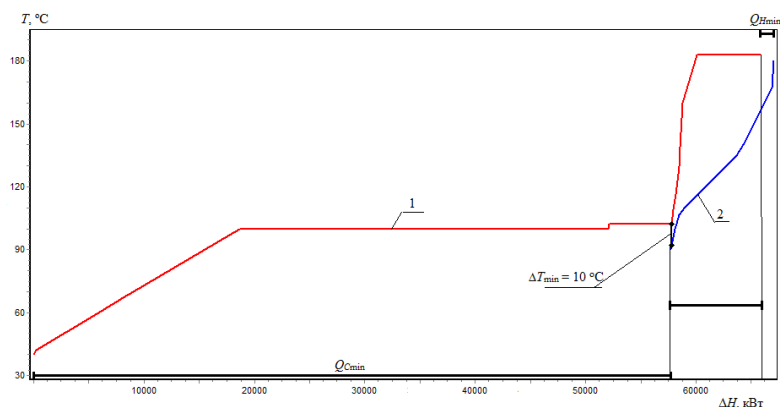


Рисунок 3 – Составные кривые интегрированного процесса производства карбамида
 1, 2 – составные кривые горячих и холодных технологических потоков;
 Q_{Hmin} – целевая величина горячих утилит; Q_{Cmin} – целевая величина холодных утилит;
 Q_{Rec} – мощность рекуперации

Таблица 2 – Сравнение энергетической эффективности до и после интеграции

| Основные параметры: | Существующий процесс | Интегрированный процесс | Уменьшение энергопотребление |
|----------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------------|
| $\Delta T_{min}, ^\circ C$ | 74 | 10 | – |
| $Q_{Rec}, кВт$ | 1118,9 | 7526,46 | – |
| $Q_{Hmin}, кВт$ | 8219,1 | 1232,7 | на 15% |
| $Q_{Cmin}, кВт$ | 64697 | 57711 | на 89 % |
| Затраты на энергию, долл. США | 5434900 | 2591400 | в 2,1 раза |

Выводы и перспективы дальнейшего развития данного направления. При обследовании процесса производства карбамида до поступления на грануляцию были выявленные существенные недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления. Так как стоимость на энергоносители с каждым годом возрастает, а их количество на земле уменьшается, то возникла необходимость сокращать потребление энергоносителей и увеличить мощность рекуперации теплоты. Теплоэнергетическая интеграция процесса позволит снизить энергопотребление горячих и холодных утилит на 6986,4 кВт, что составляет экономию 15 % по горячим и 89 % по холодным утилитам.

Благодарность: Авторы благодарят Европейское Сообщество за финансовую поддержку в рамках проекта ЕС "Distributed Knowledge-Based Energy Saving Networks" – DISKNET (FP7-PEOPLE-2011-IRSES-294933).

Литература

1. Экологический Ответ. Технические решения [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://eco-answer.ru/новое-мышление/>.
2. Капустенко П.А. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы / П.А. Капустенко, А.К. Кузин, Е.Л. Макаровский, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, Л.М. Ульев, Е.Б. Черная. – Харьков: ООО «Издательский дом» Вокруг света». – 2004.– 312 с.
3. Ульев Л.М. Экстракция даних процесу виробництва карбаміду / Л.М. Ульєв, О.О. Яценко, В.М. Шпилька // Наукові праці ОНАХТ – Одеса: 2015 –подано до друку.
4. Ульев Л.М. Экстракция данных для пинч-интеграции процесса производства карбамида / Л.М. Ульев, О.А. Яценко, В.Н. Шпилька // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, Ч-II (20–22 травня 2015 р, Харків). – Харків: НТУ «ХПІ». – с. 311.
5. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.
6. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Пластинчатые теплообменники в промышленности / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Г.Л. Хавин, О.П. Арсеньева. – Х.: НТУ «ХПІ», 2004. – 232 с.

7. Ульєв Л.М. Определение энергосберегающего потенциала на установке АК-70 с помощью pinch-анализа / Л.М.Ульєв, О.А. Яценко // Наукові праці ОНАХТ. – Одесса:2013.– Вип. 43.–том 1.– с. 11–15.
8. Klemes J.J. Process intensification and integration: an assessment / J.J. Klemes, P.S. Varbanov // Clean Technologies and Environmental Policy– June 2013–Vol. 15.– p. 417–422.

Bibliography (transliterated)

1. Ekologicheskii Otvet. Tehnicheskie resheniya [Elektronnyi resurs] Rezhim dostupa: <http://ecoanswer.ru/novoe-myishlenie/>.
2. Kapustenko P.A. Alternativnaya energetika i energosberezhenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy. P.A. Kapustenko, A.K. Kuzin, E.L. Makarovskiy, L.L. Tovazhnianskiy, L.M. Ulyev, E.B. Chernaya. – Kharkov: OOO «Izdatelskiy dom» Vokrug sveta». –2004.– 312 p.
3. Ulyev L.M. Ekstraktsiya danih protsesu virobnitstva karbamidu. L.M. Ulyev, O.O. Yatsenko, V.M. Shpilka. Naukovi pratsi ONAHT – Odessa:2015 –podano do druku.
4. Ulyev L.M. Ekstraktsiya danih dlya pinch-integratsii protsesa proizvodstva karbamida. L.M. Ulyev, O.A. Yatsenko, V.N. Shpilka. Informatsiyni tehnologiyi: nauka, tehnika, tehnologiya, osvita, zdorovya: Tezi dopovidey mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii, part-II (20–22 may 2015, Kharkov). – Kharkov: NTU «KhPI». – p. 311.
5. Smit R. Osnovyi integratsii teplovyih protsesov. R. Smit, Y. Klemesh, L.L. Tovazhnianskiy, P. A. Kapustenko, L.M. Ulyev. – Kharkov: KhGPU, 2000. – 457 p.
6. Tovazhnianskiy L.L. Plastinchatye teploobmenniki v promyshlennosti. L.L. Tovazhnianskiy, P.A. Kapustenko, G.L. Havin, O.P. Arseneva. – H.: NTU «KhPI», 2004. – 232 p.
7. Ulyev L.M. Opredelenie energosberegayuschego potentsiala na ustanovke АК-70 s pomoschyu pinch-analiza. L.M. Ulyev, O.A. Yatsenk. Naukovi pratsi ONAHT. – Odessa:2013. – Vol. 43.– tom 1.– p. 11–15.
8. Klemes J.J. Process intensification and integration: an assessment. J.J. Klemes, P.S. Varbanov. Clean Technologies and Environmental Policy– June 2013–Vol. 15.– p. 417–422.

УДК 612.461.2

Ульєв Л.М., Шумакова О.О., Петар Варбанов, Шпилька В.М.

ЗБІЛЬШЕННЯ ПОТУЖНОСТІ РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛОТИ В ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА

Метою даного проекту є обстеження процесу виробництва карбаміду до вступу на грануляцію. Були виявлені істотні недоліки існуючої теплообмінної системи, які призводять до збільшення енергоспоживання. Так як вартість на енергоносії з кожним роком зростає, а їх кількість на землі зменшується, то виникла необхідність скорочувати споживання енергоносіїв і збільшити потужність рекуперації теплоти. Теплоенергетична інтеграція процесу дозволить знизити енергоспоживання гарячих і холодних утиліт на 6986,4 кВт, що складає економію 15 % по гарячих і 89 % по холодних утиліт.

Ulyev L.M., Shumakova O.O., Petar Varbanov, Shpilka V.N.

INCREASE THE CAPACITY OF THE HEAT RECOVERY IN THE PRODUCTION PROCESS OF UREA

The purpose of this project is to survey the process of production of urea prior to granulation. The shortcomings of the existing heat exchanger system were detected. They lead to higher energy consumption. The cost for energy is growing every year, and their number on the ground is reduced. Therefore there was a need to reduce energy consumption and increase the capacity of heat recovery. Heat integration of the process will reduce the consumption of hot and cold utilities on 6986,4 kW which is a saving of 15 % on hot and 89 % cold utilities.