

УДК 66.045.1

Ульєв Л.М., Васильєв М.А.

**ПИНЧ-ИНТЕГРАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ НА КОКСОХИМИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ**

**Введение.** Рост цен на энергоресурсы заставляет энергозависимые страны диверсифицировать поставки энергоносителей и ускоренными темпами реализовывать программы увеличения энергоэффективности промышленного производства. По итогам 2006 года энергоемкость ВВП в Украине составила 0,89 кг условного топлива на 1 долл. США. Этот показатель является сегодня самым высоким среди стран Европы. В частности, в Польше энергоемкость ВВП составляет 0,34 кг у.т / долл. США, Германии – 0,26, Великобритании – 0,23 [1]. Особенно важным является уменьшение энергопотребления в химической и металлургической промышленности, где цена на топливо составляет основную часть себестоимости продукции.

В работе исследуются технологические процессы дистилляции бензола и дистилляции каменноугольной смолы, типичные для стран СНГ. Сырой бензол извлекается из прямого коксового газа абсорбцией органическими поглотителями и представляет собой сложную смесь химических (ароматических) соединений, главными из которых являются бензолные углеводороды (бензол и его гомологи), их содержание составляет (80–90)% [2]. Экстракция данных исследуемых процессов выполнена ранее, были построены составные кривые для существующего  $\Delta T_{min}$  (36 °C, 20 °C и 302 °C), определена мощность рекуперации 17,44 МВт и мощность горячих (34,78 МВт) и холодных (33,5 МВт) утилит [3]. В данной статье описывается процесс реконструкции двух отделений дистилляции бензола и цеха дистилляции каменноугольной смолы.

**Теплоэнергетическая интеграция.** Для выполнения проекта реконструкции был выбран метод пинч-анализа, который показал свою эффективность в исследованиях, проводившихся ранее в химической [5–6], нефтехимической [6–9] и коксохимической [10–13] отраслях промышленности. Преимущество метода состоит в возможности достижения минимальной дисконтированной стоимости проекта, которая определяется экономическими и термодинамическими законами [4].

Выбор оптимального проекта реконструкции осуществляется путем достижения такого значения  $\Delta T_{min}$ , при котором приведенные затраты будут минимальными. Достигается подобное значение путем компромисса между приведенной стоимостью энергии и приведенными капитальными затратами. Стоимость зависимости приведенных величин от минимальной разности температур, спроектированные при помощи программы «Hint» [14], представлены на (рис. 1). Для того, чтобы экономически оптимально интегрировать рассматриваемый процесс, необходимо определить основные значения капитальных и удельных затрат, которые существенно влияют на приведенную стоимость проекта.

В качестве топлива для нагрева горячих утилит используется коксовый газ, стоимость, которого составляет – 107,5 долл. США за 1000 м<sup>3</sup> [15], соответственно цена горячих утилит, с учетом того, что в году 8000 рабочих часов, составит – 172 долл. США за 1 кВт год. Цена холодных утилит составит – 24,5 долл. США за 1 кВт год. Для определения минимальных приведенных затрат примем следующие стоимостные характеристики теплообменного оборудования. Стоимость теплообменных аппаратов определяется выражением (1):

$$\text{Кап. стоимость} = A_T + B_T (S)^c, \tag{1}$$

где  $A = 5000$  долл. США;  $B = 500$  долл. США;  $S$  – площадь поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>; для пластинчатых теплообменников, как правило,  $c = 0,87$  [16].

Построение стоимостных кривых для каждого из рассматриваемых процессов (рис. 1) позволило определить значение  $\Delta T_{min, опт}$ , которое составило: 10 °C для процессов дистилляции бензола (рис. 1а–1б) и 12 °C для процесса дистилляции каменноугольной смолы (рис. 1с). Построение составных кривых для системы потоков каждого технологического процесса с учетом найденных значений  $\Delta T_{min, опт}$  (рис. 2) позволяет определить целевые энергетические значения для проекта реконструкции. Суммарное потребление горячих утилит тремя процессами – 28,23 МВт, потребление холодных утилит – 27 МВт. Снижение потребления горячих и холодных утилит – 18,8 % и 19,4 % соответственно, при этом увеличилась мощность рекуперации теплоты на 37,4 %.

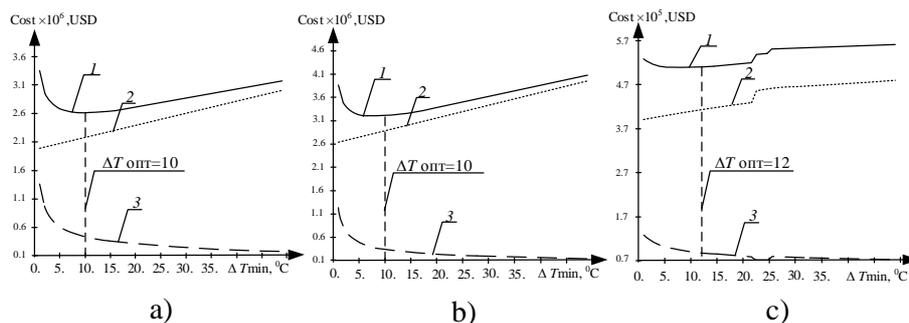


Рисунок 1 – Стоимостные зависимости приведенных величин от минимальной разности температур для системы потоков с (табл. 1–3)

1 – приведенная общая стоимость, 2 – приведенная стоимость энергии, 3 – приведенные капитальные затраты  
 а) – для таблицы 1; б) – для таблицы 2; с) – для таблицы 3

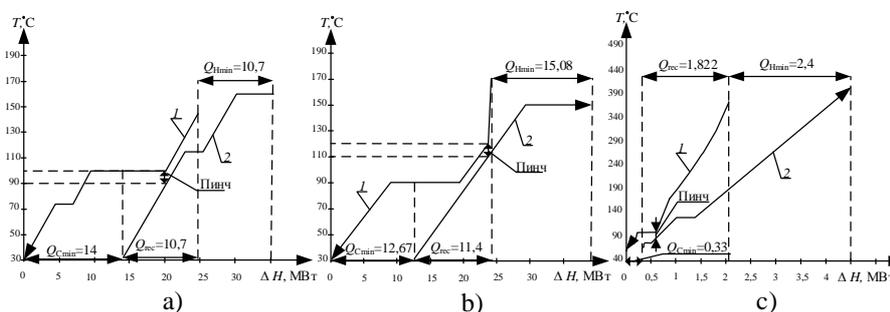


Рисунок 2 – Составные кривые после реконструкции для найденного значения  $\Delta T_{\text{opt}}$  в соответствии с (рис. 5)

1, 2 – горячая и холодная составная кривая;  $Q_{\text{Hmin}}$ ,  $Q_{\text{Cmin}}$  – нагрузка горячих и холодных утилит;  
 $Q_{\text{REC}}$  – мощность рекуперации

В соответствии с принципами пинч-анализа [4], для полученных значений  $\Delta T_{\text{min,opt}}$ , спроектированы новые сеточные диаграммы и рассчитана мощность теплообменного оборудования для процессов дистилляции бензола и дистилляции каменноугольной смолы (рис. 3–5).

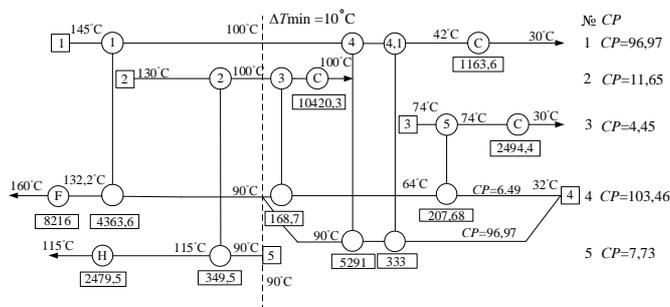


Рисунок 3 – Сеточная диаграмма оптимизированного проекта реконструкции теплообменной сети процесса дистилляции бензола на двухколонном агрегате; количество горячих утилит 10695,7 кВт; количество холодных утилит 14078 кВт

Нагрузка на теплообменных аппаратах Т-1 и Т-2 [3] позволяет использовать их при проектировании новой сеточной диаграммы (рис. 3). На новой сеточной диаграмме теплообменник Т-1 используется на старой позиции, теплообменник Т-2 перенесен на новую позицию и переименован в Т-4. На позиции Т-2; Т-3; Т-4,1; Т-5 были установлены новые пластинчатые теплообменники типа «Компаблок» фирмы «Альфа Лаваль» [16]. Использование существующей поверхности теплообмена позволяет сократить капитальные затраты, что в свою очередь ведет к уменьшению срока окупаемости проекта.

При проектировании сеточной диаграммы (рис. 4), для уменьшения капитальных затрат было принято решение использовать действующие трубчатые теплообменники под номерами Т-1, Т-2 [3] и перенести их на новую сеточную диаграмму с номером 2.1 (рис. 4). На позиции 1–3 были установлены новые пластинчатые теплообменники фирмы «Альфа Лаваль» [16].

Путь упрощения теплообменной системы процесса переработки каменноугольной смолы был опубликован ранее [11–13]. В данной работе используется сеточная диаграмма оптимизированного проекта реконструкции теплообменной сети (рис. 5) для оценки возможности интеграции процесса в пределах общего производственного комплекса.

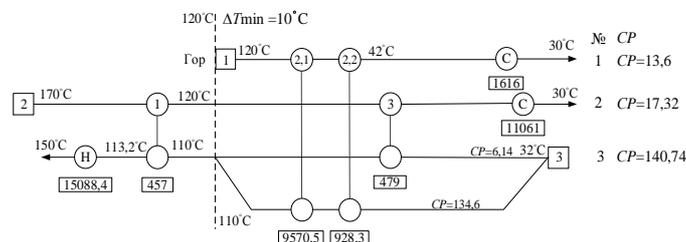


Рисунок 4 – Сеточная диаграмма оптимизированного проекта реконструкции теплообменной сети процесса дистилляции бензола на одноколонном агрегате; горячие утилиты 15088,4 кВт; холодные утилиты 12677 кВт

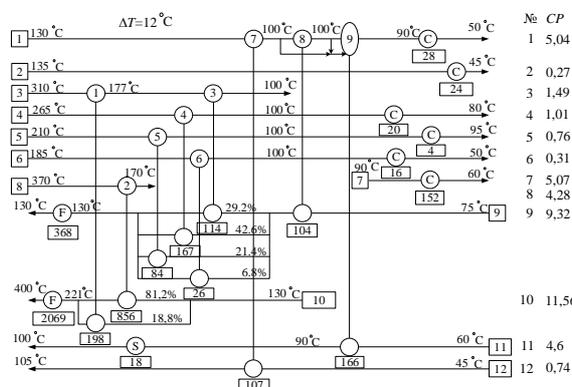


Рисунок 5 – Сеточная диаграмма оптимизированного проекта реконструкции теплообменной сети для таблицы 3; S – нагрев парами среднего давления; количество горячих утилит 2455 кВт; количество холодных утилит 244 кВт

В пинч-анализе наиболее подходящим инструментом понимания взаимодействия утилит с процессом является «большая составная кривая» [4]. Для сеточных диаграмм с оптимальным значением  $\Delta T_{\min}$  (рис. 3–5), были построены большие составные кривые (БСК) (рис. 6).

На БСК процесса дистилляции бензола на двух колонном агрегате показана возможность установки теплового насоса (рис. 6а) [4]. Интеграция теплового насоса с процессом при размещении насоса поперек пинча обеспечивает энергосбережение за счет сокращения потребления внешних энергоносителей. Тепловой насос отбирает теплоту  $Q_{\text{ТН}}$  от процесса ниже пинча, т.е. из общего источника энергии, тем самым уменьшая значение холодной утилиты на  $Q_{\text{ТН}}$ . Совершая работу  $W$ , тепловой насос передает теплоту в подсистему, находящуюся выше пинча, т.е. в общий энергетический сток, а это означает, что горячая утилита уменьшается на величину  $Q_{\text{ТН}} + W$  [19].

С помощью программы «Aspen Hysys» [20] была рассчитана мощность теплового насоса, которая составила 700 кВт. Коэффициент преобразования теплового насоса рассчитывается по формуле (2) [19].

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{ТН}} + W}{W}, \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{1779,5 + 700}{700} = 3,54,$$

где  $Q_{\text{ТН}}$  – 1779,5 кВт;  $W$  – 700 кВт.

Использование общих температурных профилей производственного комплекса сделало возможным определение целевых энергетических значений для нескольких процессов [21]. Строятся эти профили из БСК отдельных процессов, которые входят в производственный комплекс [4]. На (рис. 7) показан температурный профиль комплекса трех процессов. Создание профиля процесса начинается с построения индивидуальных БСК. Затем эти БСК модифицируются. Немонотонные части БСК, так называемые «карманы», закрываются вертикальными линиями и обрезаются. После чего профили источника и стока БСК

сдвигаются на  $\frac{1}{2} \Delta T_{\min}$ . При этом температуры элементов профиля источника уменьшаются на  $\frac{1}{2} \Delta T_{\min}$ , а профиля стока увеличиваются на  $\frac{1}{2} \Delta T_{\min}$ . Очевидно, что для приведения температурных профилей к реальным температурам в каждом из процессов используется свое собственное  $\Delta T_{\min}$  [4].

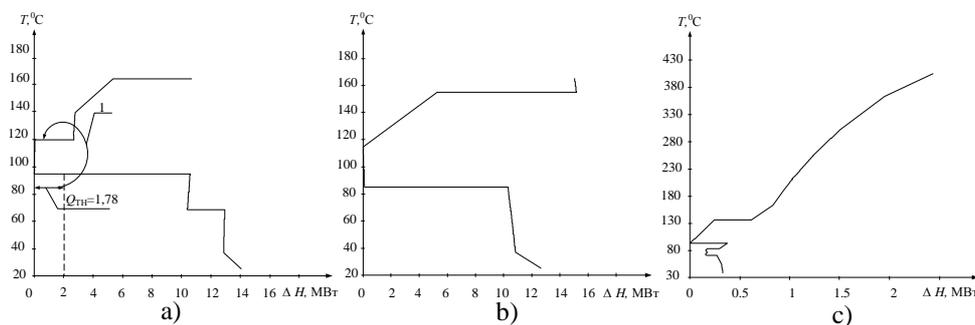


Рисунок 6 – Большие составные кривые; а) большая составная кривая для (рис. 3); б) большая составная кривая для (рис. 4); с) большая составная кривая для (рис. 5); *I* – показывает возможность интеграции теплового насоса

Общий температурный профиль (рис. 7) позволяет рассмотреть возможность интеграции теплового насоса в пределах общего производственного комплекса. С помощью программы «Aspen Hysys» [20] рассчитаны нагрузки теплового насоса. Расчеты показали, что для достижения целевых значений мощность компрессора должна быть увеличена на 54 кВт;  $Q_{TH}$  для процесса интеграции теплового насоса в пределах общего производственного комплекса составит – 314 кВт (рис. 8). Общий коэффициент преобразования теплового насоса ( $\epsilon_{\text{общ}}$ ) рассчитывается по формуле (2) и составляет 3,77.

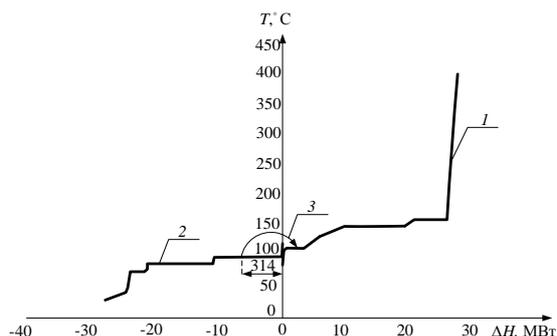


Рисунок 7 – Общий профиль комплекса; *I* – сток; 2 – источник; 3 – показывает возможность интеграции теплового насоса

Простой срок окупаемости теплового насоса ( $P$ ) рассчитывается по формуле (3) [22], как отношение капитальных затрат к годовой экономии от сокращения потребления внешних энергоносителей, и составляет 0,64 года.

$$P = \frac{A_{TH} + K}{Q_{hot} \times S_{hot} + Q_{cold} \times S_{cold} - W \times S_{elec}}, \quad (3)$$

где  $A_{TH}$  – 20000 долл. США;  $K$  – 86000 долл. США;  $Q_{hot}$  – 2847,5 кВт;  $S_{hot}$  – 172 долл. США за 1 кВт год;  $Q_{cold}$  – 2093,5 кВт;  $S_{cold}$  – 24,5 долл. США за 1 кВт год;  $W$  – 754 кВт;  $S_{elec}$  – 500 долл. США за 1 кВт год (0,81 грн. за 1 кВт/ч). Стоимость компрессора теплового насоса взята из работ, которые публиковались ранее [19].

Оценка численных значений энергопотребления, рекуперации в существующем и предполагаемом проектах приведена в таблице 1.

**Выводы.** Применение методов пинч-анализа в интеграции процессов переработки продуктов коксования позволило уменьшить потребление горячих и холодных утилит на величину – 18,8 % и 19,4 % соответственно, при этом увеличилась мощность рекуперации теплоты на 37,4 %.

Интеграция теплового насоса с использованием инструмента большой составной кривой (БСК) дополнительно позволила сократить потребление горячих и холодных утилит от исходного значения на 25,94 % и 24,73 %.

Использование «Total Site Profiles» показало возможность интеграции теплового насоса в пределах общего производственного комплекса, установка которого позволяет сократить потребление горячих утилит на 1,05 %, холодных утилит на 0,93 %.

Площадь поверхности рекуперации с учетом установленных тепловых насосов увеличилась на 53,78 %.

Годовая прибыль от внедрения проекта составит 1024906 дол. США, срок окупаемости 0,6 года (218 дней).

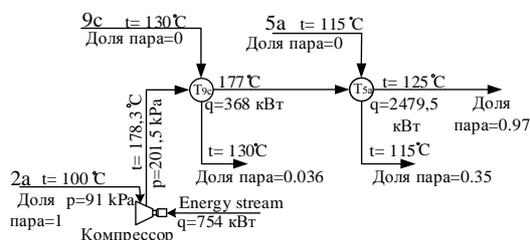


Рисунок 8 – Схема подключения теплового насоса

Таблица 1 – Энергопотребление и рекуперация существующей системы теплообмена и системы теплообмена в предлагаемом проекте реконструкции

Энергетическая характеристика процессов	Мощность горячих утилит, МВт	Мощность холодных утилит, МВт	Мощность рекуперации теплоты, МВт
Существующая система теплообмена	34,782	33,5091	17,44
предлагаемая система теплообмена без тепловых насосов	28,2389	26,9993	23,97
предлагаемая система теплообмена с тепловыми насосами	25,3914	24,906	26,82
% от существующего значения без тепловых насосов	81,2	80,6	137,44
% от существующего значения с тепловыми насосами	73	74,3	153,78

Литература

1. Ukraine policy review. [электронный ресурс] // International Energy Agency. Режим доступа: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ukraine2006.pdf>. accessed 13.09.2014.
2. Лейбович Р.Е. Технология коксохимического производства / Р.Е. Лейбович, Е.И. Яковлева, А.Б. Филатов – Москва: Металлургия, 1982. – 360 с.
3. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Екстракція даних смолопереробного цеху та двох бензолних відділень зі спільним сировинним потоком / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, П.О. КАПУСТЕНКО, Л.М. УЛЬЄВ, С.О. БОЛДИРЕВ, М.А. ВАСИЛЬЄВ // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 2. – С. 85–91.
4. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., УЛЬЄВ Л.М.]. – Харків: НТУ «ХПІ», 2000. – 458 с.
5. Tovazhnyansky L. Process integration of sodium hypophosphite production / L. Tovazhnyansky, P. Kapustenko, L. Ulyev, S. Boldyryev, O. Arsenyeva // Applied Thermal Engineering. – 2010. – V. 30, Issue 16. – P. 2306–2314.
6. Ульєв Л.М. Пинч-інтеграція теплових насосів в процес очищення тетраклориду титана / Л.М. Ульєв, В.В. Сивак // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 2. – С. 35–44.
7. Клемеш Й. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки / Й. Клемеш, Ю.Т. Костенко, Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Л.М. УЛЬЄВ, А.Ю. ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО, Б.Д. ЗУЛИН // Теорет. основы хим. технологии. – 1999. – Т. 33. – №4. – С. 420–431.
8. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Інтеграція теплових процесів на установці первинної переробки нафти АВТ А12/2 при роботі в зимнє время / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Л.М. УЛЬЄВ, С.А. БОЛДИ-

рев, О.П. Арсеньева, М.В. Тарновский // Теорет. основы хим. технологии. – 2009. – Т. 43.– №6. – С. 665–677.

9. Ульев Л.М. Пинч-реконструкция секций гидроочистки и каталитического риформинга на установке Л-35-11/600 / Л.М. Ульев, Д.Д. Нечипоренко // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – № 2. – С. 95–101.

10. Кресс Л.А. Реконструкция бензольного отделения коксохимического производства / Л.А. Кресс, С.В. Крякунов // Кокс и химия. – М.: 2005. – № 10. – С. 19–22.

11. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Определение потенциала энергосбережения процесса дистилляции каменноугольной смолы и процесса переработки нафталиновой фракции на авдеевском КХЗ. / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, С.А. Болдырев, С.И. Бухкало, С.И. Кауфман // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2003. – № 2. – С. 23–30.

12. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Создание оптимальной теплообменной системы в процессе дистилляции каменноугольной смолы / Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, С.А. Болдырев // Интегрированные технологии и энергосбережение. 2004. № 2. С. 85–90.

13. Tovazhnyansky L. Heat integration improvement for benzene hydrocarbons extraction from coke-oven gas. / L. Tovazhnyansky, P. Kapustenko, L. Ulyev // Chem. Eng. Trans.– 2011. –V. 25.– P. 153–158.

14. Ульев Л.М. Программное обеспечение для проектирования теплообменных сетей – HINT / Л.М. Ульев, О.А. Яценко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2012. – № 10. – С. 61–72.

15. «Укррудпром» [электронный ресурс]: [http://www.ukrudprom.ua/news/Gorlovskiy\\_KHZ\\_zapustil\\_ustanovku\\_po\\_utilizatsii\\_koksovih\\_gazov.html](http://www.ukrudprom.ua/news/Gorlovskiy_KHZ_zapustil_ustanovku_po_utilizatsii_koksovih_gazov.html). accessed: 14.09.2014.

16. Hesselgreaves JE. Compact heat exchangers. Selection, design and operation. Amsterdam: Elsevier. – 2001. – 398 p.

17. Anton A. Kiss. Towards energy efficient distillation technologies – Making the right choice / A. Kiss Anton, J. Flores Landaeta Servando, A. Infante Ferreira Carlos // Energy. –2012. – V. 47. – P. 531–542.

18. Eduardo Dnez. Economic feasibility of heat pumps in distillation to reduce energy use / Dnez Eduardo, Langston Paul, Ovejero Gabriel, Romero M. Dolores // Applied Thermal Engineering. – 2009. – V. 29. – P. 1216–1223.

19. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический Обзор // Справочник промышленного оборудования. – 2004. – № 2. – 80 с.

20. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л. Теплова інтеграція процесу очищення коксового газу від бензольних вуглеводнів за допомогою програм «Hint» та «Aspen Hysys» / Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, П.О. Капустенко, Л.М. Ульєв, С.О. Болдырев, М.А. Васильєв // Интегрированные технологии и энергосбережение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – № 2. – С. 1–7.

21. Gorsek A., Glavic P., Bogataj M. Design of the optimal total site heat recovery system using SSSP approach / A. Gorsek, P. Glavic, M. Bogataj // Chem. Eng. Process. – 2006. – V. 45. – P. 372–382.

#### Bibliography (transliterated)

1. Ukraine policy review. [elektronnyiy resurs]. International Energy Agency. Rezhim dostupa: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ukraine2006.pdf>. accessed 13.09.2014.

2. Leybovich P.E. Tehnologiya koksohimicheskogo proizvodstva. P.E. Leybovich, E.I. Yakovleva, A.B. Filatov – Moskva: Metallurgiya, 1982. – 360 p.

3. Tovazhnyanskiy L.L. Ekstraktsiya danih smolopererobnogo tsehu ta dvoh benzolnih viddilen zi spilnim sirovinnim potokom. L.L. Tovazhnyanskiy, P.O. Kapustenko, L.M. Ulev, S.O. Boldirev, M.A. Vasilev. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. – Harkov: NTU «HPI», 2013. – # 2. – P. 85–91.

4. Osnovyi integratsii teplovyih protsessov. [Smit R., Klemesh Y., Tovazhnyanskiy L.L., Kapustenko P.A., Ulev L.M.]. – Harkov: NTU «HPI», 2000. – 458 p.

5. Tovazhnyansky L. Process integration of sodium hypophosphate production. L. Tovazhnyansky, P. Kapustenko, L. Ulyev, S. Boldyryev, O. Arsenyeva. Applied Thermal Engineering. – 2010. – V. 30, Issue 16. – P. 2306–2314.

6. Ulev L.M. Pinch-integratsiya teplovyih nasosov v protsess ochistki tetrahlorida titana. L.M. Ulev, V.V. Sivak. Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie. – Harkov: NTU «HPI», 2013. – # 2.– P. 35–44.

7. Klemesh Y. Primenenie metoda pinch-analiza dlya proektirovaniya energosberegayuschih ustanovok neftepererabotki. Y. Klemesh, Yu.T. Kostenko, L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, A.Yu. Perevertaylenko, B.D. Zulin. Teoret. osnovyi him. tehnologii. – 1999. – T. 33. – #4. – P. 420–431.

8. Tovazhnyanskiy L.L. Integratsiya teplovyih protsessov na ustanovke pervichnoy pererabotki nefiti AVT A12/2 pri rabote v zimnee vremya. L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, S.A. Boldyryev, O.P. Arsenyeva, M.V. Tarnovskiy. Teoret. osnovyi him. tehnologii. – 2009. – T. 43.– #6. – P. 665–677.

9. Ulev L.M. Pinch-rekonstruktsiya seksiy gidroochistki i kataliticheskogo riforminga na ustanovke L-35-11/600. L.M. Ulev, D.D Nechiporenko. *Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie*. – Harkov: NTU «HPI», 2013. – # 2. – P. 95–101.
10. Kress L.A. Rekonstruktsiya benzolnogo otdeleniya koksohimicheskogo proizvodstva. L.A. Kress, S.V Kryakunov. *Koks i himiya*. – M.: 2005. – # 10. – P. 19–22.
11. Tovazhnyanskiy L.L. Opredelenie potentsiala energosberezheniya protsessa distillyatsii kamennougolnoy smolyi i protsessa pererabotki naftalinovoy fraktsii na avdeevskom KHZ. L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, S.A. Boldyirev, S.I. Buhkalo, S.I. Kaufman. *Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie*. – 2003. – # 2. – P. 23–30.
12. Tovazhnyanskiy L.L. Sozdanie optimalnoy teploobmennoy sistemyi v protsesse distillyatsii kamennougolnoy smolyi. L.L. Tovazhnyanskiy, P.A. Kapustenko, L.M. Ulev, S.A. Boldyirev. *Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie*. 2004. # 2. P. 85–90.
13. Tovazhnyanskiy L. Heat integration improvement for benzene hydrocarbons extraction from coke-oven gas. L. Tovazhnyanskiy, P. Kapustenko, L. Ulyev. *Chem. Eng. Trans.* – 2011. – V. 25. – P. 153–158.
14. Ulev L.M. Programmnoye obespecheniye dlya proektirovaniya teploobmennyyih setey – HINT. L.M. Ulev, O.A. Yatsenko. *Vestnik NTU «HPI»*. – 2012. – # 10. – P. 61–72.
15. «Ukrudprom» [elektronnyy resurs]: [http://www.ukrudprom.ua/news/Gorlovskiy\\_KHZ\\_zapustil\\_ustanovku\\_po\\_utilizatsii\\_koksovih\\_gazov.html](http://www.ukrudprom.ua/news/Gorlovskiy_KHZ_zapustil_ustanovku_po_utilizatsii_koksovih_gazov.html). accessed: 14.09.2014.
16. Hesselgreaves JE. Compact heat exchangers. Selection, design and operation. Amsterdam: Elsevier. – 2001. – 398 p.
17. Anton A. Kiss. Towards energy efficient distillation technologies – Making the right choice. A. Kiss Anton, J. Flores Landaeta Servando, A. Infante Ferreira Carlos. *Energy*. – 2012. – V. 47. – P. 531–542.
18. Eduardo Dnez. Economic feasibility of heat pumps in distillation to reduce energy use. Dnez Eduardo, Langston Paul, Ovejero Gabriel, Romero M. Dolores. *Applied Thermal Engineering*. – 2009. – V. 29. – P. 1216–1223.
19. Gorshkov V.G. Teplovyie nasosyi. Analiticheskiy Obzor. Spravochnik promyshlennogo oborudovaniya. – 2004. – # 2. – 80 p.
20. Tovazhnyanskiy L.L. Teplova Integratsiya protsesu ochischennya koksovogo gazu vid benzolnih vuglevodniv za dopomogoyu program «Hint» ta «Aspen Hysys». L.L. Tovazhnyanskiy, P.O. Kapustenko, L.M. UIEv, S.O. Boldyirev, M.A. Vasilev. *Integrirovannyye tehnologii i energosberezhenie*. – Harkov: NTU «HPI», 2012. – # 2. – P. 1–7.
21. Gorsek A., Glavic P., Bogataj M. Design of the optimal total site heat recovery system using SSSP approach. A. Gorsek, P. Glavic, M. Bogataj. *Chem. Eng. Process.* – 2006. – V. 45. – P. 372–382.

УДК 66.045.1

Ульєв Л.М., Васильєв М.А.

### **ПИНЧ-ІНТЕГРАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКТІВ КОКСУВАННЯ НА КОКСОХІМІЧНОМУ ЗАВОДІ**

Процес дистиляції бензолу і процес перегонки кам'яновугільної смоли, які є типовими для країн східної Європи, аналізується в даній роботі. Метод пинч-аналізу було обрано для виконання проекту реконструкції. Відповідно до принципів пинч-аналізу, розроблено нові схеми теплообмінних мереж і розраховане теплообмінне обладнання. Застосування комплексного методу для інтеграції декількох цехів підприємства «Total Site» показало можливість інтеграції теплового насосу. У статті показано шляхи зменшення споживання зовнішніх енергоносіїв на коксохімічному заводі, а також запропоновано шляхи покрової модернізації заводу.

Ulyev L., Vasilyev M.

### **PINCH-INTEGRATION FOR COKE OVEN PLANT**

The process of benzene distillation and process of coal tar distillation being typical for East European countries is analyzed in this paper. The pinch analysis method was selected to perform a reconstruction project. According to principles of pinch analysis, new network diagrams are designed and capacity of heat-exchange equipment is calculated. The using of «Total Site Profiles» showed the feasibility of heat pump integration.