

Ульєв Л.М., Нечипоренко Д.Д.

### ПИНЧ-РЕКОНСТРУКЦІЯ СЕКЦІЙ ГІДРООЧИСТКИ І КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА НА УСТАНОВКЕ Л-35-11/600

#### Актуальность и постановка задачи

Падение объемов производства нефтепродуктов в Украине фиксируется уже несколько лет подряд. На сегодняшний день в Украине работают два из семи производств по выпуску нефтепродуктов. Хозяева украинских НПЗ все как один утверждают, что кризис в отрасли связан с дороговизной импортируемой ими российской нефти и высоким уровнем ввозной пошлины. Действительно, продукция украинских заводов не выдерживает ценовой конкуренции с топливом из стран Таможенного союза, где действует льготный режим поставок российской нефти. Но при этом главной причиной падения объемов производства в отрасли является именно техническая отсталость заводов, ставшая следствием нежелания их владельцев инвестировать в развитие предприятий. [1].

В январе-феврале 2013 г. объем переработки нефти на НПЗ Украины составил 480.2 тыс. т (на 65.3 % меньше, чем в январе-феврале 2012 г.), в феврале 2013 г. – 229.7 тыс. т (на 65.7 % меньше). В течение января-февраля 2013 г. на НПЗ Украины поставлено 513.1 тыс. т нефти (на 59.7% меньше), в феврале – 223.6 тыс. т (на 63.7 % меньше) [2].

Украинским нефтеперерабатывающим заводам необходима модернизация. Снижение удельного энергопотребления можно достичь путем модернизации отдельных систем производства, установок и заводов в целом, а также совершенствованием отдельных производственных операций.

Применение методов теплоэнергетической интеграции на установках нефте- и газоперерабатывающих заводов позволяет добиться существенной финансовой экономии за счет минимизации использования внешних энергоносителей, путем максимизации рекуперации теплоты в рамках рассматриваемой энерготехнологической системы [3].

В представленной работе проведено обследование блоков гидроочистки сырья и каталитического риформинга установки каталитического риформинга Л-35-11/600. Для данных блоков установки была проведена пинч-диагностика и выполнен сравнительный экономический анализ эффективности их работы после предложенной реконструкции.

#### Описание технологического процесса

Установка каталитического риформинга Л-35-11/600 предназначена для переработки широкой фракции прямогонного бензина (при температуре 85–180 °С) методом каталитического риформирования с целью получения компонентов бензина с октановым числом по моторному методу 78–85 пунктов.

Данная установка состоит из трёх основных отделений:

- блока гидроочистки сырья;
- блока каталитического риформинга;
- блока деэтаннизации и стабилизации катализата.

Для того чтобы выполнить пинч-проектирование установки целиком необходимо провести пинч-диагностику и выполнить пинч-проектирование для всех блоков установки.

В представленной работе проведено обследование блоков гидроочистки сырья и каталитического риформинга установки каталитического риформинга Л-35-11/600. Технологическая схема данных блоков представлена на рисунке 1.

Сырьё – прямогонный бензин поступает на блок гидроочистки сырья, где в реакторе Р-1 на алюмокобальтомолибденовом катализаторе в присутствии водорода происходит гидроочистка сырья и затем очищенное от сернистых соединений сырьё поступает на блок каталитического риформинга в реактор Р-2, в котором на платинорениевом катализаторе протекает реакция ароматизации сырья. Проектом предусмотрено проведение процесса каталитического риформинга в три ступени, для чего газосырьевая смесь последовательно поступает в реакторы Р-2,3,4/1,2 и после охлаждения поступает на блок деэтаннизации и стабилизации катализата.

Для данных блоков установки была проведена пинч-диагностика.

Анализ данной схемы показал значительный потенциал энергосбережения, содержащийся как в элементарных потерях тепловой энергии в окружающую среду, так и в нерациональной технологии теплообмена между технологическими потоками.

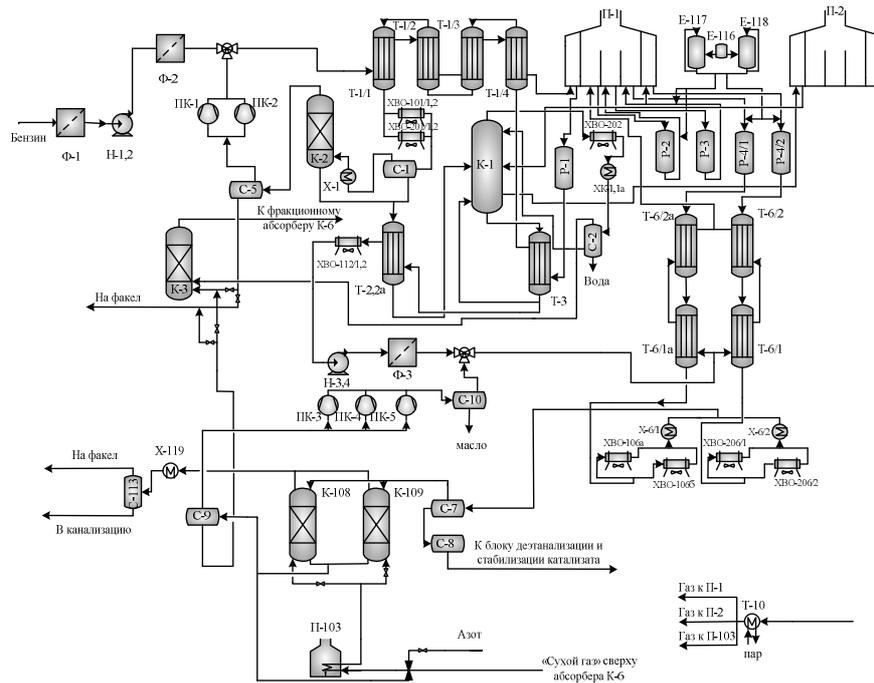


Рисунок 1 – Технологическая схема существующего процесса гидроочистки и каталитического риформинга установки Л-35-11/600

**Экстракция технологических данных**

Систематизировав результаты изучения технологической схемы, регламента, были получены технологические потоковые данные процесса гидроочистки и каталитического риформинга установки Л-35-11/600 [4]. На основании этих данных была построена сеточная диаграмма (рис. 2), были определены теплообменные связи между технологическими потоками. А также была посчитана мощность рекуперации теплоты, которая составила для блока гидроочистки 12 МВт, для блока каталитического риформинга 21 МВт и для этих двух блоков совместно 32 МВт.

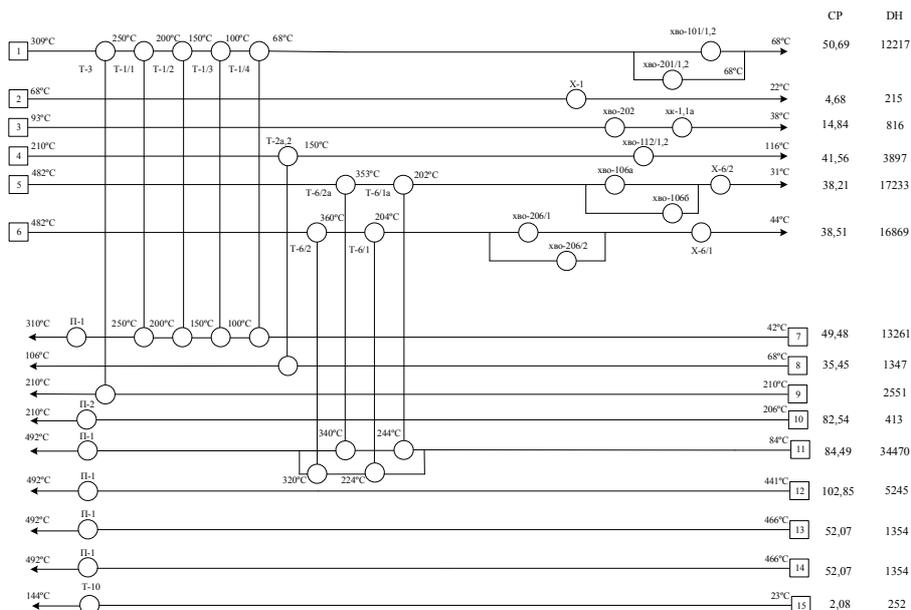


Рисунок 2 – Сеточная диаграмма существующего процесса гидроочистки и каталитического риформинга сырья

Используя полученные технологические потоковые данные процесса гидроочистки и каталитического риформинга, были построены составные кривые для существующего процесса (рис. 3).

Для снижения энергопотребления в химико-технологической системе необходимо уменьшение минимальной разности температур  $\Delta T_{\min}$  между теплоносителями в теплообменных аппаратах [5]. Это достигается путем сближения составных кривых вдоль энтальпийной оси.

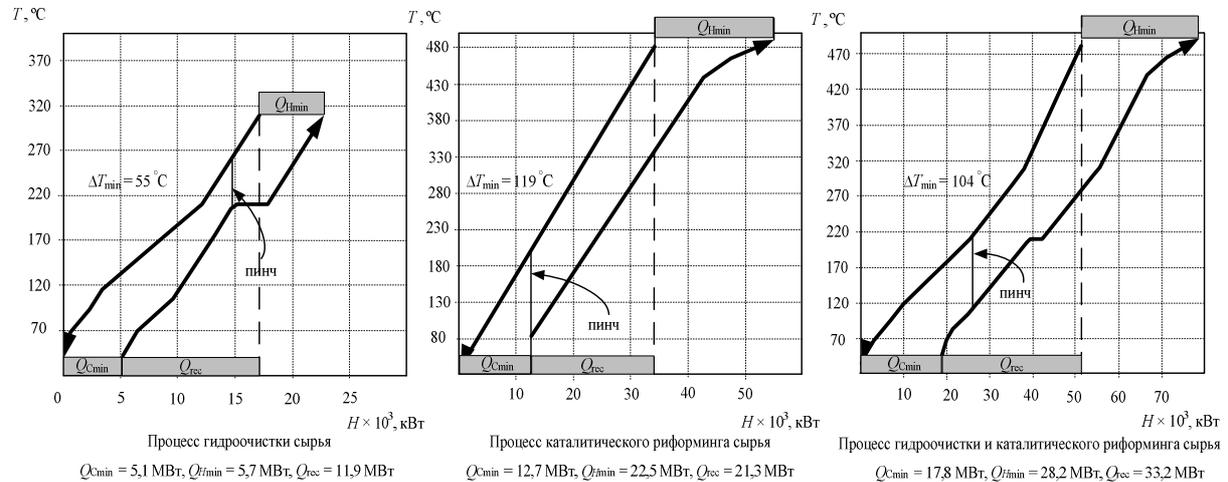


Рисунок 3 – Составные кривые существующего процесса гидроочистки и каталитического риформинга сырья:  
 $Q_{hmin}$ ,  $Q_{cmin}$ ,  $Q_{rec}$  – потребляемая мощность горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации

### Теплоэнергетическая интеграция

Для того чтобы экономически оптимально интегрировать рассматриваемый процесс, необходимо определить наиболее экономически важные значения, которые существенно влияют на приведенную стоимость проекта [6].

Стоимость горячих утилит, использованных в процессе, примем равной 400 долл. США за 1 кВт год, с учетом того, что в году 8000 рабочих часов.

Стоимость холодных утилит принимаем 40 долл. США за 1 кВт год.

Используя цены на теплообменное оборудование, полученные от его производителей, можно еще до выполнения проекта реконструкции оценить необходимые капиталовложения и срок их окупаемости. Итак, капитальную стоимость одного теплообменного аппарата можно определить выражением:

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

где  $A_T = 40000$  долл. США – стоимость установки одного теплообменного аппарата;  $B_T$  – коэффициент, эквивалентный стоимости 1 м<sup>2</sup> площади поверхности теплообмена, для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов  $B_T = 500$ ;  $S$  – площадь поверхности теплообмена теплообменного аппарата;  $c$  – коэффициент, отражающий нелинейную зависимость стоимости теплообменника от величины его поверхности теплообмена,  $c = 0,87$ .

Расчет дисконтированных величин стоимостей проекта позволяет определить значение минимальной разности температур между теплоносителями в будущей системе рекуперации тепловой энергии с учетом существующего теплообменного оборудования (рис. 4).

Процесс гидроочистки сырья, выполненный с системой теплообмена при  $\Delta T_{\min} = 10$  °C будет работать в экономически оптимальном режиме. Для процесса каталитического риформинга данное значение составит  $\Delta T_{\min} = 20$  °C. А для выполнения совместного проекта этих процессов значение  $\Delta T_{\min} = 14$  °C.

Полученные значения позволяют определить возможный потенциал энергосбережения данного проекта реконструкции [7, 8]. Для этого были построены новые составные кривые процессов гидроочистки и каталитического риформинга с соответствующей разницей температур (рис. 5).

Внедрение пинч-проектирования позволяет уменьшить энергопотребление для процесса гидроочистки сырья на 2,2 МВт, срок окупаемости предложенного проекта реконструкции составит около 7 месяцев. Для процесса каталитического риформинга энергопотребление снижается на 6,4 МВт, срок окупаемости проекта около 10 месяцев.

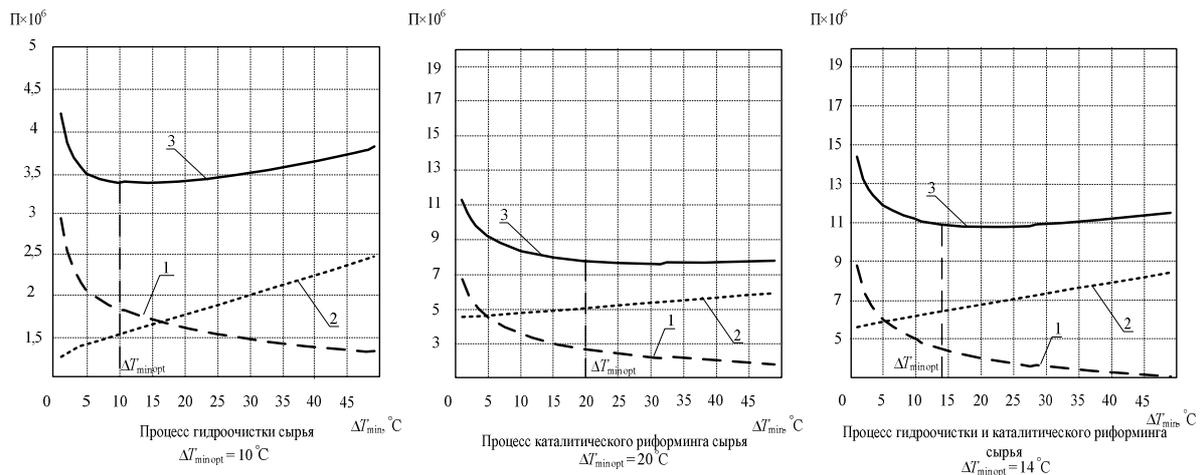


Рисунок 4 – Зависимость приведенной стоимости от  $\Delta T_{min}$   
 1 – инвестиции в оборудование; 2 – энергия; 3 – общая стоимость

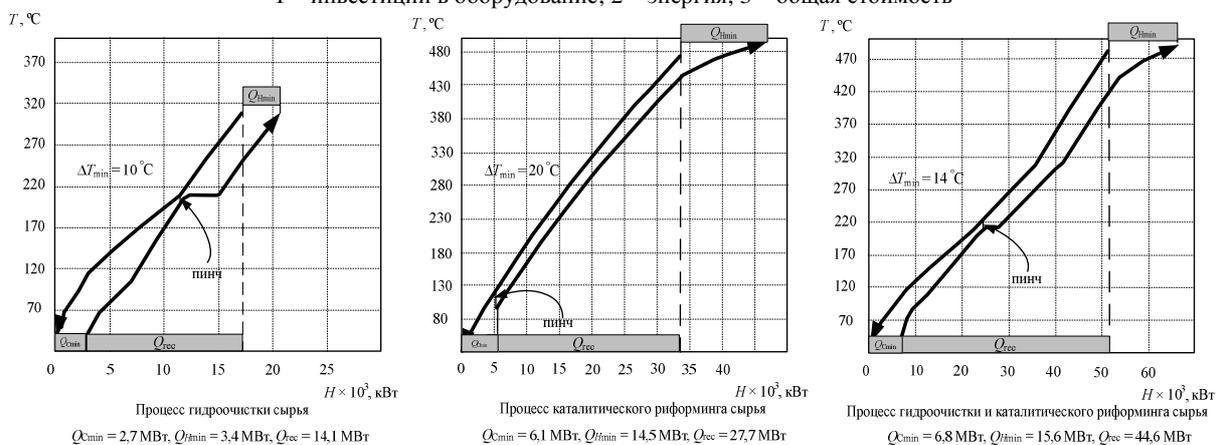


Рисунок 5 – Составные кривые интегрированного процесса гидроочистки и каталитического риформинга сырья

Для совместной интеграции процессов гидроочистки сырья и каталитического риформинга энергопотребление снижается на 11,4 МВт, срок окупаемости проекта около 8 месяцев.

В соответствии с принципами пинч-анализа были построены новые сеточные диаграммы для процессов гидроочистки и каталитического риформинга с учетом полученной разницы температур для данных процессов (рис. 6). Пинч на данном рисунке представлен вертикальной пунктирной линией, разделяющей сеточную диаграмму на две области – область выше пинча и область ниже пинча.

Как видно из рис. 6, переход к совместной сеточной диаграмме процессов гидроочистки и каталитического риформинга сырья просто путем соединения сеточных диаграмм данных процессов невозможен. Необходимо проводить модернизацию либо каждого блока данной установки в отдельности, либо совместно. На основе предварительных расчетов был сделан вывод, что применение пинч методов для данных блоков установки наиболее экономически целесообразно проводить для двух блоков совместно.

**Заключение**

В результате применения пинч-методов получена новая система теплообмена для процессов гидроочистки и каталитического риформинга сырья на установке каталитического риформинга Л-35-11/600. Определены излишние энергозатраты в существующей схеме и проведена пинч-интеграция как для каждого блока в отдельности так и для совместного проекта реконструкции данных блоков. Внедрение пинч-проектирования позволяет снизить энергопотребление для блока гидроочистки сырья на 2,2 МВт. Для блока каталитического риформинга энергопотребление снижается на 6,4 МВт. Для совместной интеграции блоков гидроочистки сырья и каталитического риформинга энергопотребление снижается на 11,4 МВт. Была проведена сравнительная характеристика интегрированных процессов. На основе экономически обоснованных расчетов был сделан вывод, что наиболее целесообразным является проведение реконструкции для двух данных блоков совместно, а не по отдельности.

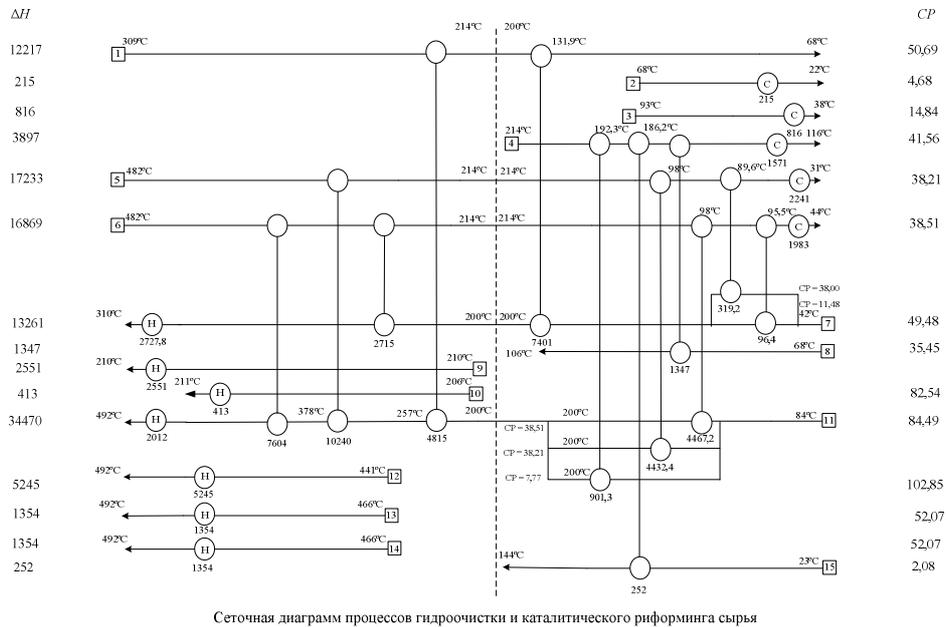
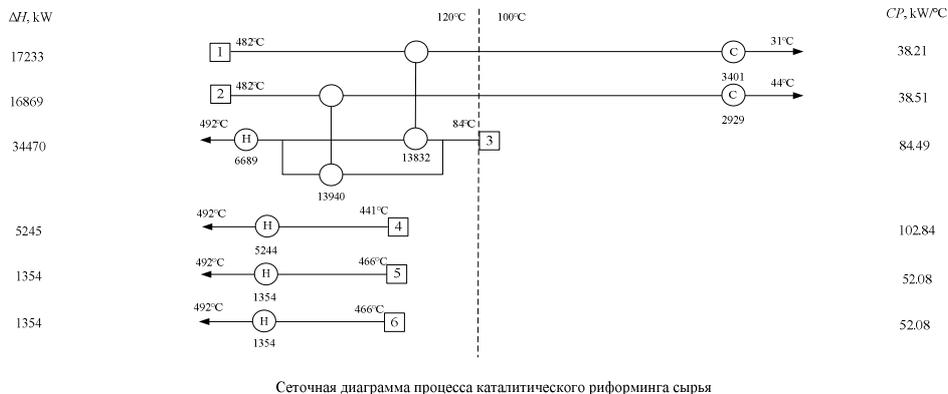
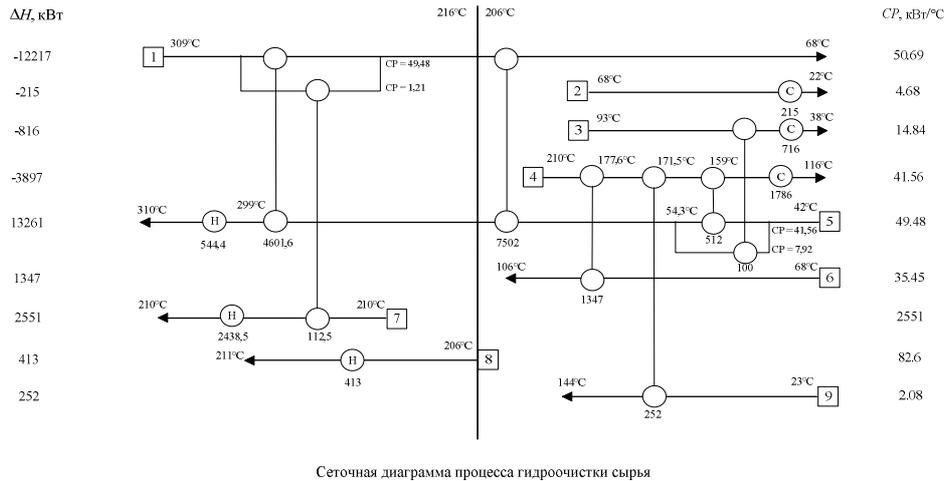


Рисунок 6 – Сеточная диаграмма существующего процесса гидроочистки и каталитического риформинга сырья

**Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке Европейского Союза в рамках проекта EC Project ENER-FP7-296003-EFENIS.

Литература

1. Бизнес-портал о реальном секторе экономики [ugmk.info](http://ugmk.info) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.marketing-ua.com>
2. Переработка нефти в Украине в январе-феврале 2013 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.uaenergy.com.ua>
3. Клемеш Й. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки / Й. Клемеш, Ю.Т. Костенко, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ и др. // ТОХТ – 1999. – Т. 33, №4. – с. 420–431.
4. Ульєв Л.М. Экстракция данных для интеграции процессов гидроочистки и каталитического риформинга установки Л-35-11/600 / Л.М. Ульєв, Д.Д. Нечипоренко, К.В. Недилько // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-25: Тезисы докладов XXV Международной научной конференции. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012 – С. 103
5. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П.А. Капустенко, Л.М. Ульєв – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.
6. Kemp, Ian C. Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy (2nd Edition), 2007. – 391 p.
7. Ульєв Л.М. Энергосберегающий потенциал процесса гидроочистки на установке каталитического риформинга / Л.М. Ульєв, Д.Д. Нечипоренко // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 2. – С. 20–28.
8. Ульєв Л.М. Энергосберегающий потенциал в секции каталитического риформинга на установке Л-35-11/600 / Л.М. Ульєв, Д.Д. Нечипоренко, О.Ю. Валєнова // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №39. – С. 98–108.

Bibliography (transliterated)

1. Biznes-portal o real'nom sektore jekonomiki [ugmk.info](http://ugmk.info) [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.marketing-ua.com>
2. Pererabotka nefiti v Ukraine v janvare-fevrale 2013 g. [Jelektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.uaenergy.com.ua>
3. Klemesh J. Primenenie metoda pinch-analiza dlja proektirovanija jenergosberegajushhih ustanovok neftepererabotki J. Klemesh, Ju.T. Kostenko, L.L. Tovazhnjanskij i dr. TOHT – 1999. – T. 33, #4. – p. 420–431.
4. Ul'ev L.M. Jekstrakcija dannyh dlja integracii processov gidroochistki i kataliticheskogo riforminga ustanovki L-35-11/600 L.M. Ul'ev, D.D. Nechiporenko, K.V. Nedil'ko Matematicheskie metody v tehnike i tehnologijah – ММТТ-25: Tezisy dokladov XXV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. – Har'kov: NTU «HPI», 2012 – p. 103
5. Smit R. Osnovy integracii teplovyh processov R. Smit, J. Klemesh, L.L. Tovazhnjanskij, P.A. Kapustenko, L.M. Ul'ev – Har'kov: HGPU, 2000. – 457 p.
6. Kemp, Ian C. Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy (2nd Edition), 2007. – 391 p.
7. Ul'ev L.M. Jenergosberegajushhij potencial processa gidroochistki na ustanovke kataliticheskogo riforminga L.M. Ul'ev, D.D. Nechiporenko Integrovani tehnologii ta energozberezhenija. – Harkiv: NTU «HPI», 2011. – # 2. – p. 20–28.
8. Ul'ev L.M. Jenergosberegajushhij potencial v sekcii kataliticheskogo riforminga na ustanovke L-35-11/600 L.M. Ul'ev, D.D. Nechiporenko, O.Ju. Valenova Visnik NTU «HPI». – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – #39. – p. 98–108.

УДК 658.26:665.63:338.45

Ульєв Л.М., Нечипоренко Д.Д.

**ПІНЧ-РЕКОНСТРУКЦІЯ СЕКЦІЙ ГІДРООЧИЩЕННЯ І КАТАЛІТИЧНОГО РИФОРМІНГУ  
НА УСТАНОВЦІ Л-35-11/600**

У результаті застосування пінч-методів отримана нова система теплообміну для процесів гідроочищення і каталітичного риформінгу сировини на установці каталітичного риформінгу L-35-11/600. Визначено зайві енерговитрати в існуючій схемі і проведена пінч-інтеграція як для кожного блоку окремо так і для спільного проекту реконструкції даних блоків. Впровадження пінч-проектуювання дозволяє знизити енергоспоживання для блоку гідроочищення сировини на 2,2 МВт. Для блоку каталітичного риформінгу енергоспоживання знижується на 6,4 МВт. Для спільної інтеграції блоків гідроочищення сировини і каталітичного риформінгу енергоспоживання знижується на 11,4 МВт. Була проведена порівняльна характеристика інтегрованих процесів. На основі економічно обґрунтованих розрахунків було зроблено висновок, що найбільш доцільним є проведення реконструкції для двох даних блоків спільно, а не окремо.

Ulyev L.M., Nechiporenko D.D.

### **PINCH RECONSTRUCTION OF HYDROTREATING AND CATALYTIC REFORMING SECTIONS ON UNIT L-35-11/600**

Pinch diagnostics for hydrotreating section and catalytic reforming section of catalytic reforming unit L-35-11/600 was carried out. Comparative economic analysis of their effectiveness after the proposed retrofit was performed for each section separately and for the total their flowsheet. The implementation of the pinch design allows to reduce power consumption for hydrotreating process by 2,2 MW, the payback period of the proposed project will be about 7 months. For the catalytic reforming section power consumption is reduced by 6,4 MW, the payback period of the proposed project will be about 10 months. Energy consumption for joint integration of hydrotreating section and catalytic reforming section reduced by 11,4 MW, the payback period of the proposed project will be about 8 months. Therefore, it was concluded that pinch design for these sections of catalytic reforming unit L-35-11/600 the most advisable to carry out for the two sections together.