

УДК 658.26:665.53:338.45

*Л.М.УЛЬБЕВ*, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
*Д.Д. НЕЧИПОРЕНКО*, аспирантка, НТУ «ХПИ»,  
*О.Ю. ВАЛЕНОВА*, студентка, НТУ «ХПИ»

## **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ПОТЕНЦИАЛ В СЕКЦИИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА НА УСТАНОВКЕ Л-35-11/600**

Цель данного проекта заключается в исследовании одного из блоков установки каталитического риформинга Л-35-11/600. В результате исследования были выявлены недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления. Достигнута минимальная разность температур между холодной и горячей составными кривыми, что позволяет уменьшить энергопотребление на установке на 8,2 МВт по сравнению с существующим процессом

Ціль даного проекту – обстеження процесу каталітичного риформінгу на установці переробки нафти Л-35-11/600. В результаті були виявлені недоліки існуючої теплообмінної системи, які призводять до збільшення енергоспоживання. Досягнуто мінімальну різницю температур між холодною та гарячою складовими кривими, що дозволяє зменшити енергоспоживання на установці на 8,2 МВт, в порівнянні з існуючою

A survey of the hydro resources in the installation of oil refining L-35-11/600 identified shortcomings of the existing heat exchange system, which lead to an increase in energy consumption. Reached a minimum temperature difference between hot and cold composite curves, which reduces power consumption by setting at 8,2 MW, as compared to the existing one

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями.**

Украина располагает масштабным недоиспользуемым потенциалом энергосбережения, который по способности решать проблему обеспечения экономического роста страны сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов. Энергоемкость украинской экономики существенно превышает в расчете по паритету покупательной способности аналогичный показатель в США, в Японии и развитых странах Европейского Союза.

Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны. По оценке, до 2015 года

темпы снижения энергоемкости при отсутствии скоординированной государственной политики по энергоэффективности могут резко замедлиться. Это может привести к еще более динамичному росту спроса на энергоресурсы внутри страны. Запасов нефти и газа в Украине не достаточно, а увеличение объемов добычи углеводородов и развитие транспортной инфраструктуры требуют значительных инвестиций [1].

Меры по снижению энергоемкости за период 1998-2009 гг. оказались недостаточными для того, чтобы остановить динамичный рост спроса на энергию и мощность. Рост спроса на газ и на электроэнергию оказался выше предусмотренных «Энергетической стратегией Украины» значений.

Существует два пути решения возникшей проблемы:

первый – крайне капиталоемкий путь наращивания добычи нефти и газа и строительства новых объектов электрогенерации; второй – существенно менее затратный, связанный с обеспечением экономического роста в стране за счет повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

Следует отметить, что на практике необходим симбиоз первого и второго вариантов с несомненным приоритетом энергоэффективности. В программе повышения энергоэффективности использования топливно-энергетических ресурсов важную роль занимает пинч-метод с использованием составных тепловых кривых.

Литературные данные, опубликованные в различных источниках, говорят о том, что при использовании методов пинч-анализа, можно сократить энергопотребление на предприятия практически в 2 раза [2].

Ранее, в работе [3], было начато решение проблемы по энергосбережению на блоке каталитического риформинга установки Л-35-11/600. Были определены все технологические потоки, которые необходимы для интеграции процесса с помощью метода пинч-анализа. Построенная составная кривая выявила недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления.

**Технологическая схема установки до интеграции.** На рисунке 1 приведена технологическая схема процесса каталитического риформинга на установке Л-35-11/600.

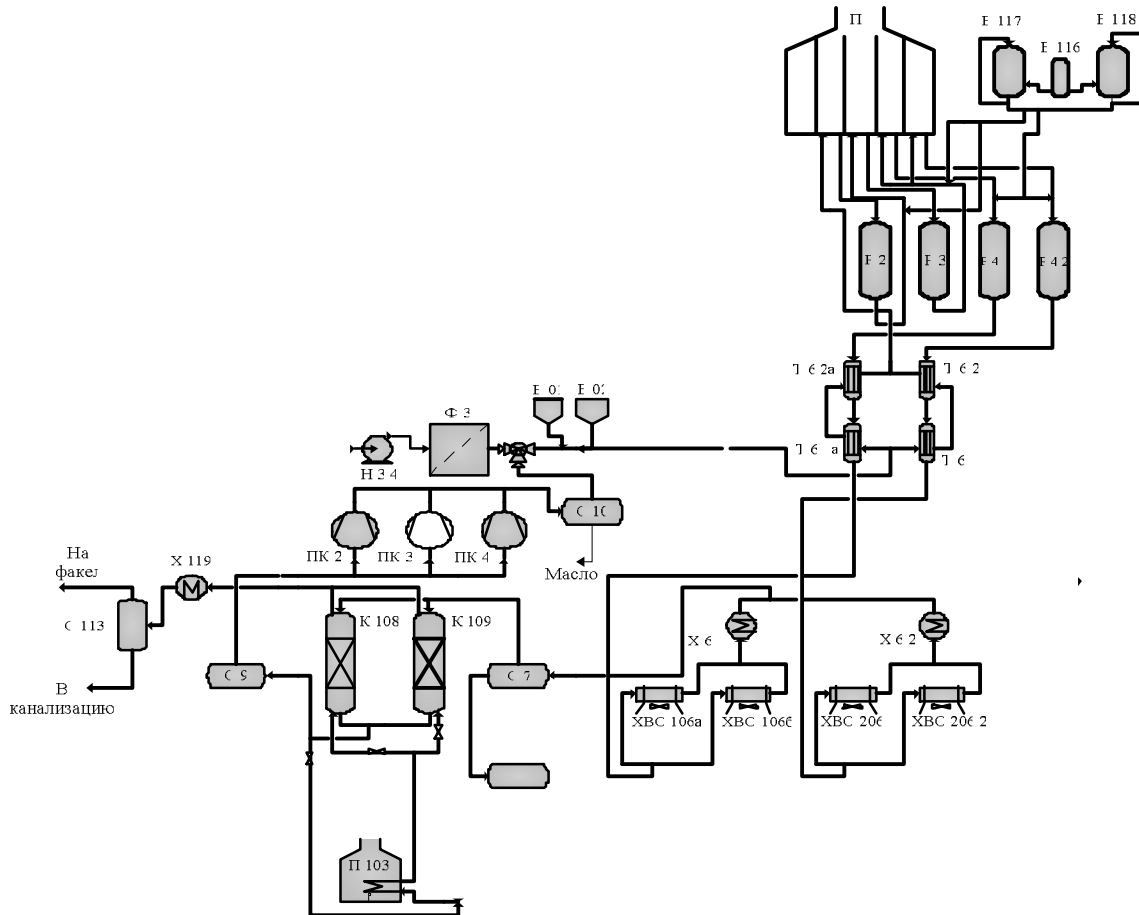


Рис. 1. Блок каталитического риформинга технологической схемы установки Л-35-11/600:

Н – насосы; П-1 – печь риформинга и гидроочистки; К-108,К-109-адсорберы, Р-2 – Р-4/2 – реактор каталитического риформинга; С – сепараторы; Т-6/1, Т-6/2,Т6/1а,Т6/2а– кожухотрубчатые теплообменники; Х – кожухотрубчатые холодильники; ХВО – холодильники воздушного охлаждения; ХК – кожухотрубчатые конденсаторы; Ф – фильтры, Е – емкости.

Ранее в работе [3] после изучения регламента, обследования реальной технологической схемы и определения потоков, которые будут использованы при тепловой интеграции процесса, была составлена таблица потоковых данных. В этой таблице представлены такие характеристики потоков как: начальная и конечная температуры, расход

потока, теплота парообразования, потоковая теплоемкость, тепловая нагрузка и коэффициенты теплоотдачи (таблица).

Таблица

Система потоков для анализа энергопотребления блока каталитического риформинга установки Л-35-11/600

№	Название потока	тип	$T_s$ , °C	$T_T$ , °C	$G$ , т/ч	$CP$ , кВт/К	$\Delta H$ , кВт	$\alpha$ , кВт/( $m^2 \cdot K$ )
1	Продукт из Р-4/1	гор	482	400	44,186	46,86	3842,85	0,28
			400	300	44,186	42,58	4257,72	0,28
			300	200	44,186	37,90	3790,01	0,28
			200	100	44,186	33,23	3322,95	0,28
			100	31	44,186	29,26	2019,16	0,28
2	Продукт из Р-4/2	гор	482	400	44,186	46,86	3842,85	0,28
			400	300	44,186	42,58	4257,72	0,28
			300	200	44,186	37,90	3790,01	0,28
			200	100	44,186	33,23	3322,95	0,28
			100	44	44,186	29,57	1655,66	0,28
3	Сырье риформинга на Р-2	хол	84	100	88,371	64,30	1028,84	0,28
			100	200	88,371	70,25	7025,27	0,28
			200	300	88,371	80,57	8056,83	0,28
			300	400	88,371	90,88	9088,40	0,28
			400	492	88,371	100,77	9270,87	0,28
4	Сырье риформинга на Р-3	хол	441	492	88,371	102,85	5245,13	0,28
5	Сырье риформинга на Р-4/1	хол	466	492	44,186	52,07	1353,78	0,28
6	Сырье риформинга на Р-4/2	хол	466	492	44,186	52,07	1353,78	0,28

На основании обследования технологической схемы была построена сеточная диаграмма (рис.2).

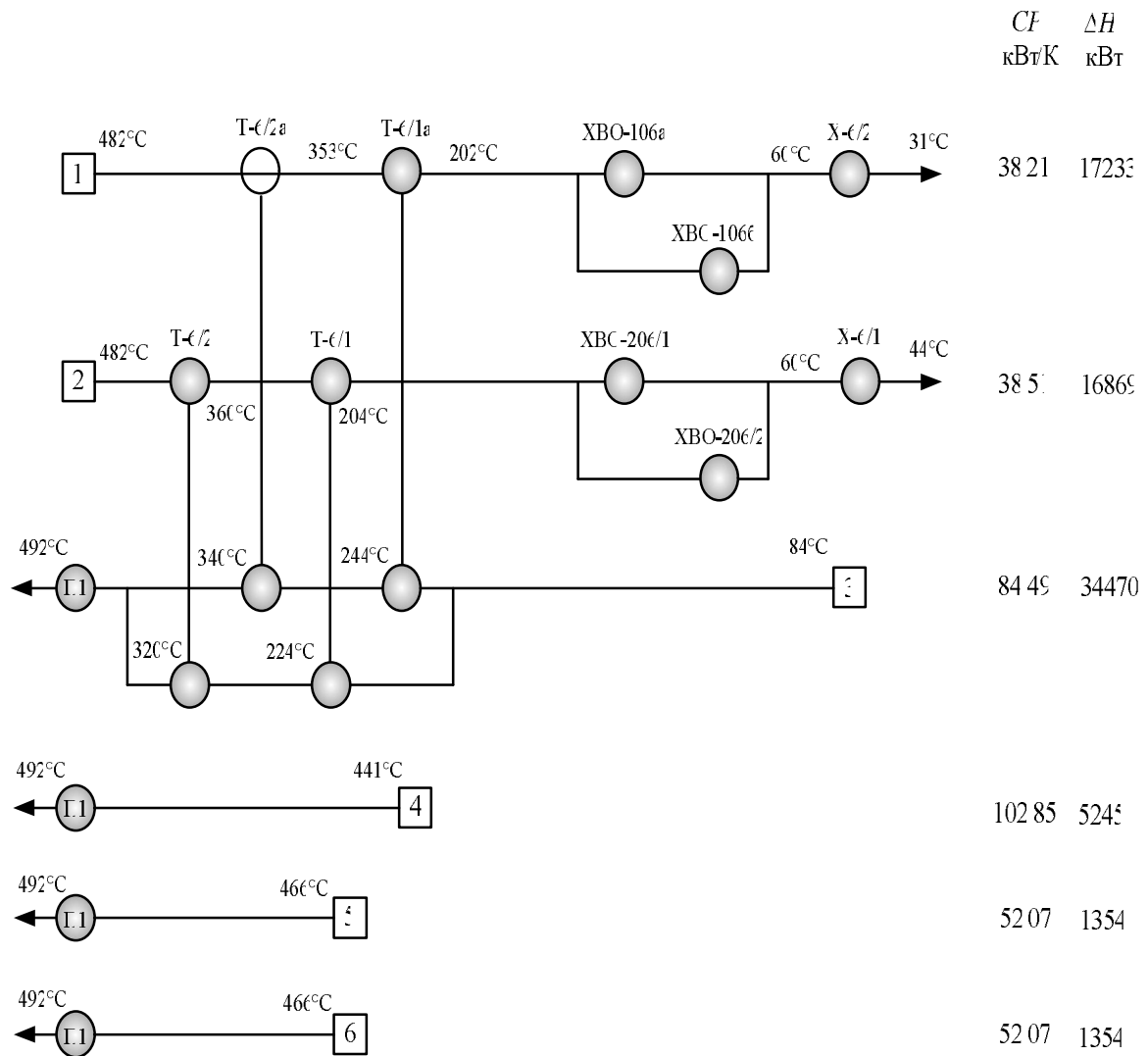


Рис. 2. Сеточная диаграмма существующего процесса:

1 – 2 – горячие потоки; 3 – 6 – холодные потоки;

CP – потоковая теплоемкость; ΔH – тепловые загрузки для каждого потока

На сеточной диаграмме были определены теплообменные связи между технологическими потоками, а также была посчитана мощность рекуперации теплоты, которая составила 21МВт. [4-6]

С помощью таблицы потоковых данных в программном обеспечении «Hint» были построены составные кривые (рис.3).

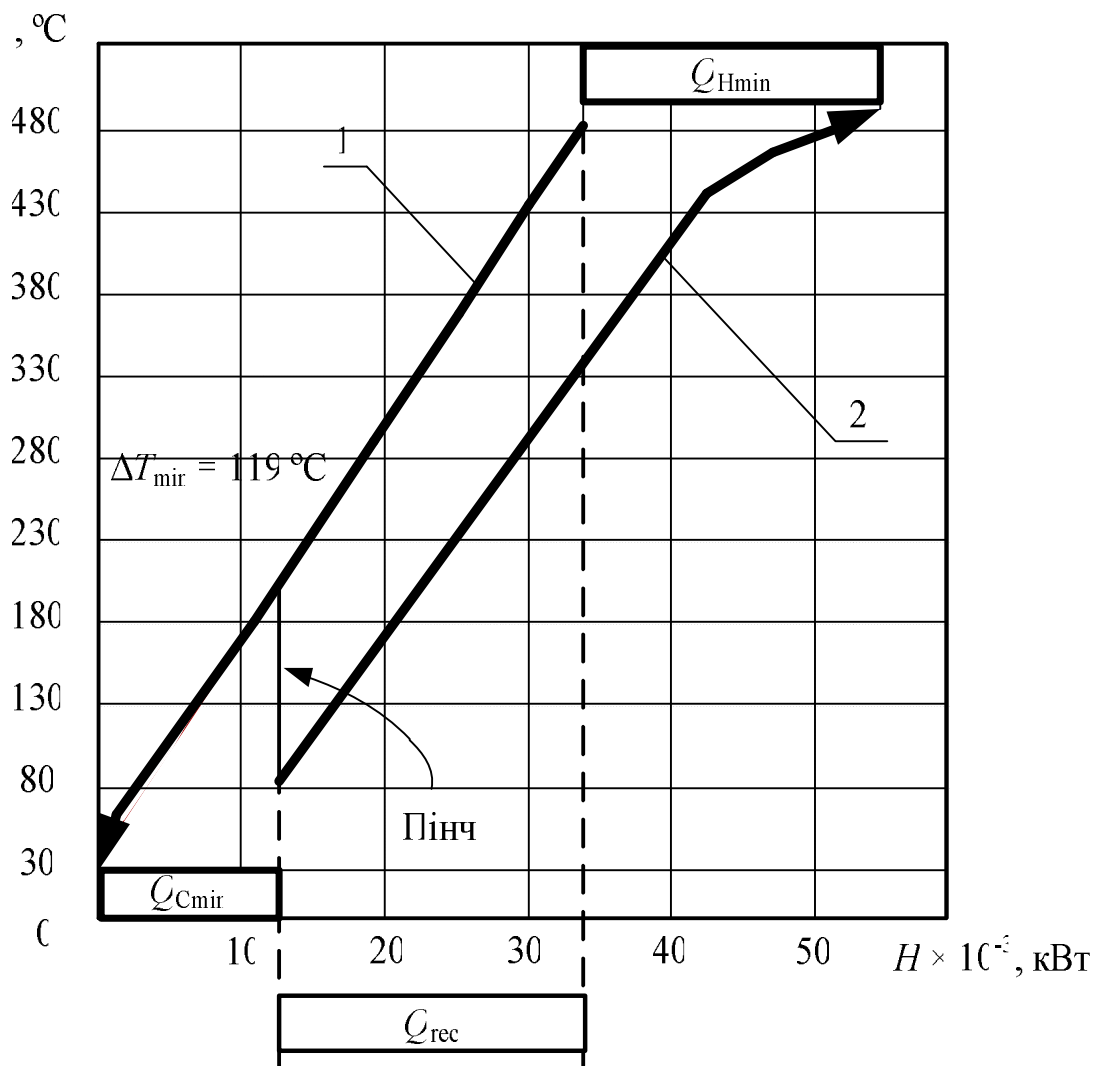


Рис. 3. Составные кривые существующего процесса каталитического риформинга:

1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков;  
 $Q_{Hmin}$ ,  $Q_{Cmin}$ ,  $Q_{rec}$  – мощность горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации.  $Q_{Hmin} = 20,8$  МВт,  $Q_{Cmin} = 12,7$  МВт,  $Q_{rec} = 21$  МВт

Составные кривые располагаются на температурно-энтальпийной диаграмме таким образом, чтобы мощность рекуперации составляла 21 МВт. По составным кривым определяем полезное минимальное значение горячих и холодных утилит, которое составляет –20,8 МВт для горячих утилит и 12,7 МВт для холодных утилит. Кроме всего прочего составные кривые позволяют определить  $\Delta T_{min}$  для существующей системы теплообмена, которое в существующем проекте составляет 119 С. [3]

Наименьшее расстояние между кривыми по оси ординат – температурной оси показывается областью пинча выбранной системы технологических потоков. В нашем случае пинч локализуется на температурах:  $T_{H\text{ pin}} = 203^\circ\text{C}$ ,  $T_{C\text{ pin}} = 84^\circ\text{C}$  Разница температур в области пинча равна  $\Delta T_{\min} = 119^\circ\text{C}$

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

Для того, чтобы экономически оптимально интегрировать рассматриваемый процесс, нам необходимо выяснить наиболее важные экономически значения, существенно влияющие на приведенную стоимость выполненного проекта.

Стоимость горячих утилит, использованных в процессе, примем равной 258 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 25,8 долл. США за 1 кВт год.

Используя цены на теплообменное оборудование, полученные от его производителей, можно еще до выполнения проекта реконструкции оценить необходимые капвложения и срок их окупаемости [4]. Итак капитальную стоимость одного теплообменного аппарата можно определить выражением:

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

где  $A_T = 5000$  долл. США – стоимость установки одного теплообменного аппарата, для пластинчатых теплообменных аппаратов  $A_T = 5000$  долл. США;  $B_T$  – коэффициент, эквивалентный стоимости 1 м<sup>2</sup> площади поверхности теплообмена, для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов  $B_T = 500$ , для пластинчатых  $B_T = 800$ ;  $S$  – площадь поверхности теплообмена теплообменного аппарата;  $c$  – коэффициент, отражающий нелинейную зависимость стоимости

теплообменника от величины его поверхности теплообмена. Для кожухотрубчатых теплообменников, как правило,  $s = 0,87$ .

Будем считать, что для выполнения проекта предприятие берет в банке кредит сроком на 5 лет с 10% кредитной ставкой.

Расчет дисконтированных величин стоимостей проекта процесса гидроочистки сырья позволяет определить значение минимальной разности температур между теплоносителями в будущей системе рекуперации тепловой энергии с учётом существующего теплообменного оборудования,  $\Delta T_{\min} \approx 8^\circ\text{C}$  (рис. 4).

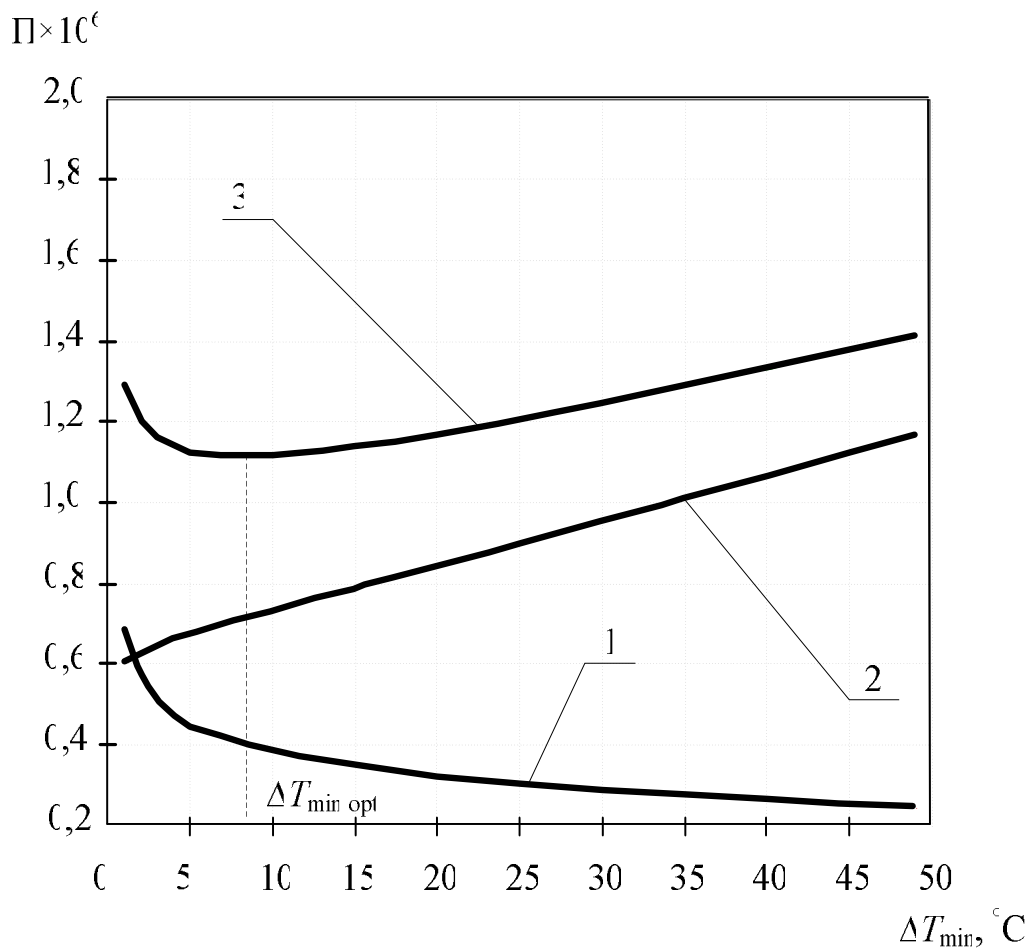


Рис. 4. Зависимость приведенной стоимости от  $\Delta T_{\min}$   
 1 – инвестиции в оборудование; 2 – энергия; 3 – общая стоимость.  
 $\Delta T_{\min, \text{opt}} \approx 8^\circ\text{C}$

Более детальный анализ области локализации  $\Delta T_{\min}$  показывает нам, что величина общей дисконтированной стоимости проекта в диапазоне изменения  $\Delta T_{\min} \in 5 \dots 10^\circ\text{C}$  меняется незначительно (рис. 4).



Это означает, что процесс каталитического риформинга, выполненный с системой теплообмена при  $\Delta T_{\min}$  выбранном из интервала  $5 \dots 10^\circ\text{C}$  будет работать в экономически оптимальном режиме.

Поэтому построим составные кривые для  $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$  (рис. 5).

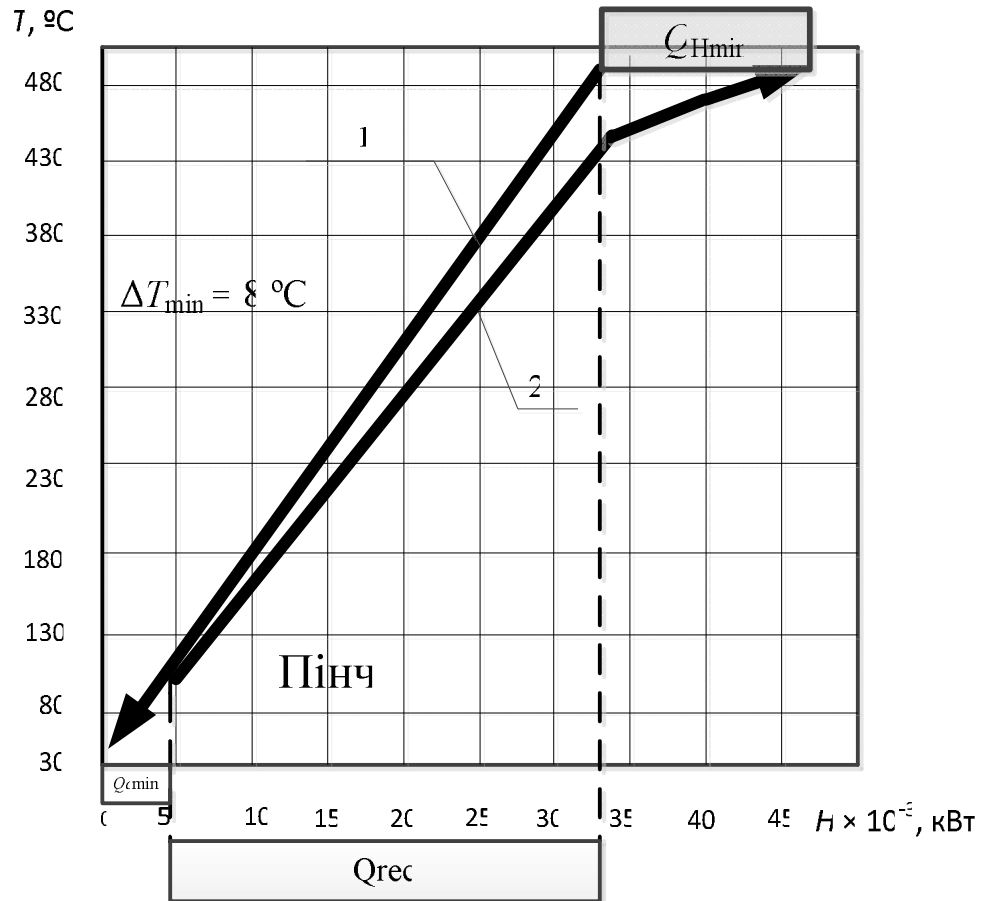


Рис. 5. Составные кривые процесса гидроочистки сырья, построенные для  $\Delta T_{\min} = 8^\circ\text{C}$

1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков;  $Q_{H\min}$ ,  $Q_{C\min}$ ,  $Q_{\text{rec}}$  – потребляемая мощность горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации.

$$Q_{H\min} = 13 \text{ МВт}, Q_{C\min} = 4,8 \text{ МВт}, Q_{\text{rec}} = 29,2 \text{ МВт}$$

Мы видим, что пинч локализуется на температуре для горячих потоков, равной  $92^\circ\text{C}$ , и соответственно для холодных потоков –  $84^\circ\text{C}$ . Составные кривые показывают, что горячие утилиты приобретают значение равное  $Q_{H\min} = 13 \text{ МВт}$ , что на 59% меньше, чем процесс получает от утилитной системы в настоящее время. Значение холодных

утилит составляет  $Q_{Cmin} = 4,8$  МВт что на 33% меньше, чем процесс получает от утилитной системы в настоящее время

Мощность рекуперации тепловой энергии в интегрированной системе с  $\Delta T_{min} = 8^{\circ}\text{C}$  достигнет значения  $Q_{rec} = 29,2$  МВт. Таким образом, с помощью углубления теплоэнергетической интеграции в процессе каталитического риформинга на установке Л-35-11/600 можно уменьшить энергопотребление на 8,2 МВт.

### **Выводы.**

В результате применения пинч-методов была получена сравнительная характеристика существующего процесса каталитического риформинга сырья и интегрированного процесса. Внедрение данной реконструированной схемы позволит снизить удельное энергопотребление горячих утилит на 8516 кВт, а холодных – на 8617 кВт, что составляет экономию 59% по горячим утилитами и 33% по холодным утилитами.

**Список литературы:** 1. Сайт энергосберегающих технологий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://energo.kiev.ua/> . 2. Методичні вказівки для вивчення учбових матеріалів по розділу «Пінч-аналіз» за курсом «Вступ до спеціальності» для студентів хіміко-технологічних спеціальностей усіх форм навчання / *Товажнянский Л.Л., Ульев Л.М.* – Харків: НТУ «ХПИ», – 2010. – 40 с. 3. *Ульев Л.М.* Экстракция данных процесса каталитического риформинга на установке переработки нефти Л-35-11/600 / *Л.М. Ульев, Д.Д. Нечипоренко, О.Ю. Валенова* // Интегровані технології та енергозбереження. – 2011, – №2. – С. 20 – 28. 4. *Nordman R.* New process integration methods for heat – saving retrofit projects in industrial systems. Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden. – 2005. – 77 p. – с. 179. 5. *Товажнянский Л.Л.* Построение составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности предприятий / *Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, Б.Д. Зулин, Н.Д. Андрійчук* // Матеріали міжд. научно-техн. конф. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», microCAD'96. Ч. 1. Харків. – 1996. 6. *Товажнянский Л.Л.* Алгоритм построения составных кривых технологических процессов для определения энергетической эффективности предприятий / *Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, Б.Д. Зулин* // Междунар. конф. «Математические методы в химии и химической технологии», ММХ-10. Тезисы докладов. Тула. – 1996. – с. 74–75.

*Поступила в редколлегию 21.07.12*