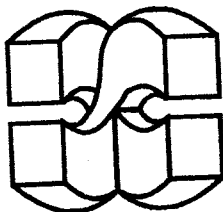


microCAD '97
International Meeting on Information Technology
KHARKOV 12-14 May 1997



PRINTED MATTERS
OF CONFERENCE

Министерство образования Украины
Харьковский государственный политехнический университет

Мишкольцкий университет (Венгрия)

Магдебургский университет (Германия)

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
НАУКА, ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЯ,
ОБРАЗОВАНИЕ, ЗДОРОВЬЕ**

Труды
международной научно-технической конференции
12-14 мая 1997 г.

В пяти частях

Часть
четвертая

Харьков 1997

Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Тр. междунар. науч.-техн. конф., Харьков, 12-14 мая 1997г. В пяти частях. Ч.4. - Харьков, Мишкольц, Магдебург: Харьк. гос. политехн. ун-т, Мишкольц, ун-т, Магдебург. ун-т, 1997. - 448 с.

В четвертой части представлены работы, отражающие актуальные вопросы использования ЭВМ для решения задач разработки и совершенствования химических технологий.

Для научных работников, специалистов, преподавателей, аспирантов, студентов высших учебных заведений соответствующих специальностей.

Организаторы: Харьковский государственный политехнический университет, Мишкольцкий университет (Венгрия), Магдебургский университет (Германия), Академия наук высшей школы Украины

Программный комитет: Львов Г.И., Патко Д. (сопредседатели), Грабченко А.И. (зам. председателя), Баженов В.Г., Белов В.К., Бондаренко В.Е., Гудаленко Ю.Г., Загребельный В.Н., Ковач Ф., Космачев С.М., Лисрат Ф., Наний В.В., Некрасов А.П., Новгородцев В.А., Пелих В.Ф., Перерва П.И., Пискиряев В.И., Рыщенко М.И., Тарасенко Н.А., Товажнянский Л.Л., Челени Й., Чернышев И.С.

Харьковский государственный политехнический университет,
310002, Харьков-2, Фрунзе, 21

Труды воспроизведены непосредственно с авторских оригиналов

ISBN 966-593-000-1

© Харьковский государственный
политехнический университет,
Мишкольцкий университет,
Магдебургский университет,
1997

ПРИМЕНЕНИЕ ПИНЧ - АНАЛИЗА К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССА ПЕРЕГОНКИ СЫРОЙ НЕФТИ

Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, А.Ю. Первертайченко, Б.Д. Зулин, Харьков, Украина

Й. Клемец, Манчестер, Великобритания

The results of heat network optimization for crude oil distillation unit with the help of pinch analysis are represented in this work. For this purpose the detailed investigation of heat streams on the unit was carried out, the mathematical model, which was based on temperature-enthalpy digitization of the system of heat streams and balance ratios between them and also included the cost characteristics of equipment and consumed energy, was worked out. The final design of the heat exchanger network of unit gives the economy of 9 MW of power with pay-back in 10 months.

Основная доля стоимости энергии, потребляемой на НПЗ, приходится на топливо, сжигаемое в печах на установках первичной переработки нефти. Для снижения затрат на НПЗ необходимо более рационально использовать тепловую энергию полученных продуктов.

Сырая нефть перед поступлением в предварительный эвапоратор подогревается в блоке теплообменников первичного подогрева. Величина рекуперлируемой энергии в этом блоке в значительной мере определяется расположением теплообменников на технологических потоках.

Задача синтеза теплообменных (ТС) систем, обеспечивающих минимальное потребление энергии от внешних энергоносителей при подводе её к потребителю, является одной из наиболее сложных технических проблем, с которой приходится сталкиваться как при первоначальном проектировании, так и при реконструкции теплосистем промышленных установок.

Сравнение различных методов синтеза ТС [1] показало, что наиболее полно удовлетворяет указанным требованиям метод пинч-анализа, предложенный и развитый проф. Б. Линкхоффом (U/MIST) [2-5]. Пинч-метод основан на термодинамическом анализе системы технологических потоков, а для экономической оптимизации использует немонотонную зависимость приведенной стоимости проекта от наименьшего температурного напора на теплообменном оборудовании [6]. При увеличении ΔT_{\min} на теплообменном оборудовании стоимость запрашиваемой энергии возрастает за счет недорекуперации теплоты, а стоимость самого оборудования уменьшается за счет уменьшения поверхности теплообмена, что и приводит к немонотонной зависимости суммарной годовой стоимости внешних энергоносителей и оборудования от ΔT_{\min} , а это в свою очередь позволяет определить оптимальное значение ΔT_{\min} и для него создавать проект.

Для определения оптимального ΔT_{\min} необходимо вычислить значения потребляемой и отводимой от проектируемого процесса энергии, а также величины поверхностей теплообмена, необходимых для размещения на технологических потоках. Для этого в Пинч-анализе используется аппарат составных кривых [3].

Для построения составных кривых выясняются теплофизические и технологические данные потоков участвующих в теплообмене, т.е. начальные и конечные температуры T_s , T_T , теплоёмкости C и их массовые расходы M , что позволяет определить их потоковые теплоёмкости $CP = MC$ и затем изменение их потоковых энтальпий в соответствующих температурных интервалах

$$Q = \int_{T_4}^{T_7} CP \times dT = \Delta H, \text{ если } CP = \text{const, то } \Delta H = CP \cdot (T_7 - T_4).$$

После этого каждый поток можно представить прямым отрезком на энтальпийно - температурной плоскости (если $CP = \text{const}$). Аналогично можно изобразить кривые для нескольких горячих или холодных потоков, суммируя CP потоков для каждого температурного интервала, и затем вычисляя общее изменение энтальпии в них. Температурные интервалы определяются значениями температур T_{Si} и T_{Pi} для соответствующих потоков.

Построение составных кривых достаточно просто алгоритмизируется. Для этого сначала последовательно строятся вдоль энтальпийной оси горячая, и сразу за ней, холодная составные кривые. Затем определяем расстояние между кривыми по энтальпийной оси во всех точках излома горячей кривой, для которых $\left(\frac{dT}{dH}\right)_{i+1} > \left(\frac{dT}{dH}\right)_i$, и холодной кривой, для которых $\left(\frac{dT}{dH}\right)_{i+1} < \left(\frac{dT}{dH}\right)_i$, определяем минимальное из этих расстояний и сдвигаем на эту величину холодную кривую влево.

Сейчас кривые касаются в одной из точек, т.е. $\Delta T_{\min} = 0$, что физически соответствует максимальной рекуперации тепла, т.е. бесконечно большой поверхности теплообмена, что практически не выполнимо. Далее двигаем холодную кривую вправо до тех пор, пока в последней из указанных выше точек, либо в крайних точках кривых, расстояние между ними по температурной оси не станет равным ΔT_{\min} . После такого построения легко посчитать интересующие нас мощности.

Место локализации ΔT_{\min} называется пинчем [4,5,7]. Энтальпийный интервал, на котором составные кривые перекрываются, показывает рекуперацию тепла в сети теплообменников для данной величины ΔT_{\min} . Не перекрывающийся энтальпийный интервал в верхней части кривых определяет мощность, подводимую внешними энергоносителями к технологическому процессу, в нижней части - мощность, которая должна быть отведена внешними хладагентами. Тем самым, еще до начала моделирования сети теплообменников, мы можем установить энергетические цели, которым должен удовлетворять окончательный проект [7].

При известной потребляемой и отводимой мощности и удельной стоимости энергоносителей легко вычислить общую стоимость энергоносителей, потребляемых теплоэнергетической системой. Стоимость теплообменников вычисляем определяя поверхность теплообмена по величине максимальной рекуперации тепла. Далее с помощью итерационной процедуры определяется ΔT_{\min} оптимальное, соответствующее определенной целевой функции (минимум приведенных затрат, минимальное потребление энергии или минимальные капитальные вложения и т.д.)

Сырая нефть, поступающая на колонну атмосферного разделения, сначала нагревается от 30°C до 115°C в блоке теплообменников первичного подогрева горячими потоками мазута, бензина, керосина, тяжелого и легкого дизельного топлива. Затем нефть подается на обессоливание, после чего нагревается до 210-220°C за счёт теплообмена с горячим мазутом и нижними циркуляционными орошениями ректификационных колон. Как правило, температура 220°C при этом не достигается, а верхний уровень температуры, связанный с технологическими ограничениями, равен 250°C.

Основная рекуперация тепла на установке происходит в блоке теплообменников первичного подогрева нефти. В обследованной теплосети существует ещё несколько теплообменников, используемых для подогрева потоков рециркуляции колонн.

В исследуемом случае на установке существует 26 технологических потоков. Потоки, у которых теплоёмкость значительно изменяется с температурой, разделены на температурные сегменты, в пределах которых СР можно считать постоянными. Суммируя СР в температурных интервалах для соответствующих потоков, строим составные кривые для холодных и горячих потоков.

В действующей теплообменной сети $\Delta T_{\min} \approx 56^\circ\text{C}$, и, чтобы для этого значения определить потребляемую и отводимую с установки мощности, необходимо расположить эти кривые так, чтобы по оси Т минимальное расстояние между ними было 56°C . После такого построения легко посчитать интересующие нас мощности (Рис. 1). Мощность трубчатых печей на действующей установке $Q_{\text{н}} = 76139$ мегаватт, а отвести от установки необходимо $Q_{\text{с}} = 60330$ мегаватт.

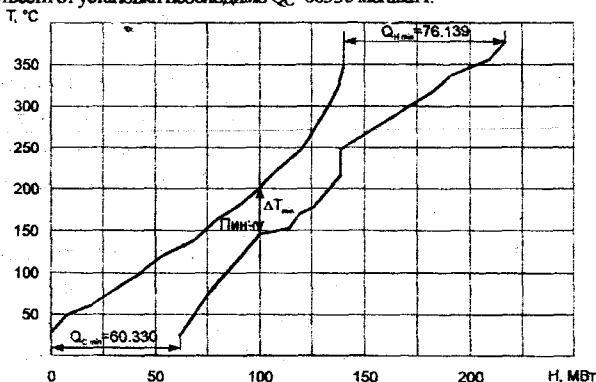


Рис. 1. Составные кривые существующей теплосети установки. Т-температура, Н-поток энthalпии, $Q_{\text{н}}$ - потребляемая мощность от горячих энергоносителей, $Q_{\text{с}}$ - мощность отводимая с установки; 1- горячая составная кривая, 2-холодная.

Определение ΔT_{\min} для реконструкции установки переработки нефти с последующей окупаемостью вложенных средств в течение 10 месяцев дало

величину $\Delta T_{\min} = 35^\circ\text{C}$. При этом принимались в расчёт мировые цены на оборудование, его установку, эксплуатацию и используемую энергию. Построение составных кривых для ΔT_{\min} до 35°C и учитывая то, что нефть, поступающую на колонну атмосферного разделения можно нагревать до 250°C , показали возможность уменьшения мощности печей на 10,5 МВт, т.е. на ~15% от существующего потребления энергии, но при этом предполагается возможность полной интеграции потоков.

Выше отмечалось, что нагрев сырой нефти, поступающей на колонну К-1, возможен до 250°C , т.е. все возможные целевые температуры 13 потока находятся выше температуры локализации пинча, а это говорит о том, что топология тепловой сети, близкой к оптимальной, не будет изменяться в пределах возможного изменения целевой температуры 13-го потока.

Сеточная диаграмма для рассматриваемой установки представлена на рис. 2. Здесь показаны верхняя и нижняя температуры пинча, а косыми линиями показаны размещения, переносящие тепло через пинч.

Сеточная диаграмма существующей теплообменной сети показывает, что существует перенос теплоты через пинч (Рис. 2). Для того чтобы исключить перенос тепла от горячих внешних энергоносителей к хладагентам, будем проектировать сеть теплообменников раздельно выше и ниже пинча.

205.56°C ($\Delta T_{min} = 55.6^\circ$)

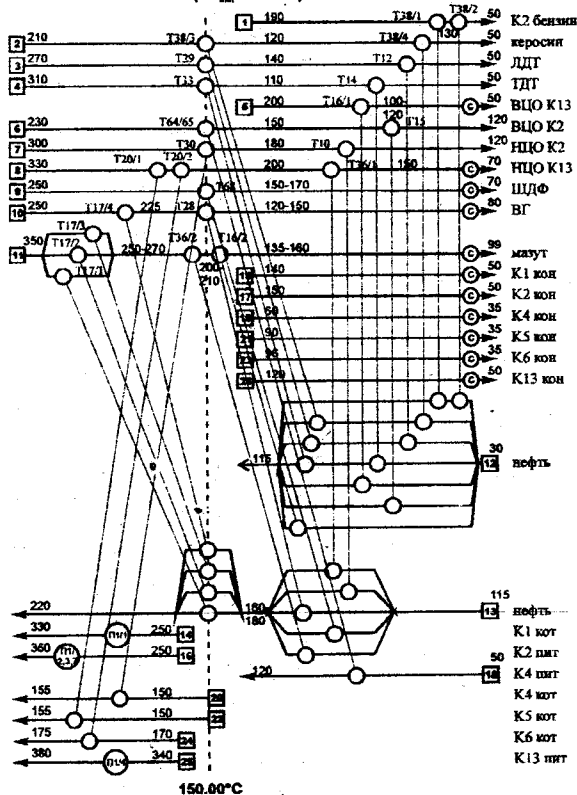


Рис. 2. Столбчатая диаграмма существующей теплоэнергетической установки.

При этом на каждом размещении теплообменников необходимо стараться выдерживать $\Delta T_{min} = 35^\circ\text{C}$, а для размещений на температуре пинча это должно быть строгим правилом. На размещенных теплообменниках должны выполняться СР-правила, т.е. $СР_{hot} \leq СР_{cold}$ выше температуры пинча и $СР_{hot} \geq СР_{cold}$ ниже [7], а также отношения $\frac{СР_{hot}}{СР_{cold}}$ на теплообмен-

никах должны быть близки к этим соотношениям для составных кривых на верхней температуре пинча у теплообменников, размещенных выше пинча, и на нижней температуре пинча для теплообменников, размещенных ниже пинча [8]. Ниже пинча соотношение $\left(\frac{\sum СР_{hot}}{\sum СР_{cold}} \right)_{pinch} \sim 1,4$

на всем интервале перекрытия кривых, поэтому для размещений теплообменников его просто выполнить. На верхней температуре пинча $\left(\frac{\sum СР_{hot}}{\sum СР_{cold}} \right) \sim 0,4$, но на малом эн-

тальпийном интервале. На большей части энтальпийного интервала выше пинча данное отношение ~ 1 , поэтому и мы в основном будем придерживаться этой величины.

Дальнейшая эволюция проекта предполагает объединение построенных тепловых сетей выше и ниже температуры пинча. В итоге получаем теплообменную сеть с 23 связями между потоками (Рис.2), т.е. на одно размещение меньше, чем у существующей сети. Общая площадь теплообмена составляет $\sim 18100 \text{ м}^2$, т.е. на 7,7% больше существующей, но данный проект позволяет нагреть сырую нефть, поступающую на колонну К-1 до 245°C , т.е. снизить мощность трубчатой печи ПП на 9 МВт, что экономически эквивалентно открытию новой нефтяной скважины. На несколько большую величину $\sim 1 \text{ МВт}$ снижается нагрузка на холодные энергоносители, т.к. некоторая часть энергии, ранее передававшаяся хладагентам, сейчас используется для дополнительного подогрева нефти.

