

УДК 66.045.1:004.4

Л.М. УЛЬЕВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,

О.А. ЯЦЕНКО, студентка, НТУ «ХПИ»

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ СЕТЕЙ – HINT

В данной работе рассматривается образовательное программное обеспечение – Hint. Его возможности описаны на примере рекуперации тепловой энергии процесса ректификации смеси метанол – вода. В результате внедрения проекта реконструкции потребление тепловой энергии может быть сокращено на 86,5%, а охлаждающей воды и вовсе сократиться до нуля

У даній роботі розглядається освітнє програмне забезпечення – Hint. Його можливості описано на прикладі рекуперації теплової енергії процесу ректифікації суміші метанол – вода. В результаті впровадження проекту реконструкції споживання теплової енергії може бути скорочено на 86, 5%, а охолоджуючої води і зовсім скоротитися до нуля

In this work we consider the educational software – Hint. Her features were described by the example of heat recovery process of distillation of methanol - water. As a result of the reconstruction of thermal energy consumption can be reduced by 86. 5%, and the cooling water does reduce to zero

Введение. В связи с ограничением природных ресурсов стоимость энергии возросла, и эта тенденция будет продолжаться в будущем. Именно поэтому, возможность минимизировать использование ресурсов (в частности энергии) становится крайне важным навыком. Для того, чтобы свести к минимуму использование энергии в химических процессах, были предложены два метода. Первый, Синтез Теплообменных Сетей (СТС) – проблема формулируется как целочисленная нелинейная оптимизация задачи (MINLP) [1]. Основное преимущество этого метода заключается в его способности, найти оптимальное решение проблем для СТС. Однако этот метод обеспечивает очень ограниченную информацию как о факторах, которые определяют минимальное потребление энергии процессом, так и о возможности изменения рекуперативной теплообменной системы, для уменьшения удельного энергопотребления.

Вторым методом является так называемый пинч-метод, который основан на термодинамическом анализе процесса [2, 3]. Основными элементами этого метода являются расчет целевых значений энергии и стоимости процесса, которые показывают минимальное потребление

энергии и минимальную стоимость теплообменных сетей (ТС). Проектирование пинч-методом не дает гарантию нахождения оптимального решения. Тем не менее, позволяет разработать ТС, которая работает с минимальным потреблением энергии и в то же время является приближенной к оптимальной теплообменной сети. Кроме того, это позволяет инженеру осуществлять контроль над проектом, и помогает определить параметры процесса, которые ограничивают энергосбережение. По этим причинам пинч метод является популярным и устоявшимся инструментом для проектирования ТС.

Расчеты, необходимые для пинч-метода достаточно просты и могут быть сделаны вручную. Тем не менее, в реальности они могут быть утомительными и занимать много времени. Таким образом, наличие программного обеспечения, которое выполняет эти повторяющиеся задачи представляет интерес для изучения и применения метода пинча. Несколько коммерческих симуляторов схемы включают инструменты пинч анализа. Основные недостатки использования этих программных пакетов, требуется обязательное знание пинч-метода и предыдущее умение пользоваться симулятором, а иногда реализация дизайна пинч концепции в этих пакетах не ясна и это делает обучение сложным. Одним из таких программных обеспечений для проектирования теплообменных сетей на основе пинч-метода является Hint Heat-integration (тепло-интеграция). Особые меры были приняты к дизайну интерфейсу программы (рис. 1). Он разрабатывался целенаправленно для получения четкого представления о концепции проектирования пинч методом и позволяет студентам производить контроль проекта на всех его этапах. Кроме того, возможно несколько вариантов ввода данных, а результаты программы представляются в форме схожей со справочником (в форме графиков и таблиц), который является наиболее известным форматом для студентов. Программа доступна для скачивания как на испанском и английском языках, на следующей веб-странице: www.iq.uva.es/integ/Integracion.zip (испанский язык), www.iq.uva.es/integ/Hint.zip (на английском языке).

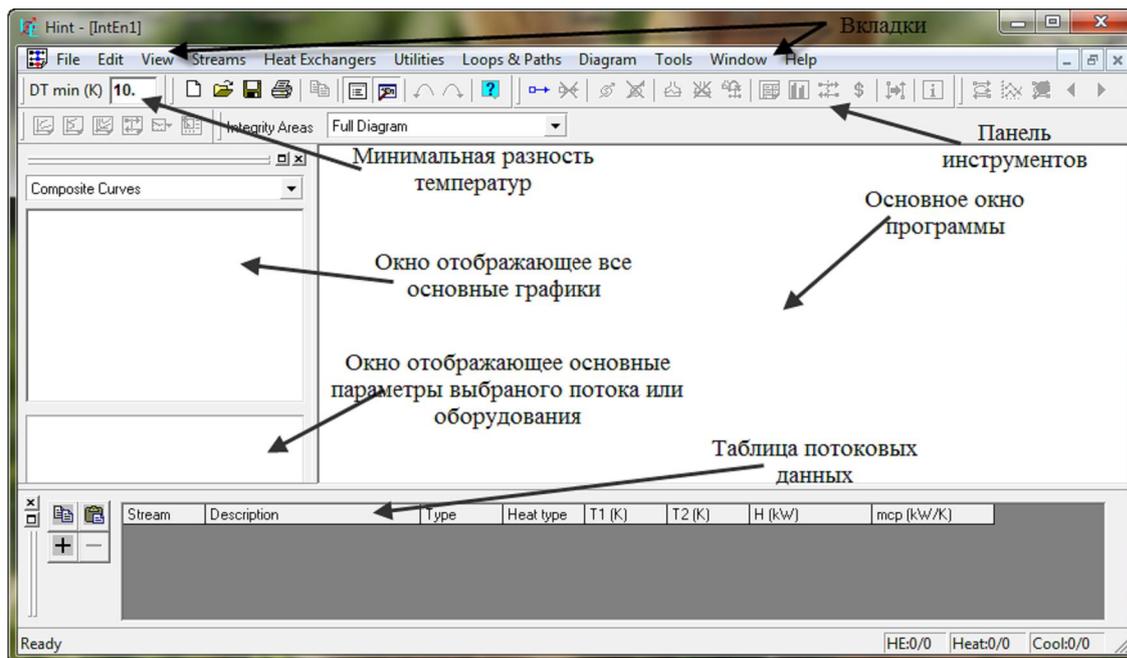


Рис. 1. Интерфейс программы Hint

Методологию использования программы Hint рассмотрим на примере экономически оптимальной системы рекуперации тепловой энергии в процессе ректификации смеси метанол – вода (рис. 2).

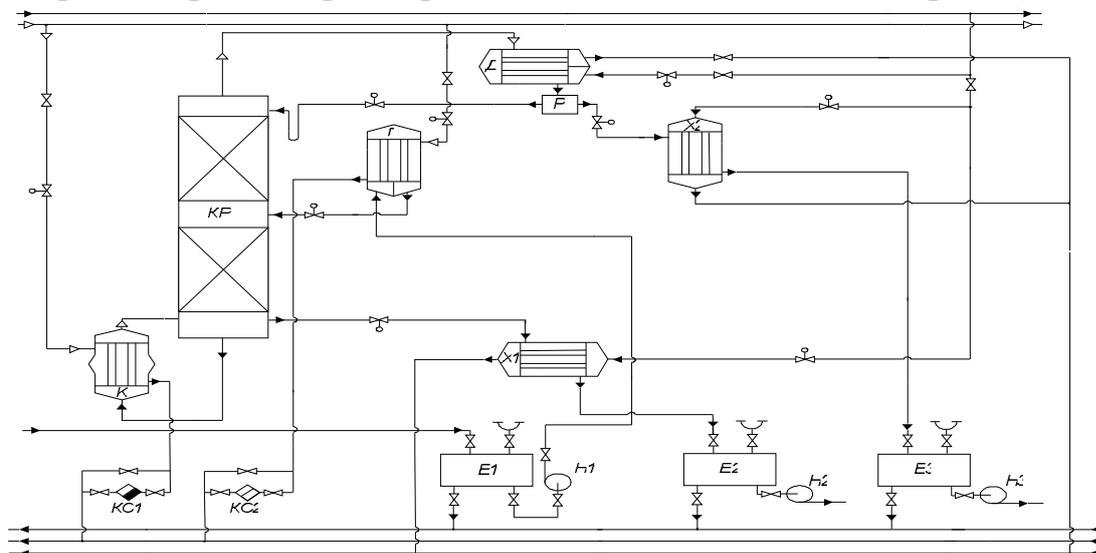


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема ректификации смеси метанол – этанол: КР – колонна ректификационная; Д – дефлегматор; К – кипятильник; П – подогреватель; Р – распределитель; Х1-2 – холодильник; Е1-3 – емкость; Н1-3 – насос; КО1-2 – конденсатоотводчик

Обследование технологической схемы процесса ректификации позволило рассчитать материальный и тепловой балансы, определены

значения материальных потоков: исходной смеси, дистиллята и кубового остатка. Все эти данные приведены в табл. 1

Таблица 1

Потоковые данные технологической схемы

Stream	Description	Type	Heat type	T1 (K)	T2 (K)	H (kW)	mcp (kW/K)
1	F	Cold	Sensible	19.	84.2	213.5	3.27454
2	P	Hot	Sensible	65.7	25.	-21.1	0.5184275
3	W	Hot	Sensible	96.5	35.	-163.6	2.660163

Используя данные, полученные при обследовании установки (табл. 1), строим сеточную диаграмму процесса ректификации смеси метанол-вода (рис. 1).

Задание потоков. Для того чтобы задать поток воспользуемся панелью инструментов (рис. 1), для этого нажимаем иконку Add Stream.

Рис. 3. Данные потока исходной смеси

В появившемся окне вводим следующие данные (рис. 3):

1) Номер потока Stream number (первому потоку автоматически присваивается первый номер);

- 2) В строке Description присвойте потоку имя «F»;
- 3) В строках Supply Temperature и Target Temperature вводим 19 °С и 84.2 °С соответственно.
- 4) В строке Heat Transferred можно вводить потоковую теплоемкость или нагрузку на потоке. В нашем случае введите нагрузку 213.5 кВт, при этом теплоемкость будет рассчитана автоматически;
- 5) Нажмите ОК чтобы создать поток.

Аналогично создайте горячий поток номер 2 и 3 согласно данным из таблицы потоковых данных. Для того чтобы добавить следующий поток в строке Stream number введите номер и нажмите кнопку Add. Теперь можно вводить остальные данные. После того как все потоки будут созданы, главное окно должно иметь следующий вид (рис. 4).

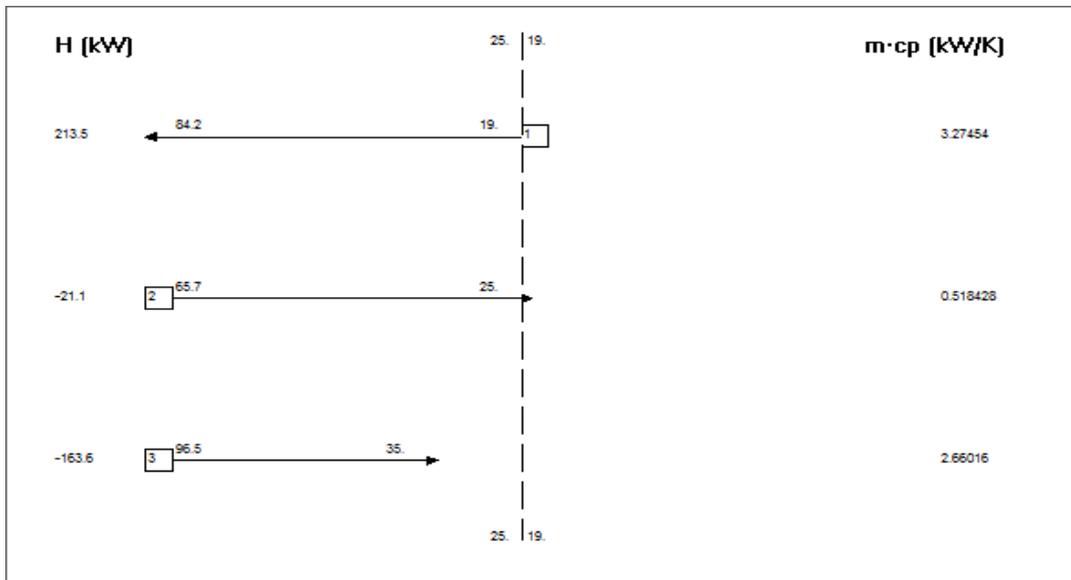


Рис. 4. Сеточная диаграмма технологических потоков построена в программном обеспечении HINT.

Составные кривые. Используя данные из табл. 1 и сеточной диаграммы рис. 3 строим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составные кривые выбранной системы технологических потоков для $\Delta T_{\min} = 6 \text{ °C}$ (рис. 5).

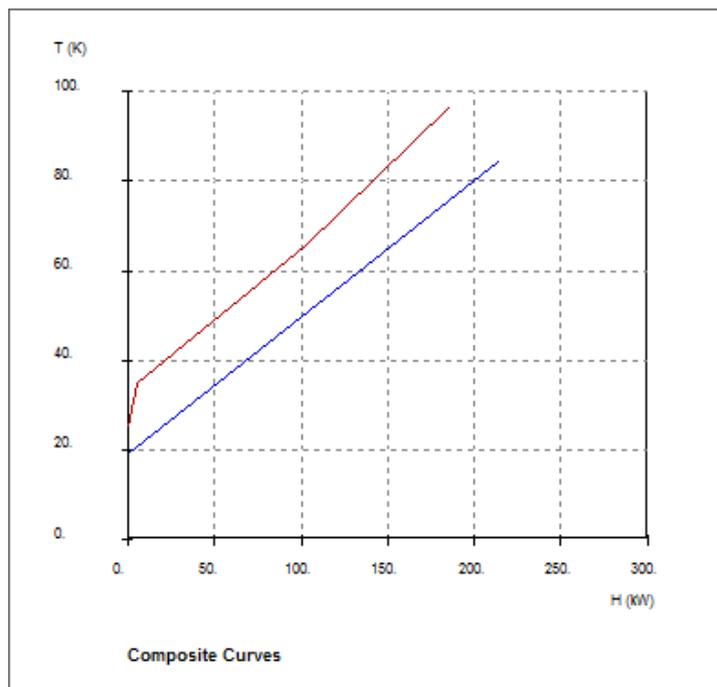


Рис. 5. Составные кривые интегрированного процесса

Для проектирования теплообменных аппаратов с применением пинч-анализа необходимо знать: какое максимальное количество энергии может быть рекуперировано, а также то минимальное количество утилит, которое должно быть подведено (Q_{Hmin} , Q_{Cmin}).

Проекция холодной составной кривой на энтальпийной оси показывает значение мощности, которую необходимо подвести к холодным потокам для выполнения процесса, Q_{Hmin} составляет 28,8 кВт.

«Метод табличного алгоритма» или метод теплового каскада. С помощью «метода теплового каскада» можно без построения графиков вычислять целевые энергетические значения. Чтобы осуществить полную рекуперацию теплоты в каждом температурном интервале, мы сдвигаем горячую составную кривую на значение $\Delta T_{min}/2$ вниз, а холодные потоки на $\Delta T_{min}/2$ вверх вдоль температурной оси на температурно – энтальпийной диаграмме [3].

При нажатии на иконку  на экране появится окошко с данными рассчитанными каскадным методом (рис. 6). В левой части находится непосредственно каскад, а в правой все основные показатели. Это минимальная разница температур ($\Delta T_{min} = 6 \text{ }^\circ\text{C}$), количество горячих и холодных энергоносителей ($Q_{Hmin} = 28,8$, $Q_{Cmin} = 0$), пинч температура ($22 \text{ }^\circ\text{C}$) и минимальное число теплообменников для проведения рекуперации процесса (3 шт). Также в этом окне можно посмотреть сдвинутые температурные интервалы и технологические потери в каждом температурном интервале.

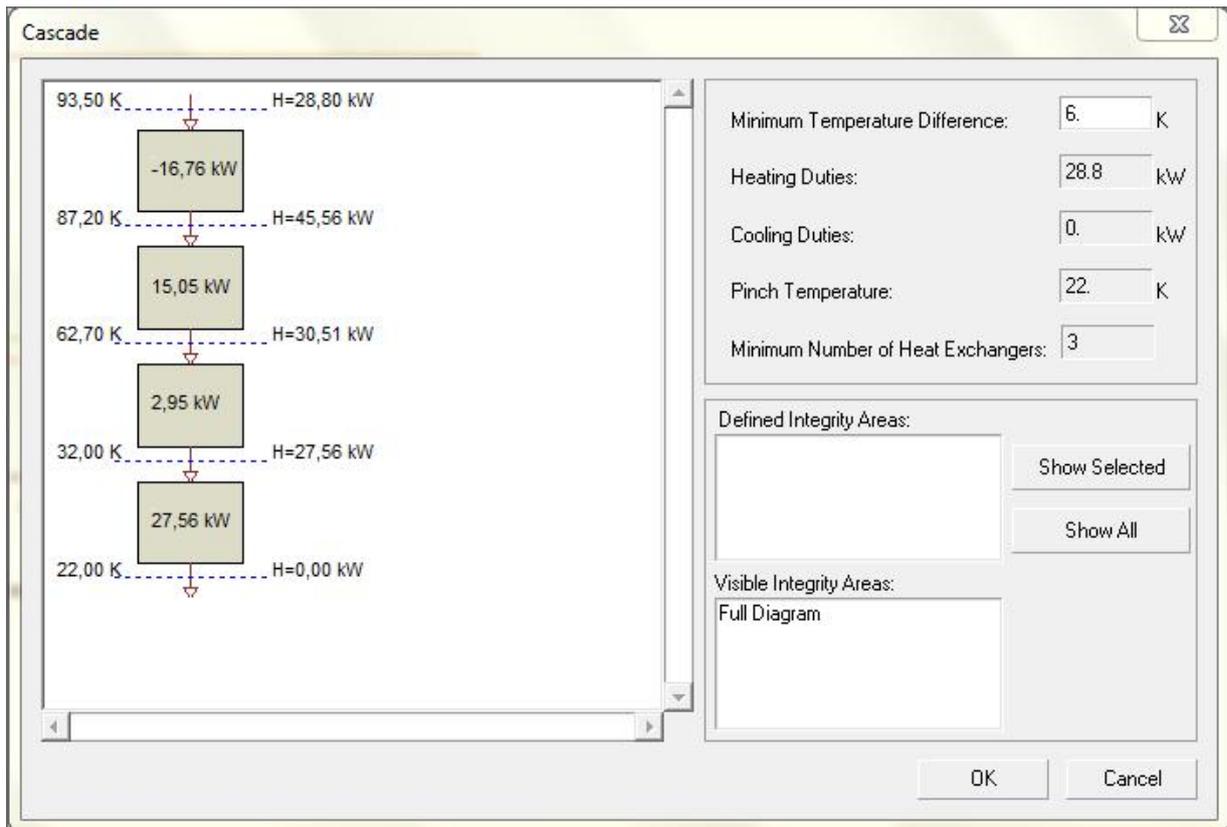


Рис. 6. Тепловой каскад для процесса ректификации смеси метанол-вода

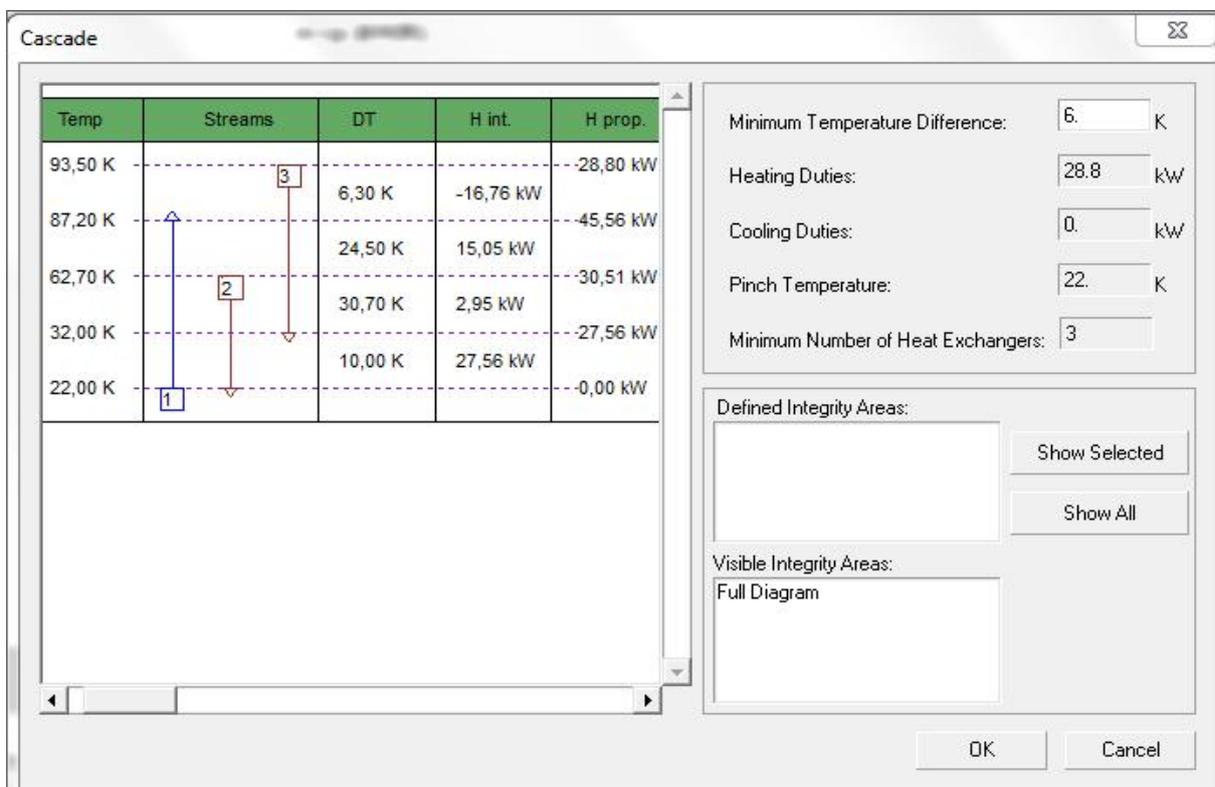


Рис. 7. Тепловой баланс в температурных интервалах

Наведите курсор на ту часть экрана, где расположен каскад и нажмите правую кнопку мыши. Теперь проделайте следующие действия Show As... → Table (рис.7).

Большая составная кривая (БСК). БСК строится с помощью теплового каскада, получаемого в алгоритме табличной задачи. Отложив величину тепловых потоков на $T-H$ диаграмме (при этом на оси температур откладываются сдвинутые температуры). Соединив линиями отложенные значения мы получим БСК. Точка, где тепловой поток равен нулю, показывает локализацию пинча [3]. Нажав икону  можно посмотреть полученные результаты (рис. 8).

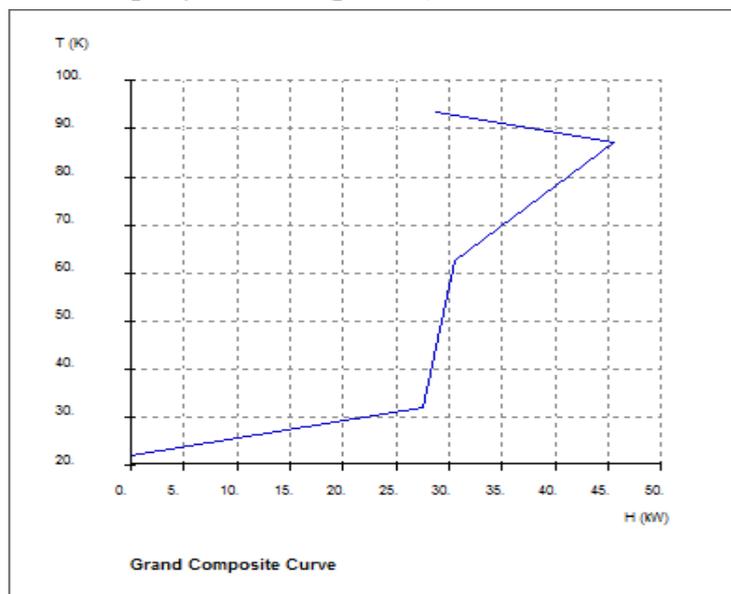


Рис.8. Большая составная кривая процесса ректификации смеси метанол-вода

Сеточная диаграмма. Для того, чтобы синтезировать интегрированную систему теплообмена, рассматриваемого процесса, необходимо построить сеточную диаграмму технологических потоков с указанной локализацией пинча. В результате расчетов было обнаружено, что мы столкнулись с пороговой задачей. В задачах, в которых присутствует порог, используется только горячие или только холодные теплоносители [3]. Так как у нас присутствуют только горячие утилиты, мы будем рассматривать только систему выше пинча. При проектировании технологической схемы, необходимо соблюдать CP и N правила, также необходимо запретить перенос тепла через пинч. Размещение теплообменников необходимо начинать с горячего потока

№2, так как он входит в пинч. Подбираем ему партнера для теплообмена среди холодных потоков, при этом чтобы соблюдалось правило: $CP_H \leq CP_C$. Для горячего потока №2 это холодный поток №1. Таким же образом подбираем партнера для горячего потока №3. Чтобы сократить количество теплообменных аппаратов будем использовать принцип максимальной нагрузки для каждого рекуперативного теплообменника. Чтобы установить теплообменник, в панели инструментов нажмите иконку . В появившемся окне (рис. 9) выполните следующие действия:

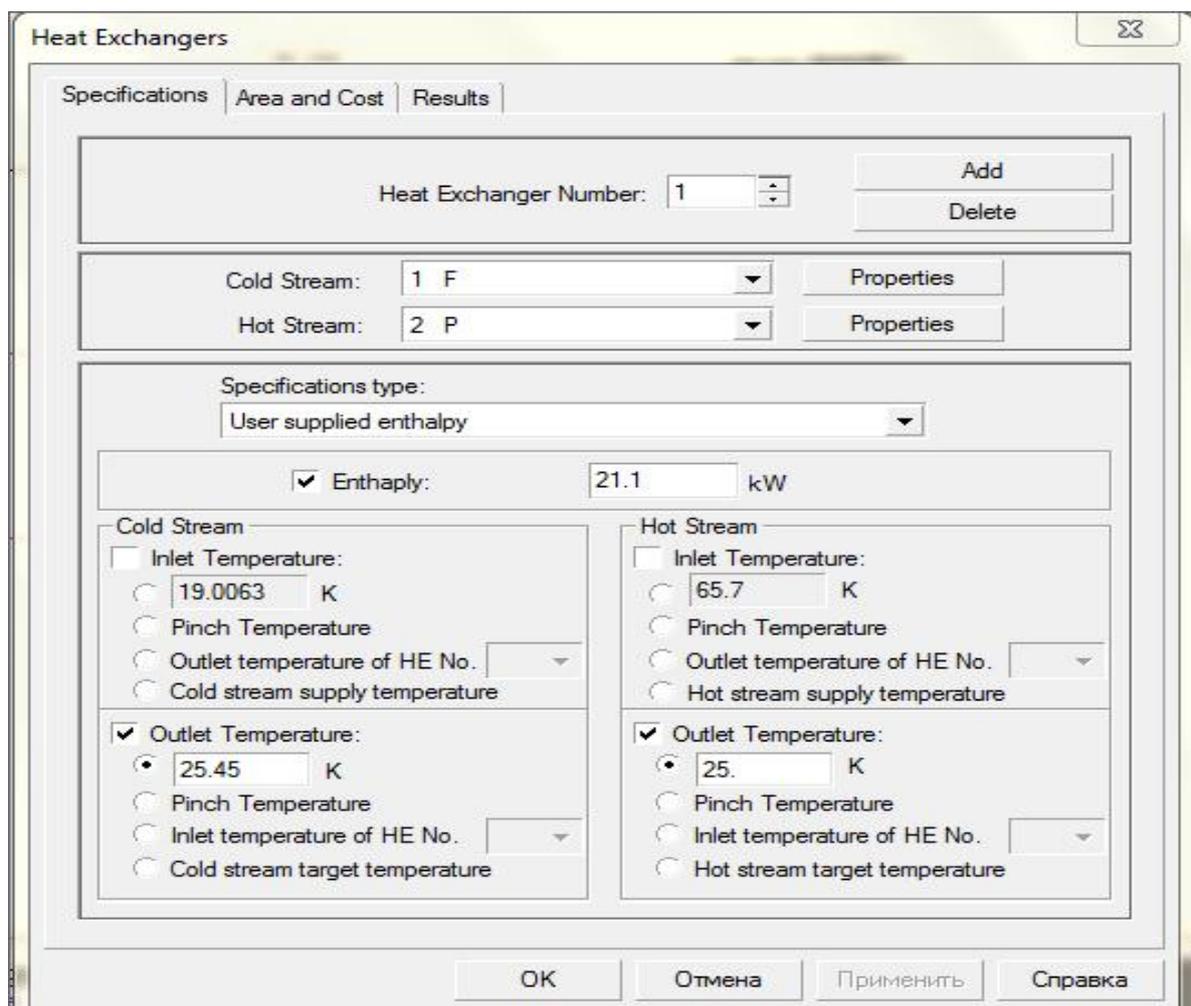


Рис. 9. Проектирование рекуперативного теплообменника Т1.

- 1) В качестве холодного потока выберите *Cold Stream* №1 *F*, а горячего *Hot Stream* №2 *P*.
- 2) Тип спецификации *Specifications Type* «User supplied enthalpy» использовать значение энтальпии = 21,1.

3) Данные по горячему потоку: температура на выходе «Outlet temperature» температуре пинча 25°C .

4) Данные по холодному потоку: температура на выходе из теплообменника «Outlet temperature» равняется $25,45^{\circ}\text{C}$.

По аналогии с $T1$ проектируем и $T2$ (рис. 10).

The screenshot shows the 'Heat Exchangers' window with the following settings:

- Heat Exchanger Number: 2
- Cold Stream: 1 F
- Hot Stream: 3 W
- Specifications type: User supplied temperatures
- Enthalpy: 163.891 kW
- Cold Stream specifications:
 - Inlet Temperature: 25.45 K (selected)
 - Outlet Temperature: 75.5 K (selected)
- Hot Stream specifications:
 - Inlet Temperature: 96.6093 K (selected)
 - Outlet Temperature: 35. K (selected)

Рисунок. 10. Проектирование рекуперативного теплообменника T2

После установки теплообменников на потоке осталась неудовлетворенная нагрузка. Чтобы довести поток до целевой температуры установим нагреватель. В нагревателе в качестве греющего агента выступает перегретый пар с температурой 110°C . Нагреватель H рассчитывается по данным приведенным на рисунке 11:

Рис. 11. Проектирование нагревателя

1) В качестве холодного потока выбираем *Cold Stream* №1 F, а горячего – *Hot Stream Utilities*.

2) Тип спецификации *Specifications Type* «User supplied temperatures» использовать значение температур.

3) Данные по холодному потоку: температура на входе в нагреватель «Inlet temperature» равняется температуре после теплообменника №2 «Outlet temperature of HE №2», а на выходе из нагревателя «Outlet temperature» равняется целевой температуре 84,2°C «Cold stream target temperature».

По результатом проектирования теплообменных аппаратов была получена сеточная диаграмма, которая представлена на рис. 12.

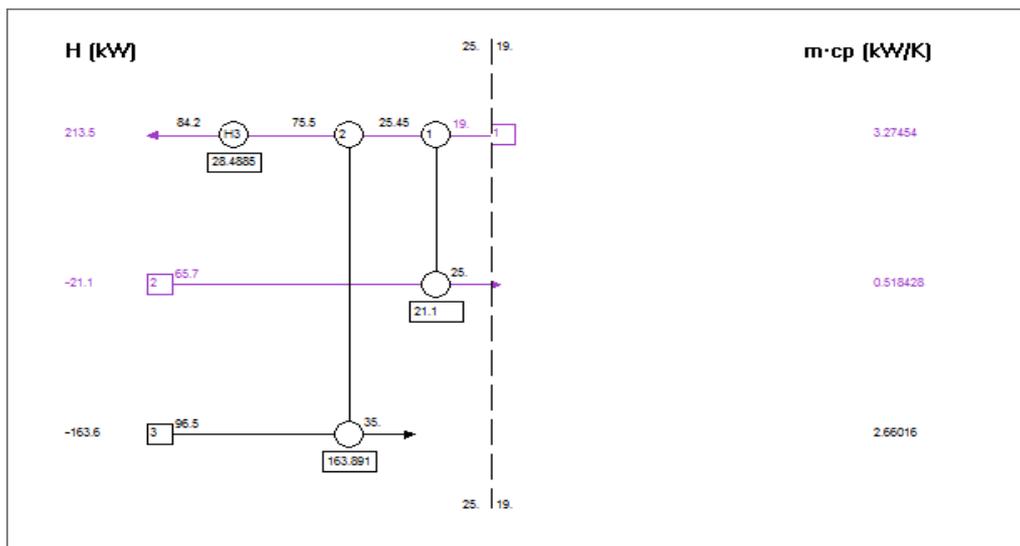


Рис. 12. Сеточная диаграмма технологических потоков

Энергопотенциал существующей схемы, а также экономию на энергоносителях можно посмотреть в табл. 2

Таблица 2

Энергопотребление и рекуперация системы теплообмена существующей и предполагаемой

	До реконструкции, кВт	После реконструкции, кВт
Горячие утилиты	213,5	28,8
Холодные утилиты	184,7	0

Таким образом, удалось уменьшить расход греющего пара в подогревателе в 7,4 раз и расход в холодильниках сократить до нуля. Это является немаловажным во времена увеличения цен на энергоносители.

Выводы. С помощью программного обеспечения Hint был проведен пинч-анализ процесса ректификации смеси метанол-вода. Был предложен проект реконструкции системы теплообмена данного процесса. В результате внедрения проекта реконструкции потребление тепловой энергии может быть сокращено на 86,5%, а холодной – до 0. Срок окупаемости составит около 7 месяцев.

Список литературы: 1. Smith R. Chemical process design and integration/Robin Smith – Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2005 – 687 p. 2. Linnhoff B. The pinch design method for heat exchanger networks/ B. Linnhoff, E. Hindmarsh //Chemical Engineering Science.1983. Vol. 38. P.745-763 3. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / [Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М.] – Харьков: ХГПУ. 2000. – 457 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12