

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). Проекти-

рование 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).

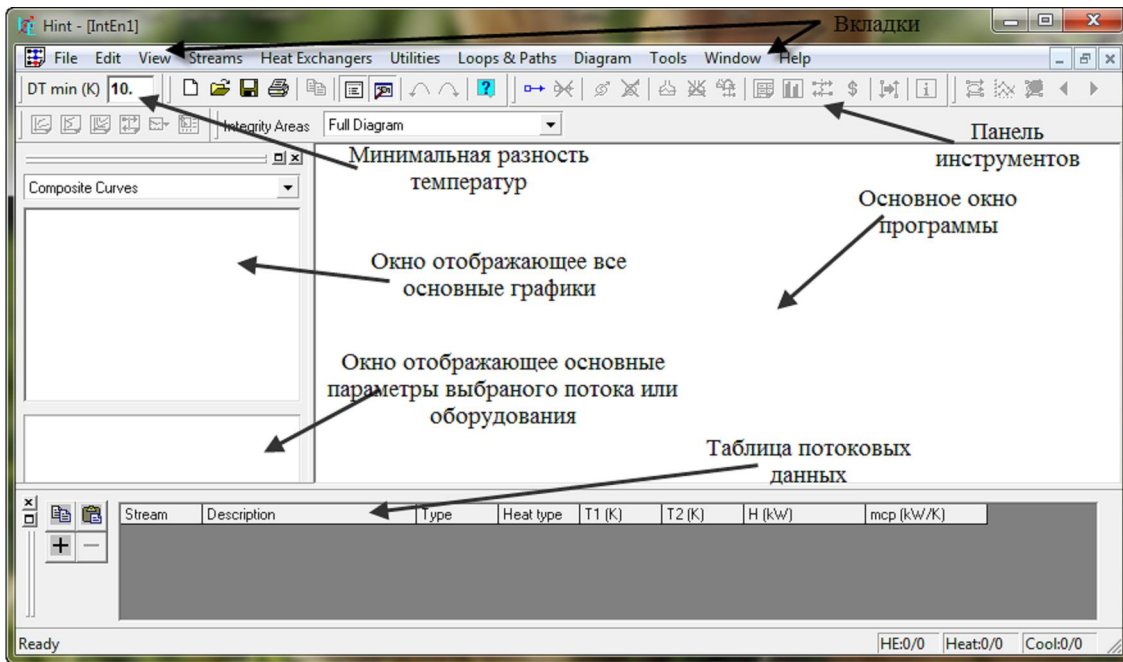


Рис. 1. Интерфейс программы Hint

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

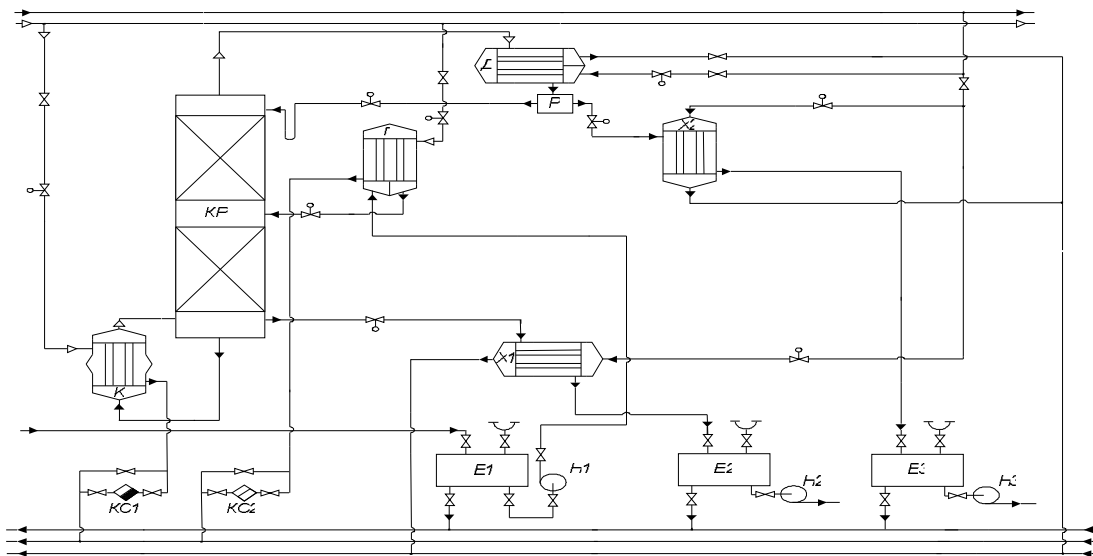


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема ректификации смеси метанол – этанол: КР – колонна ректификационная; Д – дефлегматор; К – кипятильник; П – подогреватель; Р – распределитель; Х1-2 – холодильник; E1-3 – емкость; Н1-3 – насос; КО1-2 – конденсатоотводчик

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

чения 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 °C и 84.2 °C 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).

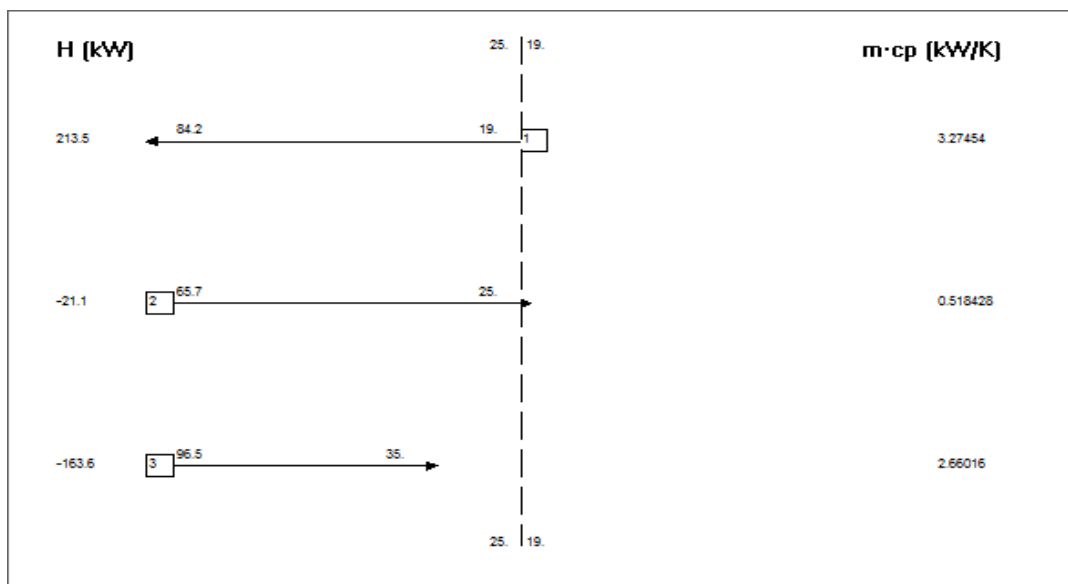


Рис. 4. Сеточная диаграмма технологических потоков построена в программном обеспечении HINT.

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).

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 ($Q_{H\min}$, $Q_{C\min}$).

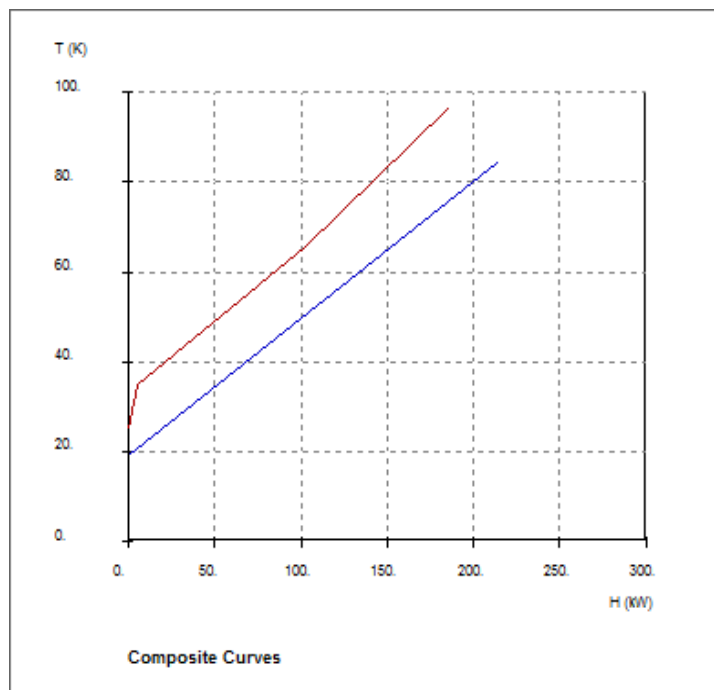



Рис. 5. Составные кривые интегрированного процесса

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.

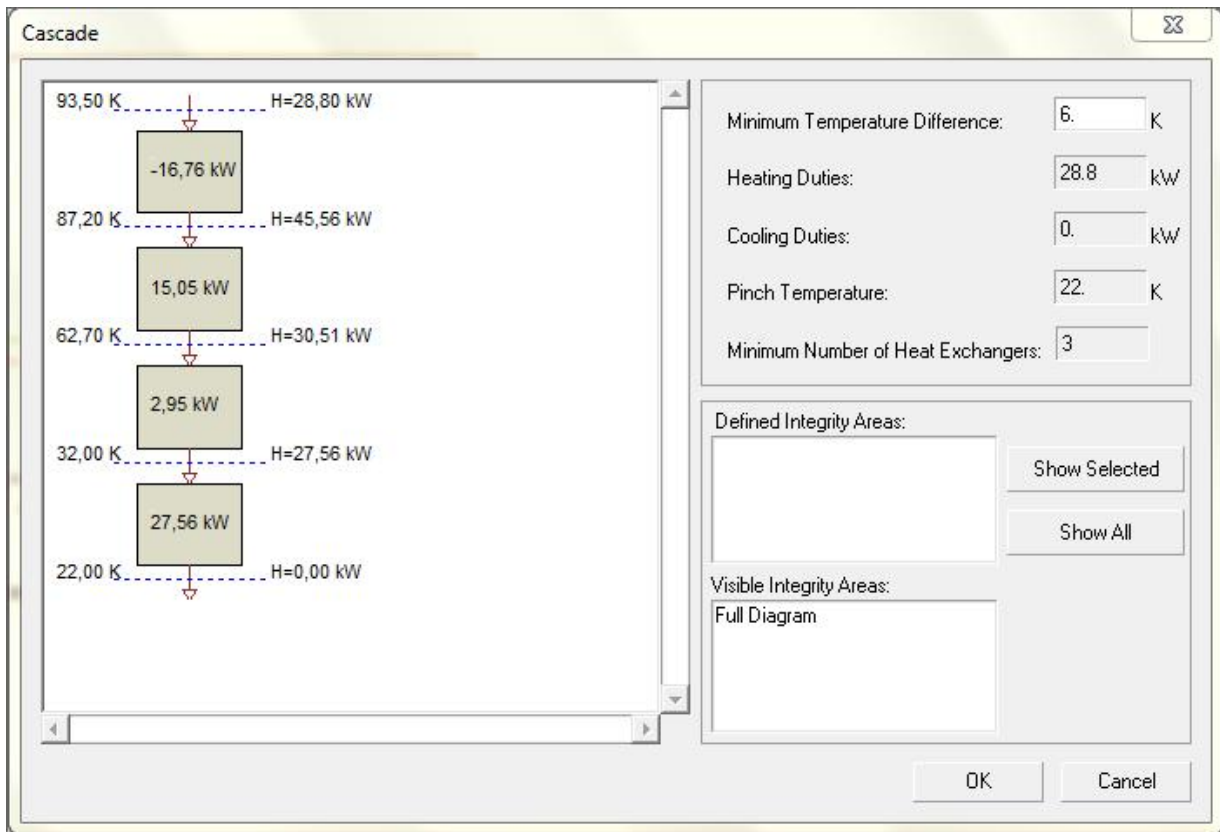


Рис. 6. Тепловой каскад для процесса ректификации смеси метанол-вода

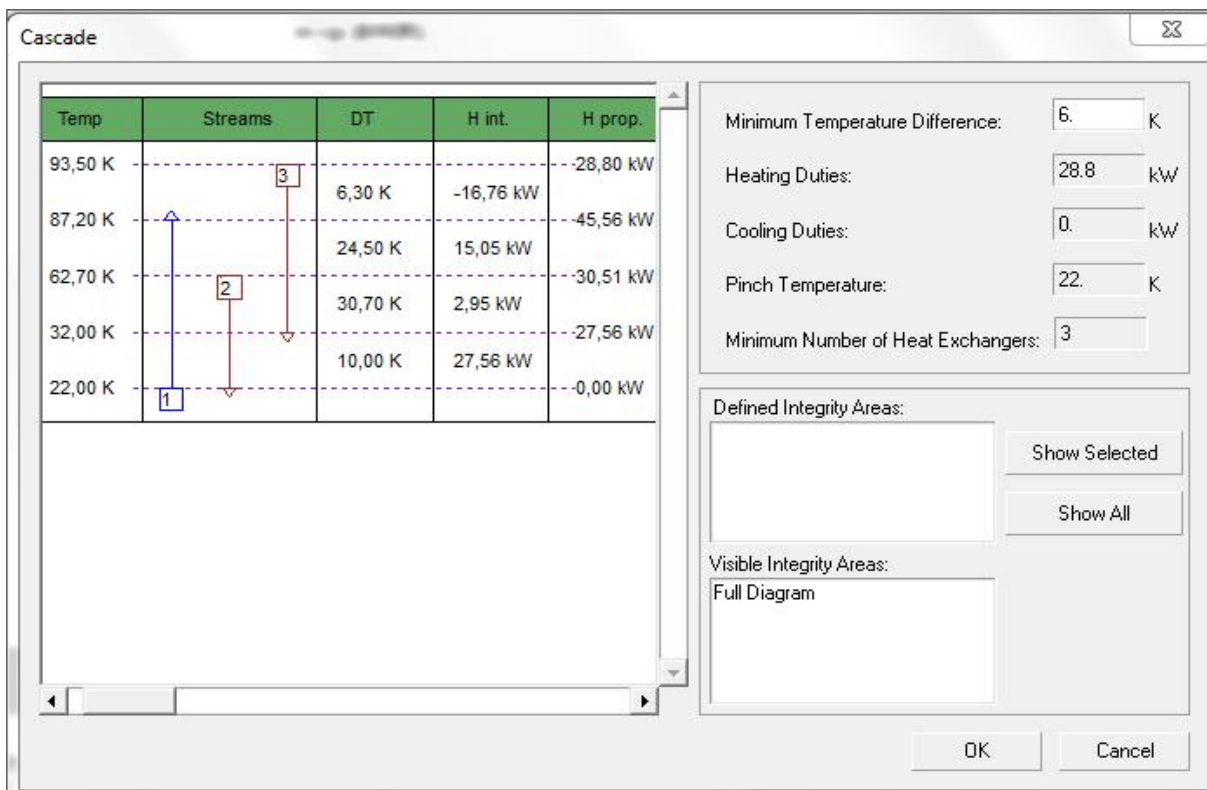



Рис. 7. Тепловой баланс в температурных интервалах

Наведите курсор на ту часть экрана, где расположен каскад и нажмите правую кнопку мыши. Теперь сделайте 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 иконку  можно посмотреть полученные результаты (рис. 8).

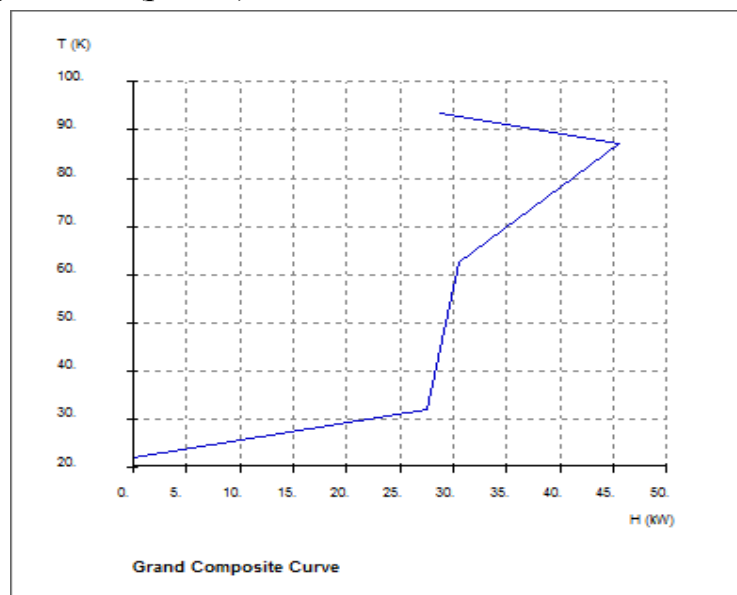



Рис.8. Большая составная кривая процесса ректификации смеси метанол-вода

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:

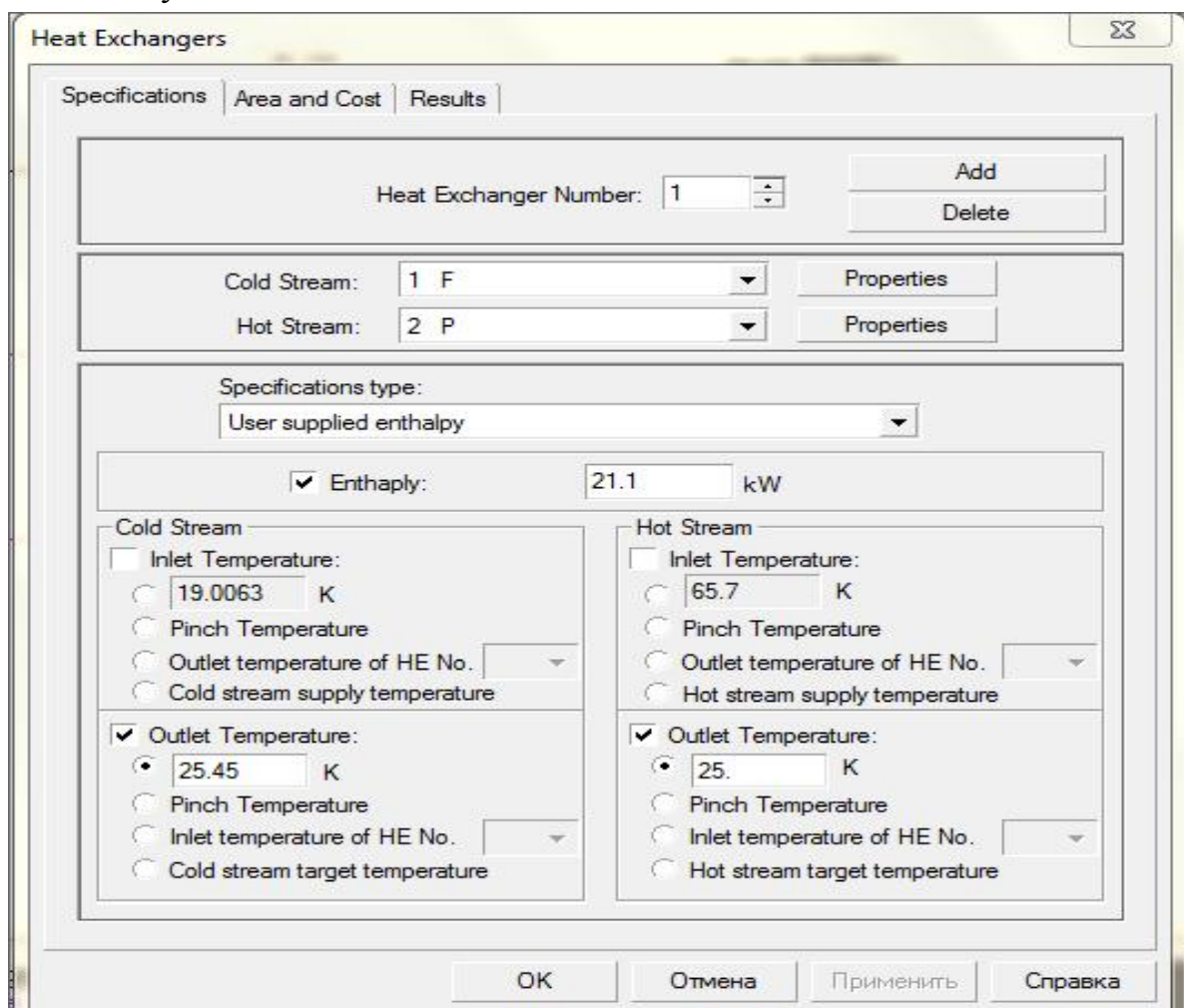


Рис. 9. Проектирование рекуперативного теплообменника T1.

- 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).

Heat Exchangers

Specifications | Area and Cost | Results

Heat Exchanger Number: 2 Add Delete

Cold Stream: 1 F Properties

Hot Stream: 3 W Properties

Specifications type:
User supplied temperatures

Enthalpy: 163.891 kW

Cold Stream

Inlet Temperature:
 25.45 K
 Pinch Temperature
 Outlet temperature of HE No. 1
 Cold stream supply temperature

Outlet Temperature:
 75.5 K
 Pinch Temperature
 Inlet temperature of HE No.
 Cold stream target temperature

Hot Stream

Inlet Temperature:
 96.6093 K
 Pinch Temperature
 Outlet temperature of HE No.
 Hot stream supply temperature

Outlet Temperature:
 35. K
 Pinch Temperature
 Inlet temperature of HE No.
 Hot stream target temperature

OK Отмена Применить Справка

Рис. 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:

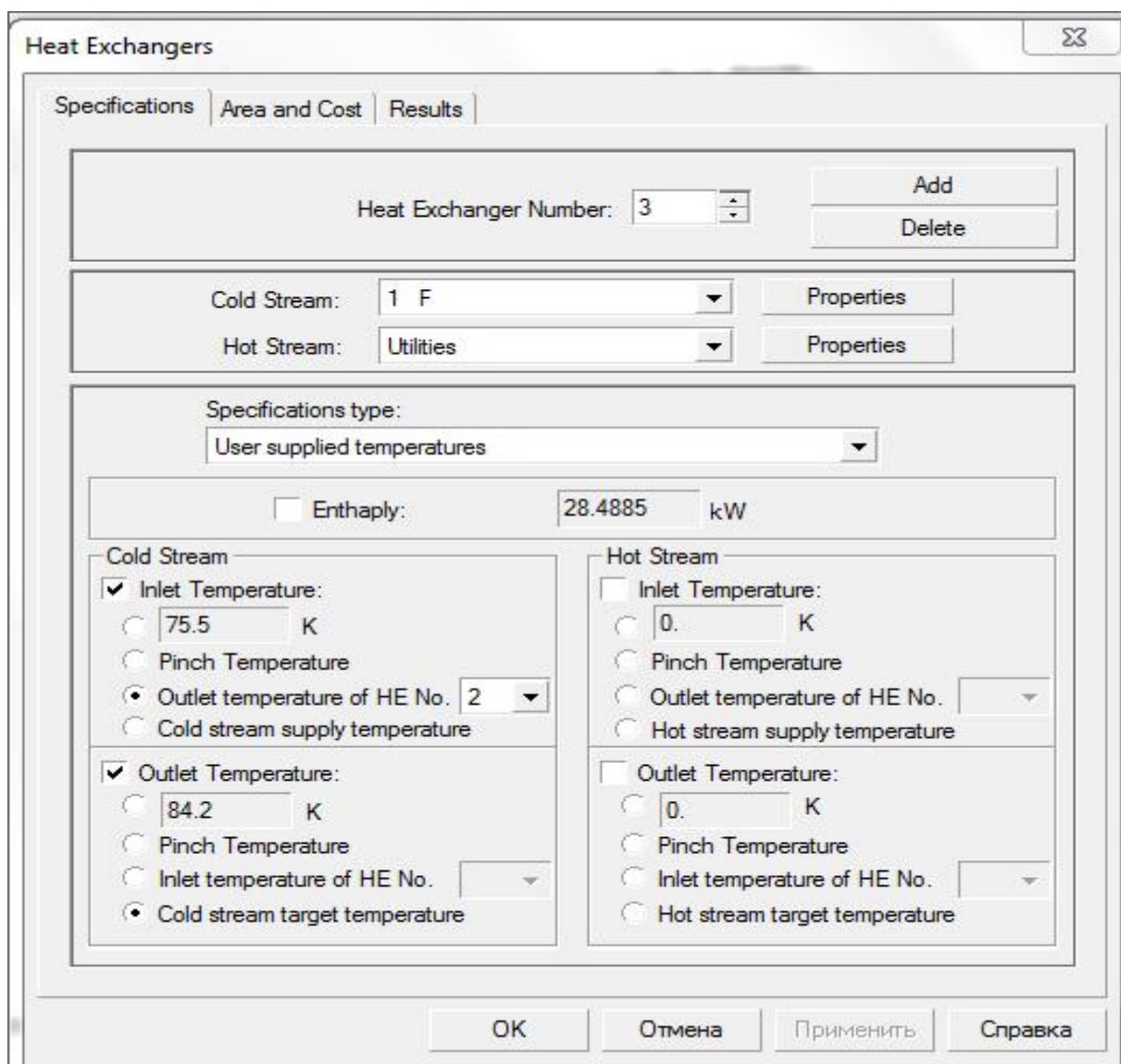


Рис. 11. Проектирование нагревателя

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.

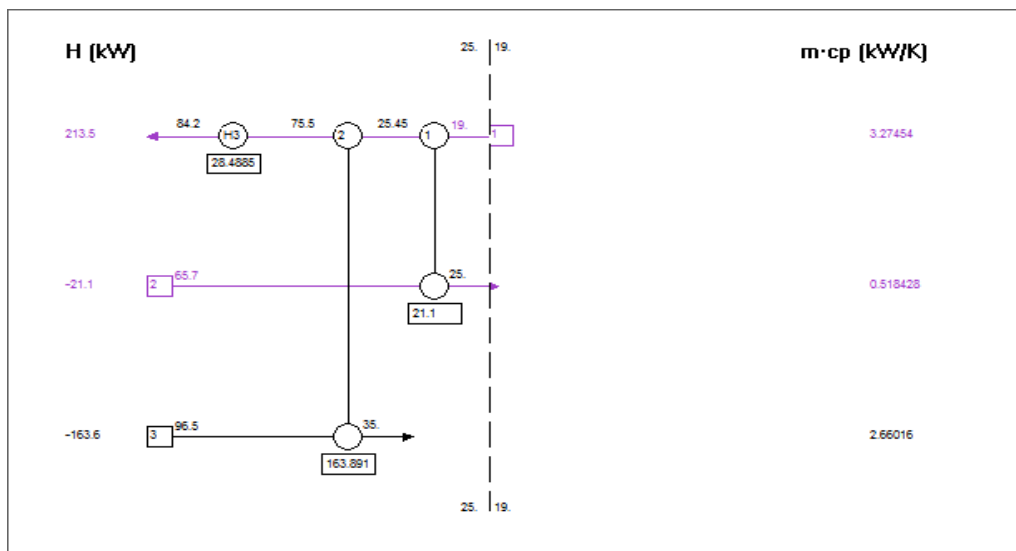


Рис. 12. Сеточная диаграмма технологических потоков

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., Ульянов Л.М.*] – Харьков: ХГПУ. 2000. – 457 с.

Поступила в редколлегию 22.02.12