

**СОВРЕМЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ  
К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ. ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД.  
ПИНЧ-АНАЛИЗ. ЛУКОВИЧНАЯ МОДЕЛЬ\***

**В.И. Коновалов<sup>1</sup>, Т. Кудра<sup>2</sup>, А.Н. Пахомов<sup>1</sup>, А.Ю. Орлов<sup>1</sup>**

*Кафедра «Химическая инженерия», ГОУ ВПО «ТГТУ» (1);  
Энерго-технологический центр «Канмет», Монреаль, Канада (2)*

**Ключевые слова и фразы:** интегрирование процессов; луковичная диаграмма; пинч-анализ; ресурсосбережение; энергосбережение;

**Аннотация:** Даны представления о современной методологии энергосбережения, основанной на интегрированном подходе к производству в целом, к системе всех аппаратов; на анализе индивидуальных и суммарных горячих и холодных потоков, выявлении узких, лимитирующих мест – пинчей; с использованием оболочечной иерархической схемы производства – луковичной модели. Приведена библиография с комментариями.

---

**1**

**Особо рекламируемой** за рубежом является сейчас методология проектирования **энергосбережения (Energy-saving)**, основанная на так называемом **интегрированном** (комплексном, системном) подходе к производству в целом, к системе **всех процессов и аппаратов (Process Integration)**, рассмотрении индивидуальных и суммарных горячих и холодных потоков, выявлении и анализе в них так называемых пинчей (**Pinch Analysis**) – узких, лимитирующих мест, с так называемой луковичной моделью проектирования производства (**Onion Model**) – иерархической схемой упрощенного оболочечного типа.

**Целью** Пленарного доклада на конференции СЭТТ–2008 являлось рассказать **о последних зарубежных исследованиях** в этой области, целью лекции на Школе СЭТТ–2008 – **дать представления** о методологии интегрирования процессов в целом – прежде всего, для молодежи, не занимавшейся этими вопросами специально. **Задача критического анализа** этих работ **не ставилась**, однако некоторые наши соображения будут приведены. Здесь отметим только, что большая часть деятельности по интегрированному подходу и пинч-технологиям имеет существенно **коммерческий** характер и соответствующие **особенности изложения**.

В связи с относительной новизной этой методологии в начале приведем некоторую **дополнительную информацию**, которая представляет интерес, особенно в связи с **подготовкой специалистов** и с **переработкой образовательных стандартов**.

---

\* Раздел 4 Пленарного доклада на 3-й Международной научно-практической конференции СЭТТ–2008 (Москва, 16 сентября 2008 г.), совмещенный с материалами Лекции 3 на Школе молодых ученых, аспирантов и молодых преподавателей СЭТТ–2008 (Тамбов, 19 сентября 2008 г.). См. также две предыдущие статьи в данном выпуске и статью по Энергосбережению в Юбилейном выпуске «Вестник ТГТУ», 2008, № 4. Стиль доклада и лекции, в основном, сохранен.

Первые публикации по этому направлению появились за рубежом в конце 1970-х годов. Первые промышленные реализации (концерн ICI) – в начале 1980-х годов. Методология продолжает активно пропагандироваться. По сообщениям разработчиков она успешно используется многими мировыми фирмами, поддерживается различными системами грантов, в ряде университетов ведутся курсы и семинары, то есть она стала весьма популярной. Такие работы сейчас выполняются и публикуются также в России, в Украине, в Белоруссии (в том числе в ДАН, Изв. вузов. Х и ХТ и др.).

Ранее в докладе мы уже называли 2-е издание книги Робина Смита (сейчас он – декан факультета института Манчестерского университета, UMIST, Англия, один из основных в настоящее время авторов работ в этой области):

[1]. Robin Smith. *Chemical Process Design and Integration*. Chichester, West Sussex, England; Hoboken, NJ : Wiley, 2005. 687 p. В этом издании (расширенном по сравнению с 1-м изданием 1995 года с 459 до 687 с., цена ~ 55 долларов США) – 29 глав.

Целесообразно дать некоторое представление об этой книге. В первых 4-х главах даются элементы иерархического анализа, экономики, математической оптимизации, фазовых равновесий и термодинамических свойств. Затем идут 2 главы по выбору реакторов, 3 главы по выбору аппаратуры разделения (в том числе, раздел 8.8 – сушка, 9.2 – дистилляция, 10.6 – выпаривание). Затем 2 главы по многоколонной ректификации, включая азеотропную. Далее 2 главы по комбинированным процессам разделения в непрерывных и периодических производствах. Затем 5 глав по интегрированным системам теплообменного оборудования (в том числе, вся глава 22-я – по выпариванию и сушке). Следующие 4 главы – по уменьшению газовых выбросов, расхода воды и жидких стоков (так называемый «водный» пинч), сокращению твердых отходов. Заключительная 29-я глава – по общей стратегии интегрированного подхода. В конце книги даны обширные приложения, включающие в том числе ряд расчетных алгоритмов.

Отметим, что в 2000 году с участием Р. Смита в Харькове была издана на русском языке книга:

[2]. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. *Основы интеграции тепловых процессов*. Харьков : НТУ ХПИ, 2000. 457 с. (В РГБ и ГПНТБ этой книги нет).

Харьковский политехнический институт имеет, по-видимому, наибольшие успехи в этой области. Их кафедра (бывшая ПАХТ и ОХТ) сейчас называется кафедрой «Интегрированные технологии, процессы и аппараты». Они ведут весьма широкую инновационную деятельность, активно готовят и выпускают много хороших книг и учебных пособий.

Недавно также в Харькове вышел учебник:

[3]. Мешалкин В.П., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А. *Основы теории ресурсосберегающих интегрированных химико-технологических систем*. Харьков : НТУ ХПИ, 2006. 411 с. (В РГБ имеется).

В РХТУ им. Д.И. Менделеева создана кафедра «Логистика и экономическая информатика», работающая в этой области в контакте с другими кафедрами РХТУ, с рядом российских и зарубежных университетов, в том числе с Манчестерским; при РХТУ существует колледж «Энерго- и ресурсосберегающие технологии».

В СПбТИ в 2004 г. создана кафедра «Ресурсосберегающие технологии» также занимающаяся пинч-технологиями, там в 2006 г. читал курс лекций в этой области проф. К. Хартман (Берлинский университет).

В Белорусском ГТУ аналогичная школа-семинар на базе кафедры ПАХТ проводилась профессорами Манчестерского университета еще в 1994 году.

Из последних зарубежных работ отметим еще книгу Я. Кемпа 2007 года издания:

[4]. **Ian C. Kemp. Pinch Analysis and Process Integration. A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy. 2<sup>nd</sup> Ed.** Amsterdam: Elsevier, 2007. – 396 p. 1-е ее издание вышло в 1982 г., затем в 1994 – переработанное издание. Характерно, что Кемпа в числе 7 авторов 1-го издания этой книги не было. **Ведущим автором** был **Бодо Линнхофф**, а **руководителем** рабочей группы на титуле значился **Б. Томас**. К книге [4] Линнхофф написал только вступление-рекомендацию на 15 строк.

Во многих публикациях говорится, что именно **Линнхофф впервые** разработал пинч-анализ, однако библиографическими ссылками обоснованы сведения в [4] и в **Primer...**, **2002** (см. ниже), что «...тепловой рекуперативный пинч был **разработан независимо...**» **несколькими авторами и группами Hohmann (1971 – это Ph.D. Thesis, S.California), Umeda et al. (1978–1979), and Linnhoff et al. (1978–1979)**»; Linnhoff и Flower (**1978 – ETH Zurich**); Linnhoff (**1979 – Ph.D. Thesis, Leeds Univ.**). Кстати, эти статьи Линнхоффа в *AIChEJournal* рассматривались, например, в работе

[5]. **В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин. Ресурсосберегающие химические производства // Итоги науки и техники. ПАХТ. Т. 15. М. : ВИНТИ, 1987. С. 85–160.**

Последняя публикация Линнхоффа была, вероятно, в 2005 г. – это глава «Введение в пинч-анализ»: **Bodo Linnhoff. Introduction to Pinch Analysis.** P. 122–138 (аналогичное **отдельное** издание было выпущено его **фирмой Linnhoff March** в 1998 г., **63 с.**) – в книге под редакцией Р.Ф. Бема, вышедшей в Университете Невада, Лас Вегас:

[6]. **Boehm R.F. Developments in the Design of Thermal Systems.** Las Vegas: Univ. of Nevada, 2005. 290 p.

*(Характерная персональная деталь: недавно я прочитал в лондонской **The Times, 2008, June 13** (через Интернет, естественно), что Линнхофф продал свой дом в Денбигшире (за 1 млн фунтов – исторический дом, ранее принадлежавший церкви, в котором Линнхофф сделал невидимое центральное отопление и прочие чудеса энергосбережения – гордость Линнхоффа) и переезжает с женой в южную Швейцарию. **КВИ**).*

В связи с **большим спросом промышленности и государственной поддержкой**, по интеграции процессов и пинч-анализу разными авторами, группами и организациями **за рубежом** выпущено **много пособий схожего** характерного типа (аналогично РС ~ «для чайников»): среди них есть **Tutorial** ~ Методичка, **Primer** ~ Начальный курс, **Introduction** – Введение, **Manual** ~ Руководство, **User Guide** ~ Путеводитель; однако **Textbook** – Учебник и **Handbook** – Справочник – я пока не встречал (**КВИ**).

В ряде только что вышедших **процессных учебников** (например, **Вэйлас, 2005**; классический переработанный **МакКэб и Смит, 2005**) интегрированный подход и пинч-анализ **вообще не упоминаются**; но в ранее названном **Таулере и Синноте** (изданном в Манчестере) ему посвящен небольшой **подраздел 3.17** – Сети теплообменников (Heat Exchanger Networks), с. 124–139.

Из многих упомянутых **начальных пособий** отметим для примера один из них – **курс Primer**, разработанный **Т. Гундерсеном** (Трондхайм, **Синтеф**, Норвегия) в рамках программ **Международного энергетического агентства (IEA)**:

[7]. **Truls Gundersen. A Process Integration Primer.** Trondheim: SINTEF, IEA, 2002. 90 p.

При Манчестерском университете, кроме кафедры, есть также консорциум «Центр интеграции процессов» – «The Centre for Process Integration – CPI», отметивший недавно 20-летний юбилей. В него входят 24 компании (в том числе British Petroleum, Exxon, Norsk Hydro, Mitsubishi Chemical, CanMet), годовой членский взнос – 18 000 фунтов, в октябре проводится ежегодная конференция, работают платные семинары (1 день – 1000 фунтов).

Рядом с Манчестером (~ 40 км) есть еще одна коммерческая компания «KBC Energy Services», образованная «слиянием трех лидеров в энергосбережении»: KBC, Linnhoff March («пионер интеграции процессов и пинч-анализа») и Veritech, также с 20-летним опытом. На ее сайте называются сотни компаний-заказчиков и тысячи выполненных проектов; также проводятся учебные 2,5 дневные семинары (например, в августе 2008 г. они были сразу в Хьюстоне и в Шанхае, стоимость 1 дня – 995 долларов США).

## 2

Теперь дадим некоторые понятия и иллюстрации для незнакомых с интегрированным подходом и пинч-анализом по вышецитированному пособию **Primer** Гундерсена [7].

Проиллюстрируем основные этапы интегрированного подхода и пинч-анализа на простейшем учебном примере ХТС с реактором, с разделением смеси (ректификацией) и теплообменниками (здесь их два: дефлегматор-конденсатор и куб-кипятыльник). Здесь пары дистиллята компримируются и возвращаются в реактор.

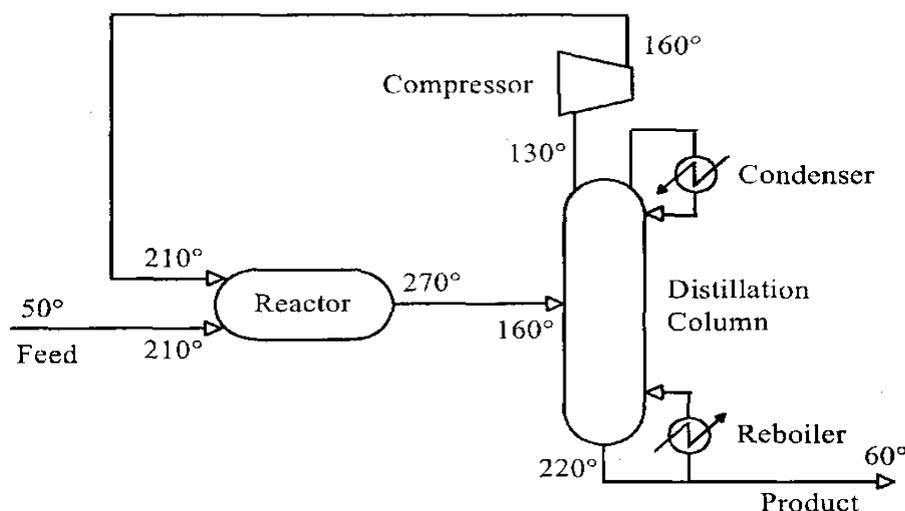


Fig. 5.1 A Simple Example of with Reaction, Separation and Heat Exchange

Эти этапы включают:

- 1) выборку необходимых исходных данных (**Data Extraction**);
- 2) задание целей (**Targeting**);
- 3) проектирование (**Design**);
- 4) оптимизацию (**Optimization**), где начальная ХТС экономически совершенствуется.

В начале анализа находятся исходные данные и составляется таблица исходных и вспомогательных расчетных данных.

Пример дан в таблице: это **обозначения** тепловых потоков и их **характеристики**.

Table 5.1 Stream and Utility Data for the Example in Figure 5.1

Stream	ID	Ts(°C)	Tt(°C)	mCp(kW/°C)	ΔQ(kW)	h(kW/m <sup>2</sup> °C)
Reactor Outlet	H1	270	160	18	1980	0.5
Product	H2	220	60	22	3520	0.5
Feed	C1	50	210	20	3200	0.5
Recycle	C2	160	210	50	2500	0.5
Reboiler	C3	220	220		2000	1.0
Condenser	H3	130	130		2000	1.0
High pressure steam	HP	250	250		(var.)	2.5
Medium pressure steam	MP	200	200		(var.)	2.5
Low pressure steam	LP	150	150		(var.)	2.5
Cooling water	CW	15	20		(var.)	1.0

Далее составляется график в координатах «горячие и холодные тепловые потоки – температуры»: сначала для **индивидуальных** аппаратов и потоков, затем потоки суммируются (**интегрируются**).

Пример дан на следующем рисунке.

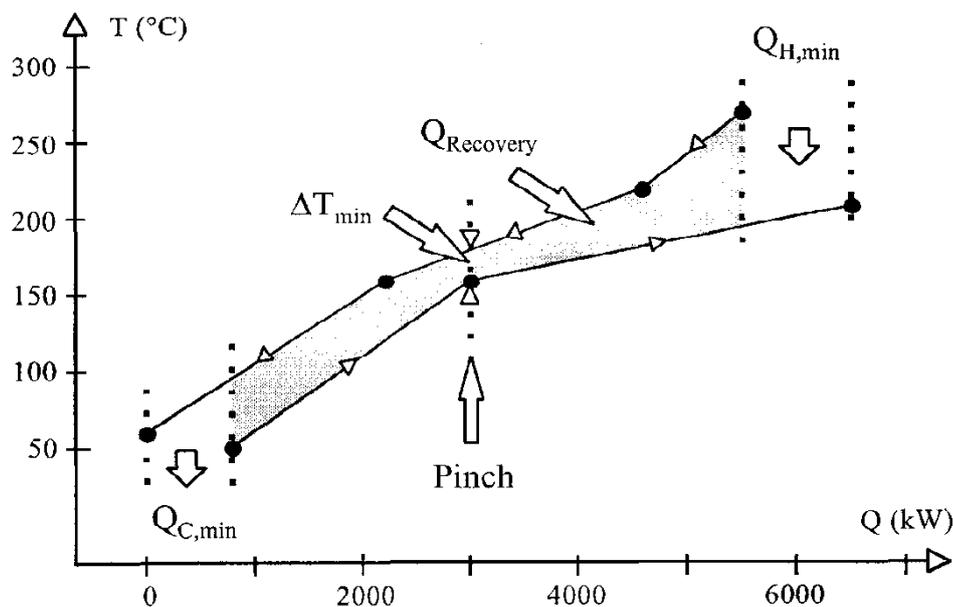


Fig. 5.2 Hot and Cold Composite Curves for part of the Example in Figure 5.1

Точка наибольшего **сближения** полученных кривых – это наименьший перепад температур при выборе схемы межпоточного теплообмена, то есть всем известное узкое лимитирующее место, названное «**пинчем**» (перезжим), по аналогии с пинчем в физике.

Далее выполняется наглядный графический анализ этих результатов на следующих, приводимых ниже, диаграммах.

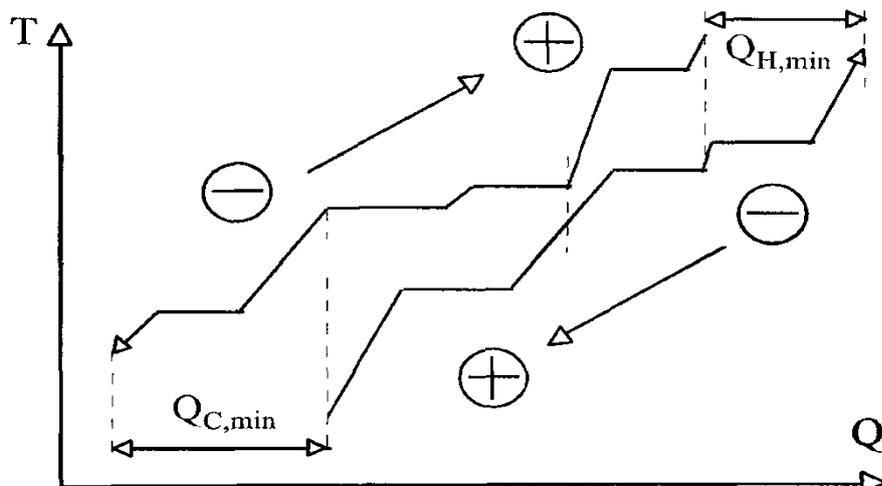


Fig. 5.3 The Plus/Minus principle applied to Composite Curves

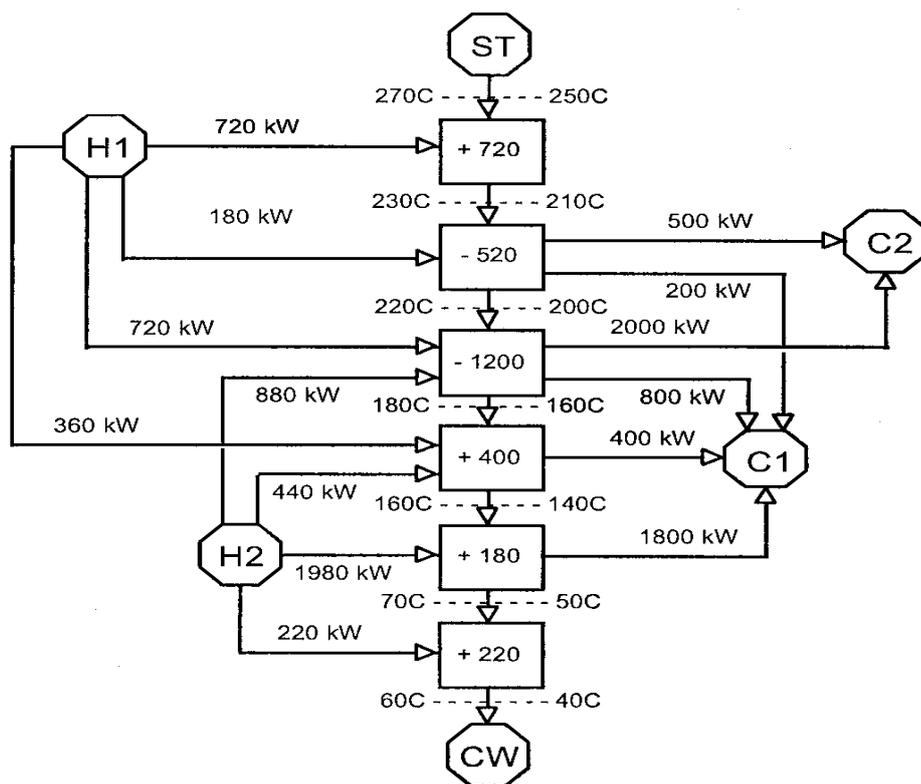


Fig. 5.4 The Heat Cascade for part of the Example in Figure 5.1

Это пример **теплового каскада** для части рассматриваемой ХТС.

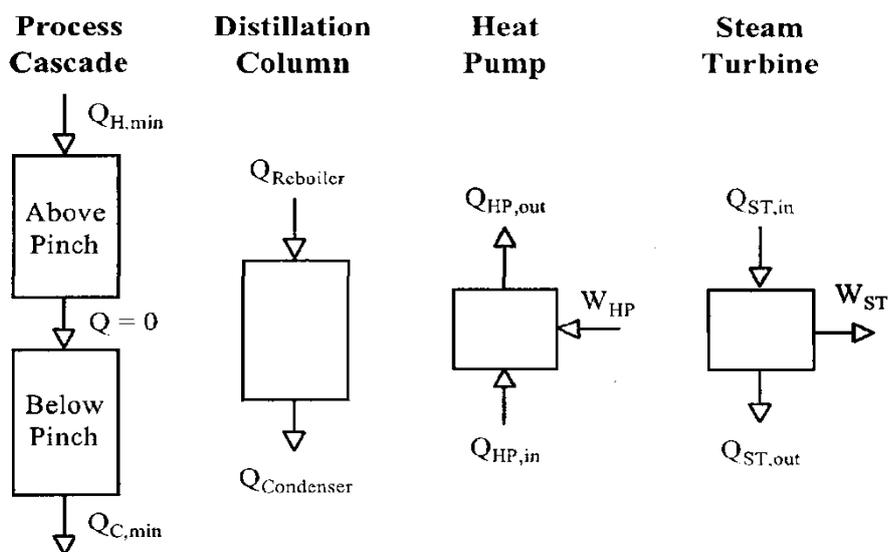


Fig. 5.5 Pinch Decomposition in a system with "Suppliers" and "Customers"

Это так называемая **пинч-декомпозиция** в системе «источник – потребитель» для ХТС **выше** и **ниже** пинча.

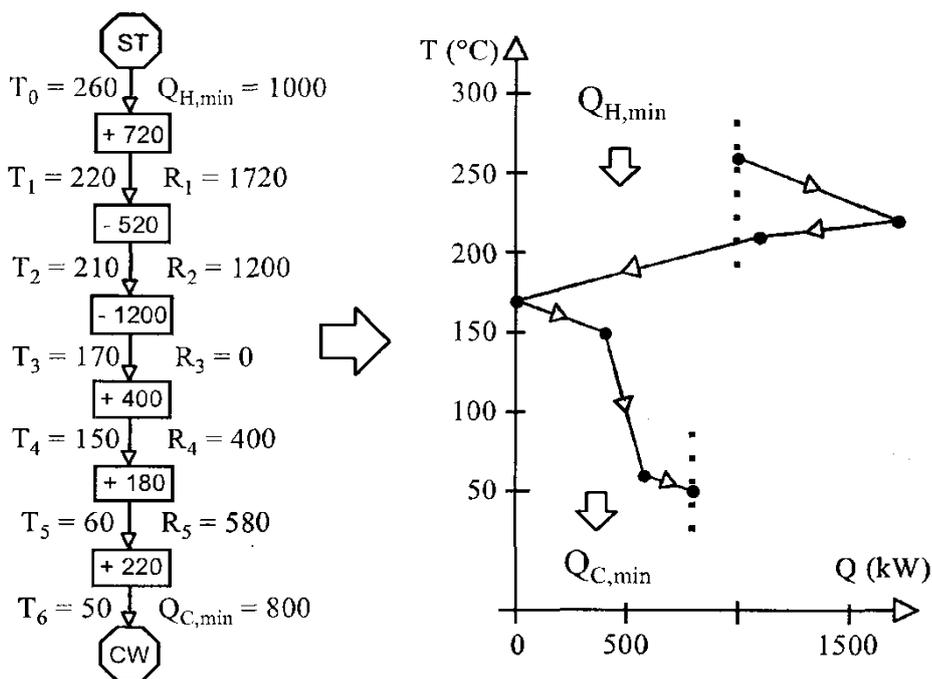


Fig. 5.6 The Grand Composite Curve for the Example in Figure 5.1 (except the Column)

Это пример общей **схемы ступеней** и кривой (без колонны).

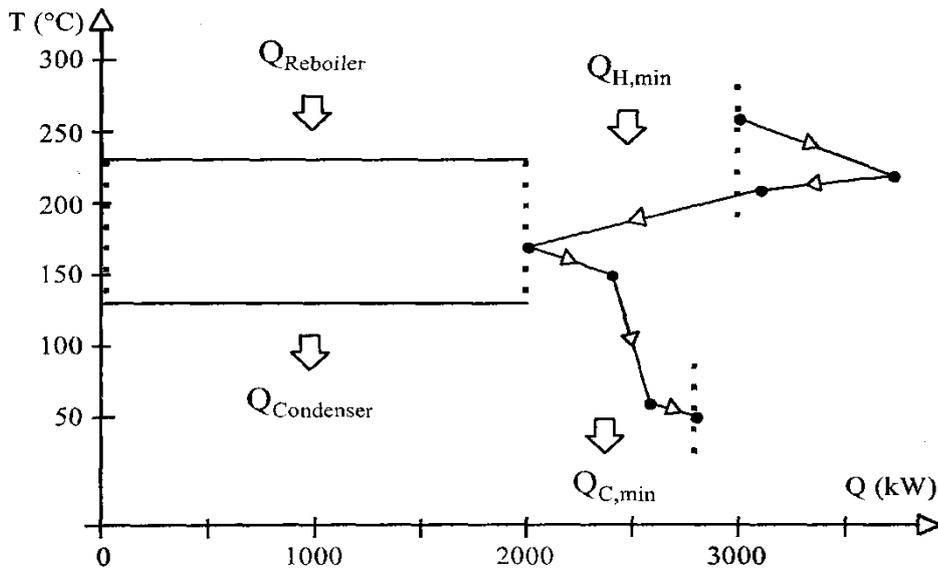


Fig. 5.7 Grand Composite Curve with Box Representation for Distillation Columns

Это общая кривая потоков «куб – дефлегматор», при этом куб обогревается парами из дефлегматора.

(Практический промышленный пример такого межпоточного теплообмена будет дан для пятиколонной ректификации в статье в Юбилейном Вестнике ТГТУ).

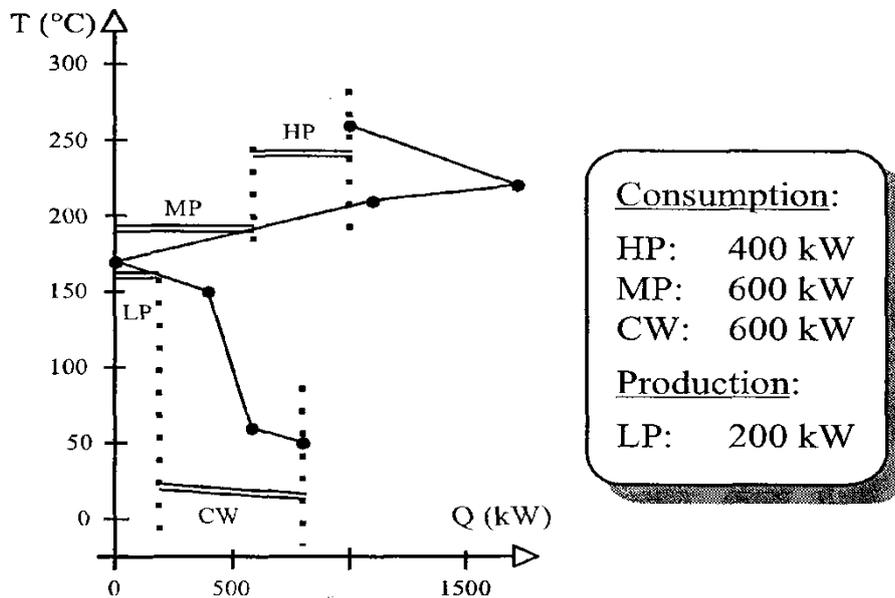


Fig. 5.8 Process and Utility Grand Composite Curve for the Example in Figure 5.1

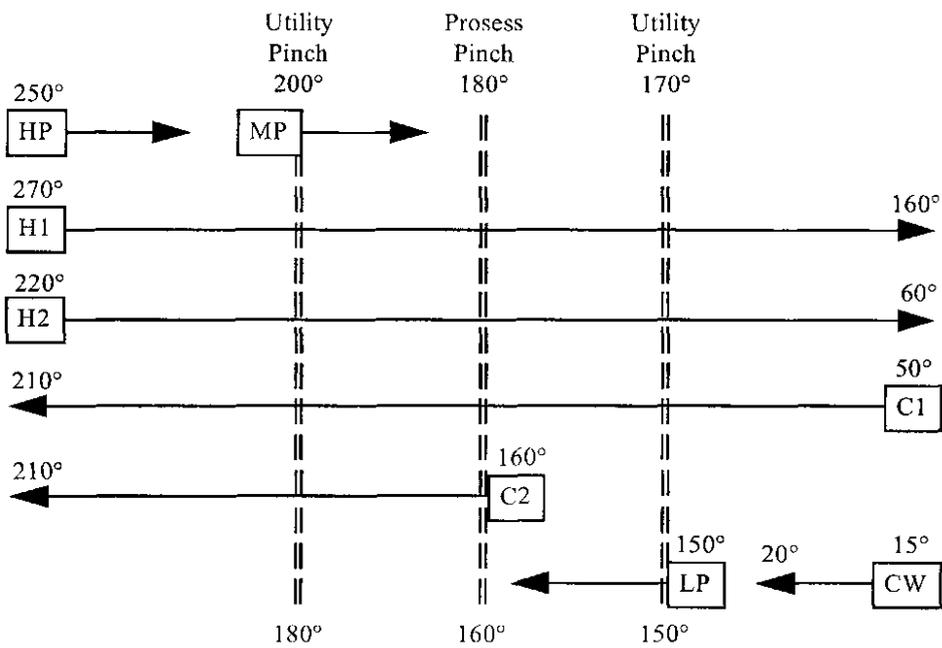


Fig. 5.9 Stream Grid for the Example in Figure 5.1 with Multiple Pinch Points

Это так называемая **решеточная диаграмма пинчей** для разных точек ХТС.

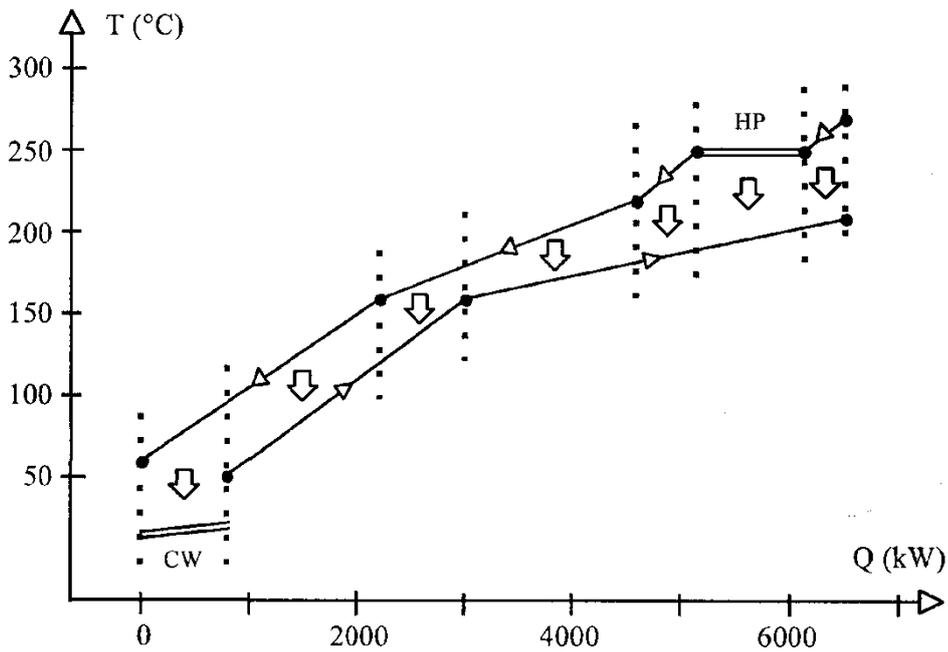


Fig. 5.10 Vertical Heat Transfer for the Example in Figure 5.1

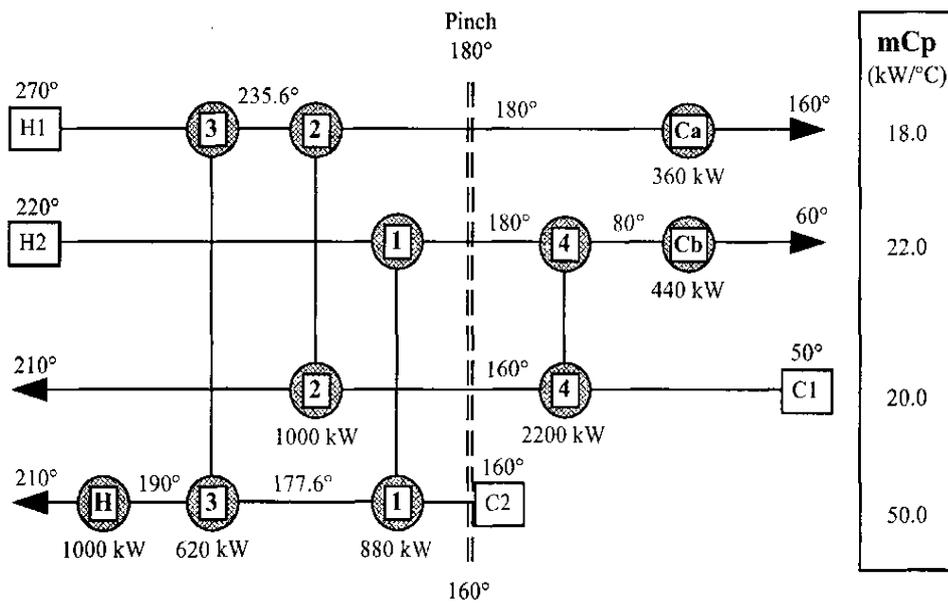


Fig. 5.11 Initial Heat Exchanger Network for the Example in Figure 5.1

Это **исходная сеть** теплообменников рассматриваемой ХТС.

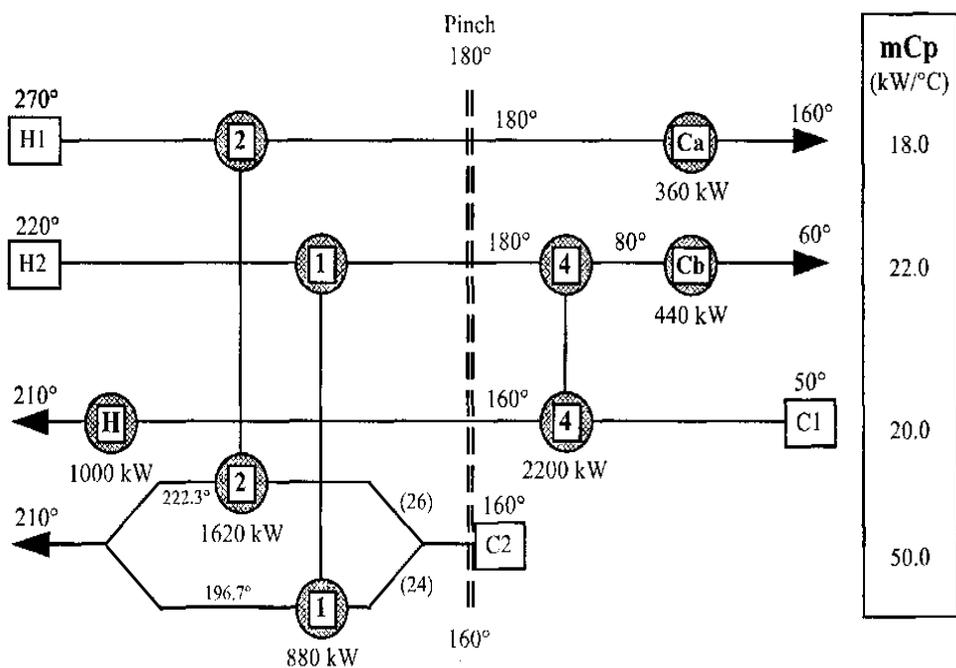


Fig. 5.12 An alternative initial Heat Exchanger Network for the Example in Figure 5.1

Это **альтернативная** возможная сеть.

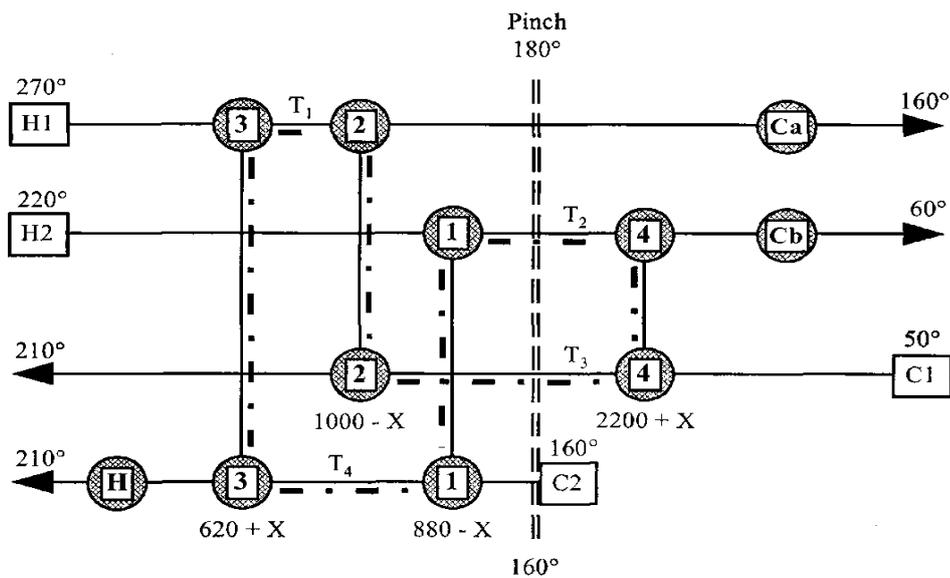


Fig. 5.13 Heat Load Loop in the initial Heat Exchanger Network

Это возможная тепловая петля в теплообменной сети.

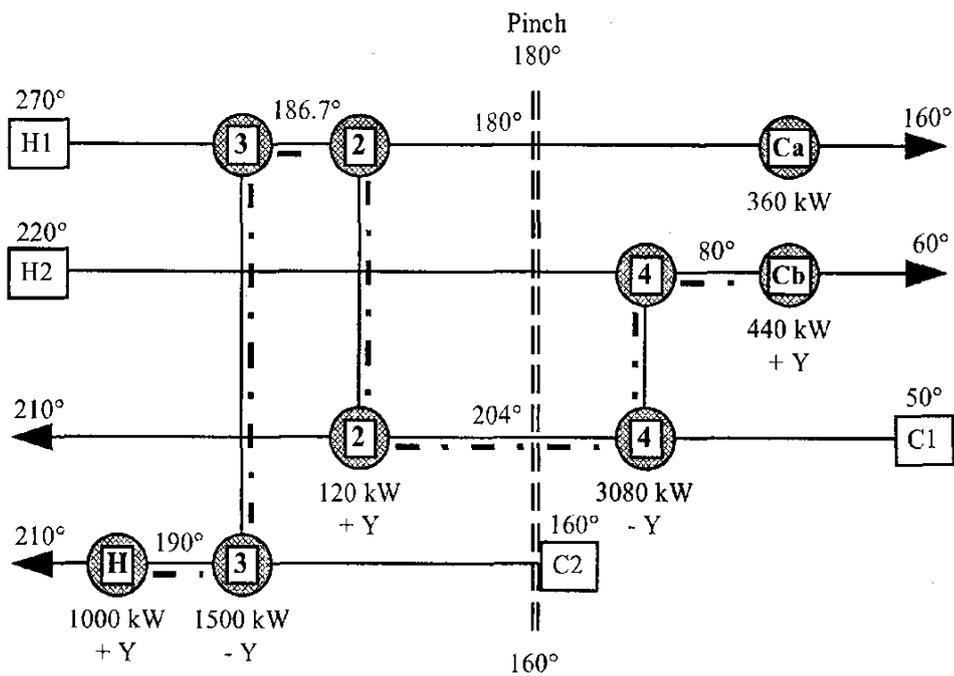


Fig. 5.14 Heat Load Path in a Heat Exchanger Network

Это тепловая перемычка теплообменной сети.

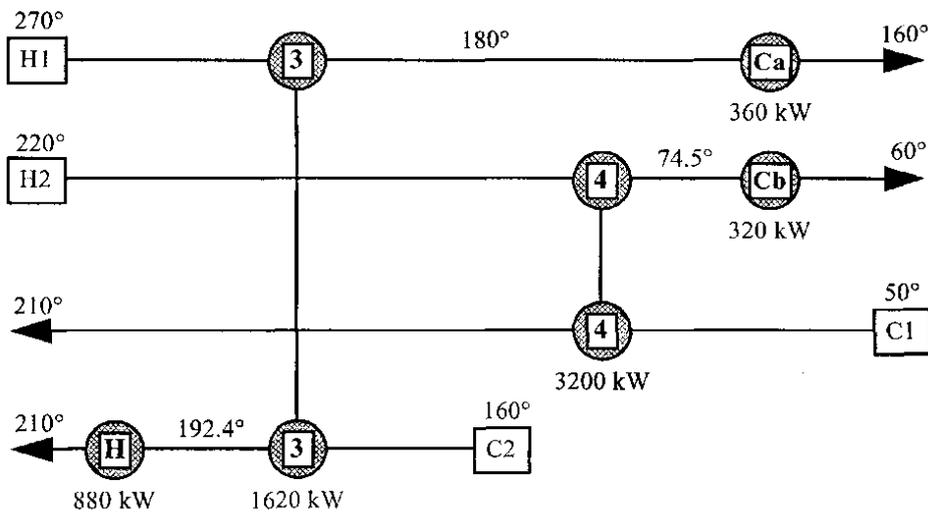


Fig. 5.15 Heat Exchanger Network for the simple Example with only 5 Units

Это «простая» возможная сеть «всего» с пятью теплообменниками для реализации межпоточного обмена.

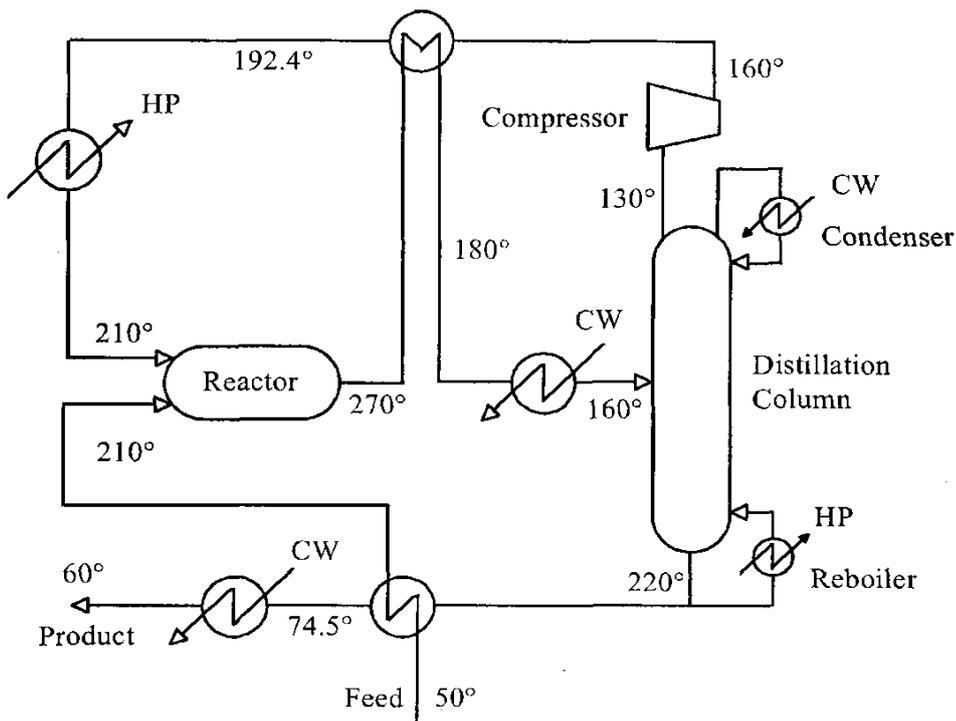


Fig. 5.16 Process Example with one possible Heat Recovery solution (from Fig. 5.15)

Это пример схемы с одним возможным решением возврата тепла.

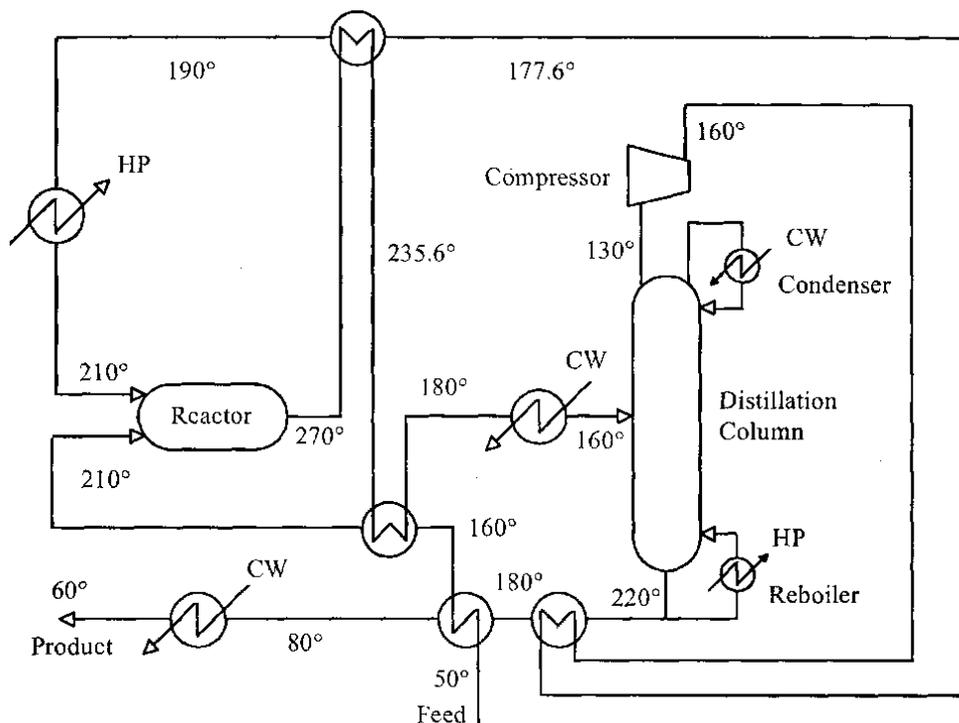


Fig. 5.17 Process Example with a maximum Heat Recovery Recovery solution (from Fig. 5.11)

И, наконец, это **конечная рекомендуемая схема** с максимальным возможным возвратом тепла.

**Здесь стало девять теплообменников вместо двух в исходной ХТС.**

**Кроме самих теплообменников появляются также:**

- трубопроводы с теплоизоляцией (или со спутниками), они могут быть большой длины и неудобны для прокладки;
- при необходимости – насосы или газодувки с пусковой и пр. аппаратурой;
- вся трубопроводная запорная, регулирующая и другая арматура;
- системы КИП и автоматики, при этом регулирование становится взаимозависимым и без процессорно-компьютерного управления нереализуемым;
- опоры, траншеи, эстакады, прочие металлоконструкции и др.;
- устройства сдувок, слива, чистки, пуска и останова и пр.;
- при необходимости – дополнительные средства техники безопасности и пр.

**Это цена за энергосбережение.**

**Аналогичные** подходы и процедуры межпоточного обмена возможны не только для тепла, но и для **материальных потоков** при их разветвленной системе: вода, водород, углеводороды и пр. (и соответствующие «пинчи»).

### 3

По совершенствованию ХТС с сушкой с использованием интегрированного подхода и пинч-анализа **публикаций почти нет.**

Приведем **один из первых примеров** такого анализа, выполненного Т. Кудрой. Работа опубликована в нашем Вестнике ТГТУ (на *англ. языке*):

[8]. Tadeusz Kudra. An Integrated Approach to Drying Technology. Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. 2004. Т. 10, № 1А. С. 114–119.

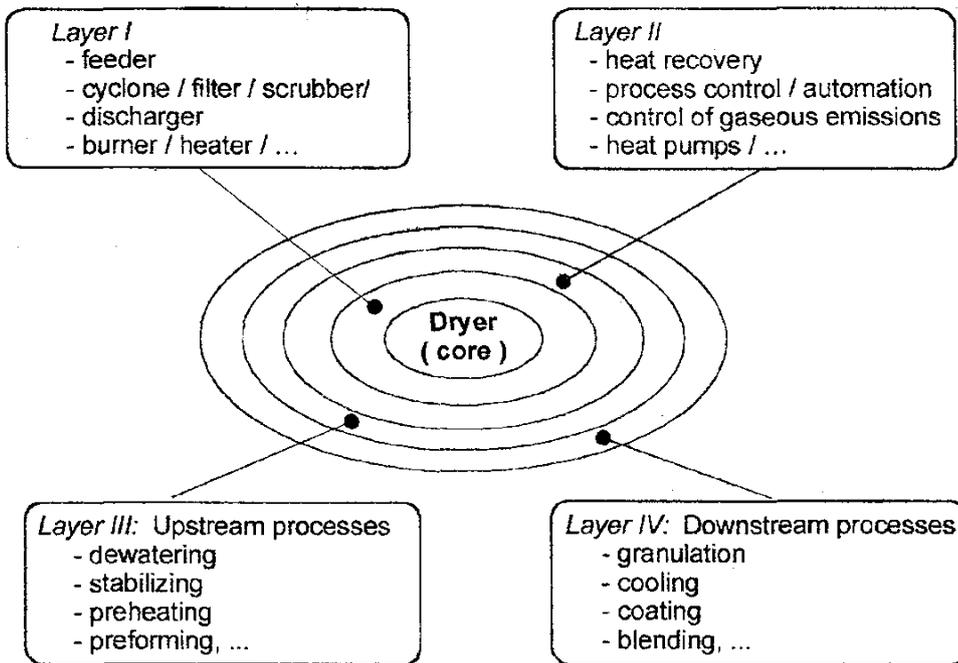


Fig. 1 Onion model for drying technology

Это так называемая луковичная иерархическая диаграмма для ХТС сушки со всем вспомогательным оборудованием по слоям (простейшего вида).

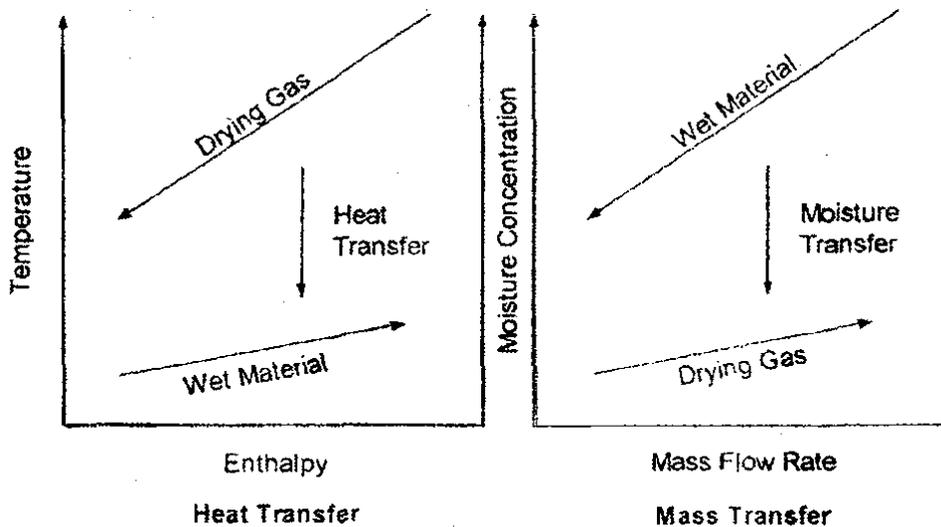
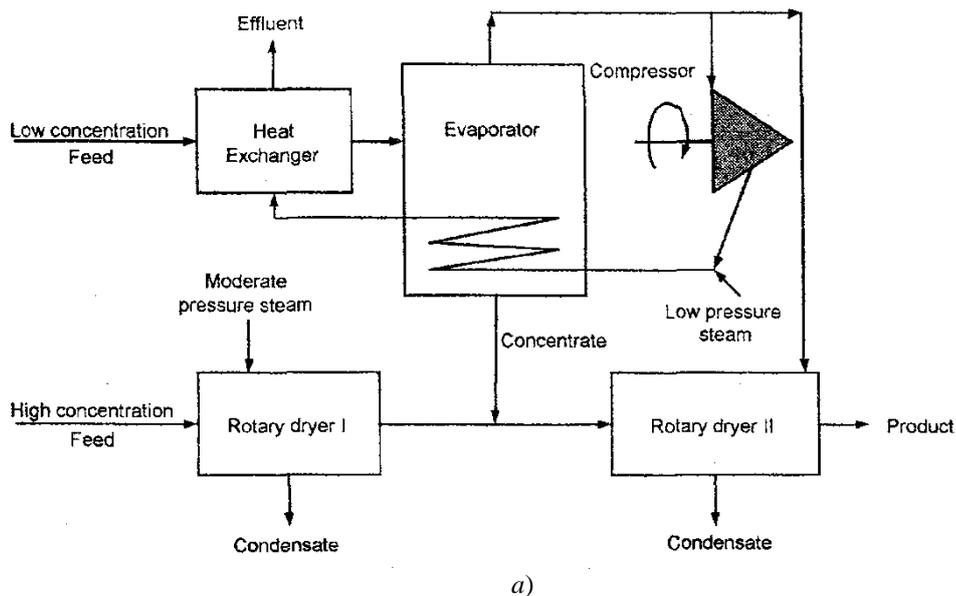


Fig. 2 Heat and mass transfer approach in pinch technique for drying

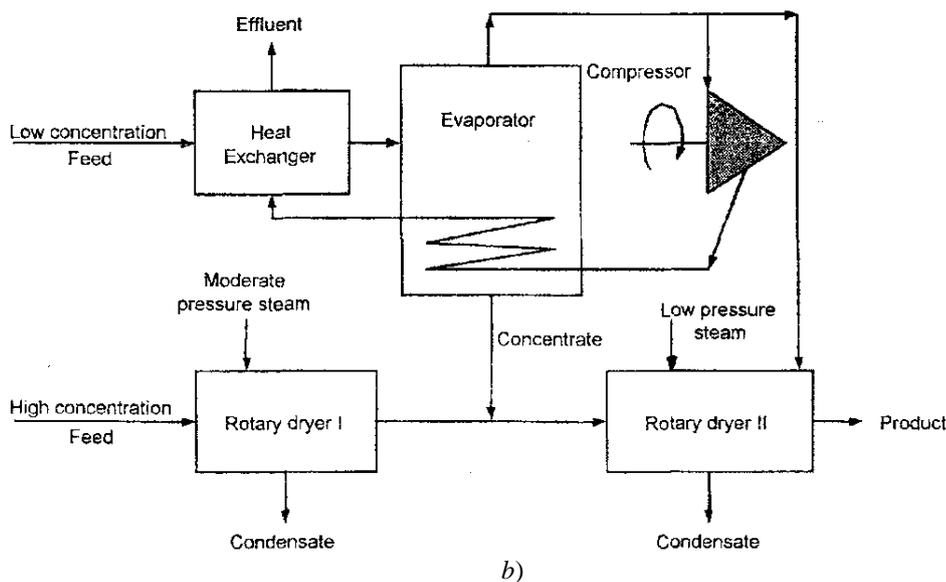
Далее методика анализа **тепловых** (слева) и **влажностных** (справа) потоков и соответственно перепадов температур и концентраций в принципе аналогична вышерассмотренной.



Используется 2-х ступенчатая роторная сушилка. Сушка реализуется с парокompрессионным тепловым насосом.

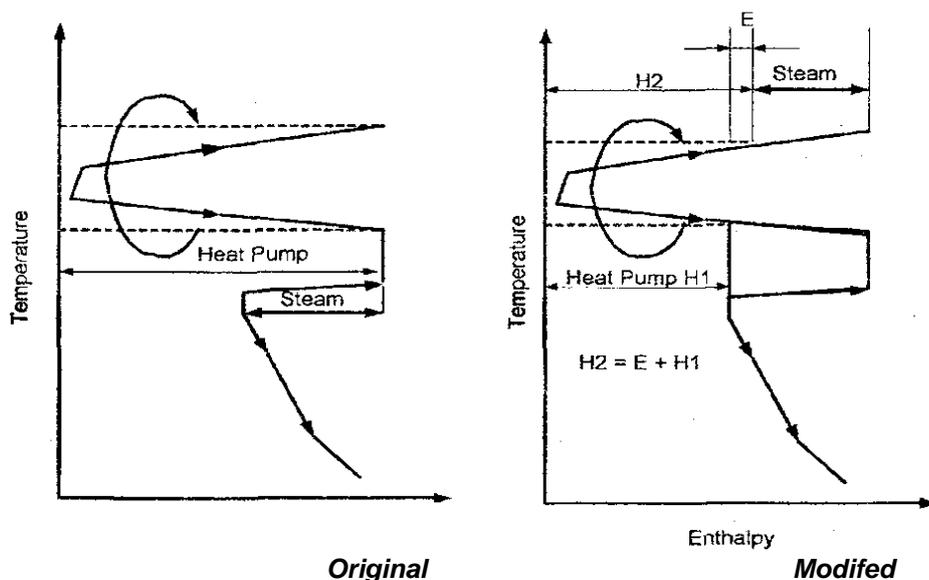
Вверху представлена схема до модификации.

Ниже – рекомендуемая схема после модификации по результатам выполненного пинч-анализа.



**Fig. 3 Production of animal feed before (a) and after (b) modifications according to results of pinch analysis**

Сами интегрированные температурные кривые представлены ниже: слева – до модификации, справа – после модификации.



**Fig. 4 Grand composite curves for the plant before and after modifications**

Результатом модификации является **выигрыш в расходе пара и в кинетике процесса.**

**4**

Теперь отметим некоторые наши **соображения и комментарии.**

**1) Главная отличительная и положительная черта** всех этих работ – исключительно **активный, энергичный (иногда даже агрессивный) показ** промышленности и государственным чиновникам, **как можно в принципе экономить энергию и ресурсы.**

В текущей производственной жизни этому часто мешают привычки персонала, традиции отраслей, непривлекательность для научных работников заниматься «скучной экономией».

В сочетании с реальными требованиями развития общества, сокращением ресурсов, удорожанием энергетики, экологическими проблемами, деятельностью СМИ и пр. это привело к возрастанию роли всех этих проблем вплоть до **ранга государственной политики**, а в науке и производстве – к существенно **коммерческому** характеру их развития.

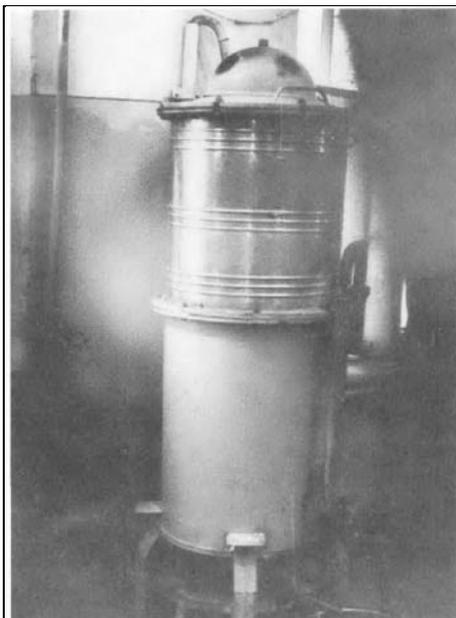
Естественно, **коммерциализация** этой деятельности приводит к ряду **особенностей** в самом развитии, в контактах и взаимоотношениях, в публикуемой информации и пр.

**2) Авторы работ и статей по этому направлению отсчитывают историю** такого подхода **от публикации своих собственных или аналогичных работ.** Иногда это может даже приводить к сомнениям в эрудиции авторов. Кстати, аналогичная картина наблюдается и в ряде других новых направлений – инноваций. Между прочим, это не помогает, а вредит самим работам, прежде всего, их творческому уровню.

Между тем, **интегрированный подход** – это по своей сути хорошо известный с давних пор **межпоточный** теплообмен, но развиваемый применительно к анализу всей ХТС в целом. Например, **колонны синтеза аммиака по Габеру-Бошу** и многие многостадийные химические производства с рециклами, байпасами, при разных давлениях и температурах без межпоточного или межпродуктового теплообмена были бы нерентабельны или даже невозможны.



Это одна из первых колонн синтеза аммиака по Габери-Бошу. Она стоит как памятник перед факультетом Университета в Карлсруэ. Ее работа вообще была бы невозможна без межпоточного теплообмена.



**Дистиллятор ЭД-90.  
Конструкция Коновалова В.И.  
1957 г.**



**В.И. Коновалов – конструктор ОГК,  
а ныне доктор технических наук,  
профессор.  
1954 г.**

Это фрагмент из книги о заводе «Комсомолец»: Н.С. Артемов. Трудные будни. Тамбов : Пролетарский светоч, 2001. 272 с., с. 48.

Здесь приведен другой характерный пример энерго- и ресурсосберегающих конструкторских решений – **электродистиллятор** с теплоизолирующей рубашкой собственным паром и с подогревом питательной воды за счет теплоты конденсации паров, разработанный вместо исходного (американского) образца с пробковой изоляцией кипятильника (а.с. СССР, 1957 г., Коновалов-Тузков). Аппараты такого типа уже около 50 лет серийно выпускаются Тамбовским ОАО «Завод «Комсомолец» им. Н.С. Артемова».

**Пинч-анализ** также является по своей сути **новым приемом** выявления **лимитирующих** или узких мест во взаимном тепломассообмене. Например, в классическом учебнике ПАХТ **МакКэба-Смита** пинчем в ректификации называется область вблизи **азетропа**.

3) Авторы часто **замалчивают трудности и проблемы**, возникающие при реализации межпоточного тепломассообмена.

Их сводка, краткий анализ и примеры из практики будут даны в нашей статье в Юбилейном выпуске «Вестника ТГТУ». Проблемы эти, в большинстве случаев, не термодинамические, а конструкторско-технологические.

Обычно **именно их решение – это главная**, самая сложная и квалифицированная, **работа** вообще по реализации всех энергосберегающих проблем. Во многих случаях их решение стало возможным только в последние годы благодаря созданию новых машин, материалов и систем автоматики.

Недавно наш энергетический патриарх В.М. Бродянский (1919 г. рожд.) на двух страничках перечислил 12 правил, как нужно и как не нужно заниматься энергосбережением:

[9]. **Бродянский В.М. Аксиомы энергосбережения** // Материалы 4-й научно-технической конференции по энергосбережению, Ульяновск, 24–26 апр. 2003 г., с. 5–6.

Кстати, его последнее 12-е правило такое: «Будь осторожен с рекламой и предложениями новых «сверхэффективных» процессов, машин и систем. Тщательно проверяй их, особенно в тех случаях, когда авторы ссылаются на высокие научные авторитеты или, напротив, ниспроверяют их».

## 5

**В заключение** рекомендуем для молодых ученых-процессчиков еще три книги по энергосбережению:

[10]. **Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. 4-е изд.** М. : Энергоатомиздат, 1983. 416 с. Это классическая книга трех академиков, написанная вообще без общих фраз. Ее рекомендуется проработать начинающим осваивать практическую термодинамику в первую очередь.

[11]. **Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. 2-е изд.** М. : Энергоиздат, 1981. – 320 с. Это книга для осваивающих **термодинамические циклы, термокомпрессию, теплотрансформацию**.

Основы **эксергетического анализа для сушильщиков** сейчас рекомендуем изучать по уже упоминавшейся книге Б.С. и В.Б. Сажиных, но в русском издании:

[12]. **Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы техники сушки.** М. : Наука, 1997. – 448 с.

Во всех этих книгах есть и необходимая библиография для более детального изучения, а о последней литературе достаточно говорилось по ходу доклада.

## **Present-Day Analytical Approaches to Energy-Saving. Integrated Approach. Pinch Analysis. Onion Model**

V.I. Konovalov, T.Kudra, A.N. Pakhomov, A.Yu. Orlov

*Department "Chemical Engineering", TSTU (1);  
CANMET Energy technology Centre, Montreal, Canada (2)*

**Key words and phrases:** energy-saving; onion diagram; pinch-analysis; processes integration; resource-saving.

**Abstract:** The paper presents the views on present-day technique of energy-saving; it is based on integrated approach to manufacturing on the whole and to the system of apparatuses as well as on the analysis of individual and total hot and cold flows, revealing narrow limiting spots – «pinches» through the shell hierarchy production scheme, i.e. onion model. The bibliography supplemented with comments is given.

---

## **Gegenwärtige analytische Herangehens zur Energiesparung. Integriertes Herangehen. Pinch-Analyse. Zwiebelmodell**

**Zusammenfassung:** Es sind die Vorstellungen über der modernen Methodologie der Energiesparung, die auf das integrierten Herangehen zur Produktion, auf die Analyse der individuellen und summarischen heißen und kalten Ströme, auf die Feststellung der engen limitierten Plätze – Pinchen mit der Verwendung des hüllierarchischen Schemas der Produktion – des Zwiebelmodells gründen. Es ist die Bibliographie mit dem Kommentar angeführt.

---

## **Approches modernes analytiques envers la conservation de l'énergie. Approche intégrée. Pinch-analyse. Modèle oignon**

**Résumé:** Sont données les représentations sur les méthodes modernes de la conservation de l'énergie fondées sur une approche intégrée à la production au total, au systèmes de tous les appareils; sur l'analyse des courants chauds et froids individuels et sommaires, sur la déduction des lieux étroits, limités – les «pinchs»; avec l'emploi du schéma de couche hiérarchique – modèle oignon. Est citée la bibliographie avec les commentaires.

---