



Столыпинский

вестник

Научная статья

Original article

УДК 621

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО
МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ**
THE MAIN PROVISIONS OF THE THERMODYNAMIC METHOD OF
CONSTRUCTING THERMAL CIRCUITS

Гололобов Леонид Борисович, студент, Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)) — федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Российской Федерации, г. Москва

Пирогов Евгений Николаевич, доцент, Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)) — федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Российской Федерации, г. Москва

Gololobov Leonid Borisovich, student, The Russian University of Transport (RUT (MIIT)) – Federal the Autonomous Educational Institution higher education Russian Federation, c. Moscow.

Pirogov Evgeniy Nikolaevich, docent, The Russian University of Transport (RUT (MIIT)) – Federal the Autonomous Educational Institution higher education Russian Federation, c. Moscow.

Аннотация:

В статье рассматривается термодинамический метод построения тепловых схем производств, позволяющий синтезировать теплообменную систему с высокими показателями энергоэффективности.

Применение этого метода позволяет на стадии проектирования определить значения необходимого количества теплоты и хладоносителя для реализации технологического процесса, а также количество рекуперированной тепловой энергии, а, следовательно, оценить стоимость капитальных затрат на изготовление теплообменного оборудования. Высокая эффективность теплоэнергетических производств связана с рациональным использованием материальных и топливно-энергетических ресурсов, поэтому применение описанного в статье метода построения тепловых схем производств является особенно актуальным.

Abstract:

The article discusses the thermodynamic method of constructing thermal circuits of production, which allows synthesizing a heat exchange system with high energy efficiency.

The application of this method makes it possible at the design stage to determine the values of the required amount of heat and coolant for the implementation of the technological process, as well as the amount of heat energy recovered, and, consequently, to estimate the cost of capital expenditures for the manufacture of heat exchange equipment. The high efficiency of thermal power plants is associated with the rational use of material and fuel and energy resources, therefore, the application of the method described in the article for constructing thermal production schemes is particularly relevant.

Ключевые слова: энергосбережение, теплообменный аппарат, термодинамический метод, оптимизация тепловой схемы, пинч-анализ, тепловая энергия, энергоэффективность.

Keywords: energy saving, heat exchanger, thermodynamic method, optimization of the thermal circuit, pinch analysis, thermal energy, energy efficiency.

Аппаратурное оформление химико-технологических производств, при условии соблюдения последовательности технологических операций, заключается в оптимизации тепловых потоков за счет рационального размещения теплообменных аппаратов.

В настоящее время существуют два класса методов оптимизации химико-технологических систем (ХТС), которые могут быть применены и при разработке технологии конкретного производства [1].

Первый класс методов оптимизации не учитывает особенности технологической и информационной типологии систем и использует для отыскания экстремума критерия оптимизации ТС как прямые методы (или методы спуска), так и непрямые методы, которые позволяют найти оптимальные решения с помощью необходимых условий экстремума. При использовании первого класса методов оптимизации система рассматривается как единое целое, без выделения отдельных ее элементов или подсистем.

Второй класс образуют декомпозиционно-топологические методы оптимизации, основанные на декомпозиции задачи оптимизации систем в целом на совокупность подзадач оптимизации отдельных элементов или подсистем.

Оба метода характеризуются трудоемкостью, которая определяется такими показателями как объем вычислений на каждой итерации и стратегией поиска экстремума.

Оптимизация - это операция получения наилучших результатов в данных условиях.

При существующем многообразии методов построения оптимизированных тепловых схем производств [1,2,3] наиболее перспективным представляется применение термодинамического метода

(пинч-анализ) [4,5], который характеризуется высокой эффективностью энергетической интеграции тепловых процессов.

Пинч-анализ представляет собой методологию, целью которой является минимизация энергопотребления процесса, за счет расчета и анализа термодинамически обоснованных объемов энергопотребления. Каждый оптимизируемый технологический процесс, с точки зрения пинч-анализа, будет рассматриваться как общая сумма горячих и холодных потоков [6]. Горячие потоки - это те потоки, которые согласно технологическому процессу, требуют охлаждения. Холодные потоки, согласно технологическому процессу, требуют нагревания, т.е. подведения тепловой энергии к конкретному аппарату в количестве, определенное количество теплоты в данный момент времени.

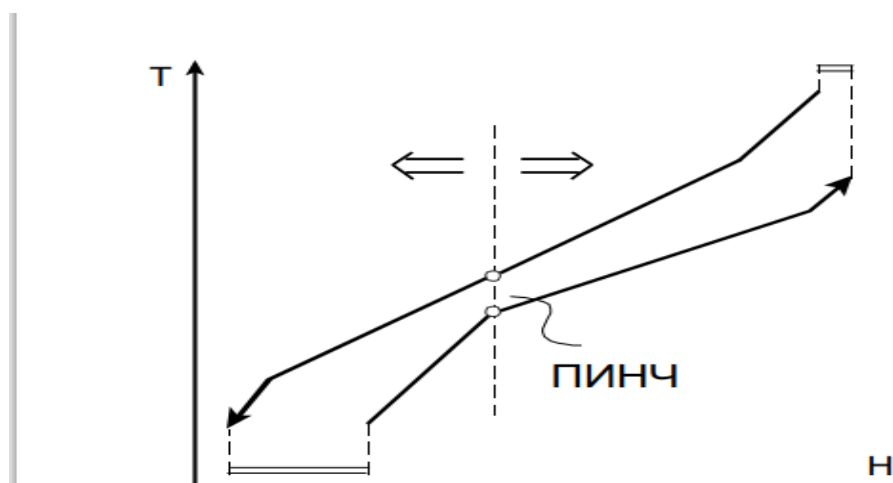


Рисунок 1 - Последовательность проектирования

Применение пинч-метода актуально для минимизации потребления тепловой энергии. Это достигается установкой в технологической системе определенного количества теплообменных аппаратов, позволяющих рекуперировать теплоту горячих потоков холодным потокам, объединенным данной утилитой. При этом необходимо соблюдать следующие требования: суммарная кривая горячих потоков должна располагаться выше суммарной кривой холодных потоков, перепад температур в самом узком месте (точке

пинча) должен определять минимальную движущую силу процессов теплообмена между холодными и горячими потоками в технологической системе, декомпозировать технологическую систему на подсистемы:

- подсистему, использующую внешние энергоисточники – горячие утилиты,
- подсистему, использующие внешние энергопотребители – холодные утилиты.

Горячие потоки не могут передавать теплоту холодным потоком через точку пинча, а могут обмениваться теплотой правее точки пинча и, соответственно, левее точки пинча (рисунок 1).

Такое положение позволяет определить величину целевого значения рекуперации теплоты в технологической системе, а также целесообразность и эффективность выбора между затратами теплоты на подогрев холодных потоков и охлаждение горячих потоков с одной стороны, и капитальными затратами на изготовление теплообменных аппаратов для рекуперации при проектировании энергосберегающих технологических схем.

По мере сближения составных кривых количество возможного рекуперированного тепла в системе увеличивается (т.к. область перекрывания кривых становится больше (т.к. область перекрывания кривых становится больше), а значения теплоты подводимого внешним энергоисточником – горячей утилитой и отводимого хладоносителем – холодной утилитой уменьшаются. И наоборот, по мере отдаления составных кривых количество рекуперированного тепла уменьшается, а затраты на подводимую теплоту к холодной утилите и хладоносителя к горячей утилите увеличиваются. Выбор оптимального значения перепада температур основывается на экономическом компромиссе между капитальными затратами и количеством рекуперированной теплоты.

Определение точки пинча определяется при помощи параллельного смещения составных кривых на энтальпийной диаграмме «Н-Т» можно определить оптимальную движущую силу ΔT_{\min} , а, следовательно, определить

оптимальную движущую силу теплоты для технологической схемы (рисунок 1).

Поскольку эта точка показывает номинальную разность температур в системе, то очевидно, отдельные теплообменные аппараты в подсистемах правее и левее точки пинча должны иметь разность температур не меньше чем ΔT_{\min} . Поэтому при проектировании теплообменной системы в технологической схеме исходной предпосылкой является предположение о том, что ни в одном теплообменнике не может быть разность температур меньше, чем ΔT_{\min} между составными кривыми технологической схемы в целом.

На рисунке 2.1 представлена качественная зависимость выбранного при синтезе теплообменной системы значения минимального температурного перепада в точке пинча на стоимостные показатели теплообменной системы в целом, которые зависят как от величины капитальных затрат на изготовление теплообменных аппаратов, так и стоимости тепловой энергии и хладоносителя. По мере сближения составных кривых количество возможного рекуперированного тепла в системе увеличивается (т.к. область перекрывания кривых становится больше (т.к. область перекрывания кривых становится больше), а значения теплоты подводимого внешним энергоисточником – горячей утилитой $Q_{h\min}$ и отводимого хладоносителем – холодной утилитой $Q_{c\min}$ уменьшаются. И наоборот, по мере отдаления составных кривых количество рекуперированного тепла уменьшается, а $Q_{h\min}$ и $Q_{c\min}$ увеличиваются.

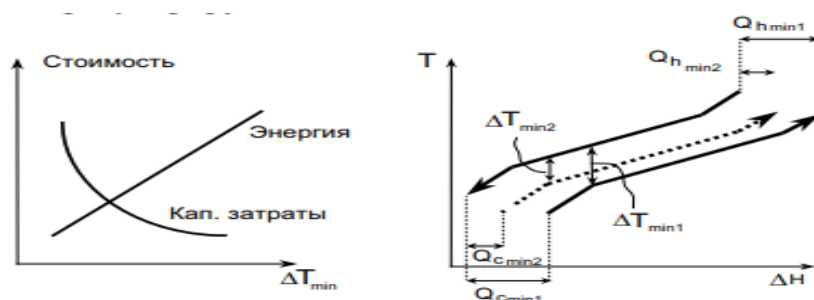


Рисунок 2 – Применение составных кривых для определения движущей силы процесса теплообмена в технологической системе

При нарушении положения, приведенного выше, а именно, горячие потоки не могут передавать теплоту холодным потоком через точку пинча, передача α единиц теплоты через точку пинча, как это иллюстрируется на рисунке 3, приводит к дефициту теплоты такой же величины, что приведет к необходимости подвода теплоты α от внешних источников.

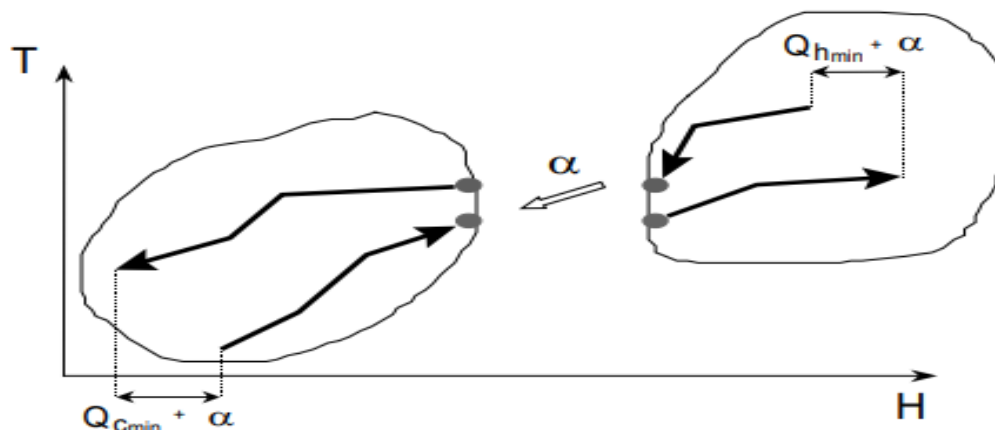


Рисунок 3 – Обоснование подвода горячей и холодной утилит в технологическую систему

Приведенные выше положения позволяют сформулировать основные эвристические правила проектирования оптимизированных по теплотреблению тепловых схем производств на правилах пинч-метода:

- запрет передачи теплоты через точку пинча,
- не использовать горячую утилиту под точкой пинча,
- не использовать холодную утилиту над точкой пинча.

При проектировании теплообменной системы с использованием термодинамического метода построения тепловых схем (пинч-метод) эвристические правила использования составных кривых сводятся к следующим положениям:

- горячая утилита под точкой пинча и холодная утилита над точкой пинча должны быть разделены,

- горячая утилита должна использоваться в подсистеме над точкой пинча, а холодная утилита в подсистеме под точкой пинча.

Графическая иллюстрация основного эвристического правила проектирования оптимальных энергосберегающих технологических систем приведена на рисунке 4.

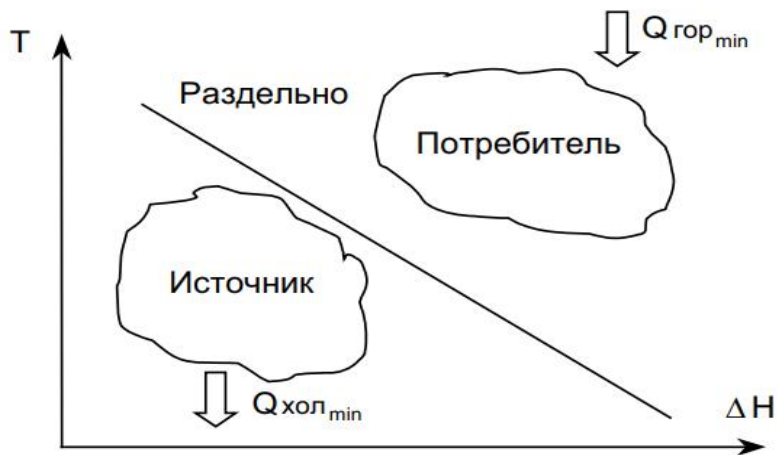


Рисунок 4 – Графическая иллюстрация основного эвристического правила проектирования оптимальных энергосберегающих технологических систем

Использование термодинамического метода построения тепловых схем (пинч-метод) в отличие от ранее применяемых методов проектирования теплообменных систем, которые требовали постоянного проведения и отслеживания результатов расчета тепловых показателей, позволяет уже на стадии проектирования определить значения необходимого количества теплоты и хладоносителя для реализации технологического процесса, а также количество рекуперированной тепловой энергии, а следовательно, оценить стоимость капитальных затрат на изготовление теплообменного оборудования.

Заключение. Использование термодинамического метода построения тепловых схем (пинч-метод) на стадии проектирования химико-технологической системы, состоит из двух этапов: этап определения и расчета целевых значений и этап непосредственно самого проектирования.

Оптимизация функционирования химико-технологической системы за счет рационального использования энергоресурсов, комбинирования физико-химических показателей процессов, а также стратегическое управление техническим блоком ХТС приводят к развитию производства и повышению его энергоэффективности.

В итоге, за счет применения метода пинч-анализа на производствах, затраты на всех этапах производства выпускаемой продукции значительно снижаются,

Список литературы:

1. Кафаров В. В., Мешалкин В. П., Гурьева Л. В. Оптимизация теплообменных процессов и систем. – Энергоатомиздат, 1988-192 с.
2. Н.В.Лисицын. Синтез и оптимизация систем теплообмена. Химическая промышленность, т.80, №1, 2003 (45)
3. Гололобов Л.В., Пирогов Е.Н. Тепловые схемы предприятий и направления их оптимизации. 2022
4. Linnhoff D., Flower J.R. et.al. A user guide on process integration for the efficient use of energy. IChemE, 1983, Rugby, CV21 3HQ, England.
5. Linnhoff B., Flower J. R. Synthesis of Heat Exchanger Networks // AIChE Journal. 1978. Vol. 24. No. 4. P. 633–642.
6. Булатов И. С. Пинч-технология. Энергосбережение в промышленности – СПб: Страта, 2012. -140 с.

List of literature:

1. Kafarov V. V., Meshalkin V. P., Guryeva L. V. Optimization of heat exchange processes and systems. – Energoatomizdat, 1988-192 p.
2. N.V.Lisitsyn. Synthesis and optimization of heat exchange systems. Chemical industry, vol.80, №1, 2003 (45)
3. Gololobov L.V., Pirogov E.N. Thermal schemes of enterprises and directions of their optimization. 2022
4. Linnhoff D., Flower J.R. et.al. A user guide on process integration for the efficient use of energy. IChemE, 1983, Rugby, CV21 3HQ, England.

5. Linnhoff B., Flower J. R. Synthesis of Heat Exchanger Networks // AIChE Journal. 1978. Vol. 24. No. 4. P. 633-642.
6. Bulatov I. S. Pinch-technology. Energy saving in industry – St. Petersburg: Strata, 2012. -140 p.

© Гололобов Л.Б., Пирогов Е.Н., 2022 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №5/2022.

Для цитирования: Гололобов Л.Б., Пирогов Е.Н. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №5/2022.