

Новгородский Евгений Евгениевич, доктор технических наук, профессор, профессор Ростовского государственного строительного университета;

Горлова Наталья Юрьевна, аспирант Ростовского государственного строительного университета;

Страхова Наталья Анатольевна, доктор технических наук, профессор Ростовского государственного строительного университета, т.: 89185060081, e-mail: tan35@yandex.ru;

Шишова Рита Гучипсовна, старший преподаватель кафедры строительных и общепрофессиональных дисциплин ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет».

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

(рецензирована)

В работе предлагается комплексная методика оптимизации использования теплоты вторичных энергоресурсов, которая может быть применена при проектировании новых и модернизации существующих установок в промышленности при использовании природного газа.

Ключевые слова: источник теплоты, оптимизация, природный газ, теплообменник, потребитель, воздухопроводы, КПД.

Novgorodskii Evgenii Evgenjevich, Doctor of Technical Sciences, Rostov State University of Civil Engineering;

Gorlova Natalia Yurjevna, post graduate of the Rostov State University of Civil Engineering;

Strakhova Natalia Anatoljevna, Doctor of Technical Sciences, professor of Rostov State University of Civil Engineering, tel.: 89185060081, e-mail: tan35@yandex.ru;

Shishova Rita Guchipsovna, senior lecturer of the Department of Construction and General Professional Disciplines of FSBEI HPE "Maikop State Technological University".

TECHNOLOGICAL BACKGROUND OF USING WASTE ENERGY RESOURCES HEAT

(reviewed)

This paper proposes a comprehensive methodology to optimize the use of waste energy heat, which can be applied in the design of new and modernization of existing plants in industry when using natural gas.

Keywords: heat source, optimization, natural gas, heat exchanger, the consumer, ducts, efficiency.

Одним из наиболее сложных комплексов задач при исследовании, разработке и проектировании теплоиспользующих установок является определение их оптимальных схем, параметров, конструктивных характеристик и режимов работы. Для решения подобных задач в настоящее время рекомендуется метод комплексной оптимизации, базирующийся на совместном использовании метода математического моделирования и методов решения многофакторных экстремальных задач с учетом всей совокупности влияющих факторов и ограничивающих условий [1]. Вопросы энергетического анализа и структурной оптимизации тепловых схем высокотемпературных установок рассмотрены в работах [2, 3].

Оптимальная схема использования теплоты продуктов сгорания должна отвечать многим требованиям, основные из которых минимальная стоимость по приведенным затратам при максимальном использовании теплоты отходящих газов.

Оптимальную схему следует рассматривать в двойном аспекте. Первый – оптимальная схема при «идеальном» наборе оборудования, т.е. такая схема, которая обеспечивает максимальное использование тепловых вторичных энергетических ресурсов с наименьшими потерями в окружающую среду, с наибольшими коэффициентами полезного действия оборудования, включенного в схему, при минимальных затратах. В такой схеме набор оборудования «произволен», т.е. схема предусматривает установку таких конструкций теплоутилизаторов, которые в данном режиме теплоиспользования работали бы с наивысшим КПД, причем потери теплоты как теплообменниками, так и газоходами были бы минимальными. Это принцип идеальной схемы, на основе которой необходимо строить математическую модель оптимизации применения теплоты продуктов сгорания.

Второй – оптимальная реальная схема при конкретно возможном наборе оборудования. В реальных условиях промышленного производства обеспечение идеальной схемы практически

невозможно. Этому мешает ряд конкретных субъективных и объективных факторов. Основные из них:

- предприятие имеет конкретные возможности в приобретении (или изготовлении) определенного теплообменного и теплоиспользующего оборудования и в ряде случаев не того, которое необходимо по «идеальной» схеме. Естественно, технические и экономические характеристики этого оборудования будут отличаться от необходимых по схеме, что, следовательно, приведет к удорожанию схемы в целом;

- компоновка технологического оборудования и наличие свободных производственных площадей накладывают свои требования на размещение и взаимосвязь теплообменников в схеме использования теплоты. Это влечет за собой увеличение протяженности газопроводов от одного вида оборудования к другому, что, в свою очередь, увеличивает потери теплоты при транспортировке продуктов сгорания и вызывает удорожание самой схемы за счет ее вынужденной протяженности;

- немаловажным фактором является возможность использования теплоты, т.е. наличие на предприятии потребителей утилизированной тепловой энергии, в особенности в летнее время. Вероятно, этот вопрос следует решать кардинально, тщательно рассмотрев возможности аккумуляции теплоты, возможности выработки электрической энергии. Последние задачи являются проблемными, требующими своего решения.

Учитывая приведенные факторы, а также ряд других немаловажных условий, можно наложить на целевую функцию обобщенной схемы конкретные ограничения. После разрешения целевой функции оптимизации с учетом ограничений получается наиболее целесообразная и эффективная (оптимальная) схема использования тепловых вторичных энергетических ресурсов, которая и должна приниматься в качестве рабочей.

При рассмотрении общей схемы использования теплоты можно выделить четыре основных элемента, которые в силу особенностей определения экономической эффективности различны, кроме того, каждый из них в общей схеме оптимизации подлежит собственной оптимизации в зависимости от режима работы (внутренняя задача оптимизации). Таким образом, общая оптимизация схемы использования теплоты продуктов сгорания должна включать внутреннюю оптимизацию отдельных элементов и собственно оптимизацию схемы в целом (внешняя задача оптимизации).

Основные элементы схемы комплексного использования теплоты следующие: источник теплоты, теплообменные аппараты (промежуточное звено), потребители теплоты, связи отдельных видов оборудования.

Источник теплоты – технологическое оборудование, уходящие газы после которого обладают высоко-, средне- или низкотемпературным потенциалом для последующего использования в различных теплоутилизаторах. Источник теплоты определяет конкретные исходные данные для разработки и принятия той или иной схемы теплоиспользования: расход теплоносителя (количество продуктов сгорания, количество вентиляционных выбросов и т.п.) и его энтальпию (температуру). Эти две характеристики полностью определяют базовое количество топлива, которое может быть использовано в схеме теплоснабжения.

Следует отметить, что на характер и возможность использования теплоты влияет и ряд второстепенных факторов (состав продуктов сгорания, влагосодержание, характер и количество вредных веществ, содержащихся в отходящих газах, теплоту которых предполагается использовать, и др.). Но предварительный анализ работы источника теплоты дает ответы на все поставленные вопросы и, таким образом, имея источник, мы фактически располагаем всеми исходными данными для проектирования схемы комплексного использования теплоты.

Сам источник теплоты оптимизации в схеме не подлежит, но он является исходным оборудованием, исходным элементом, определяющим технологию всех возможных схем использования теплоты и выбор наиболее экономичного в данных условиях варианта.

Строго говоря, оптимальный режим источника теплоты должен определяться, и на его основе должна строиться вся работа данного вида технологического оборудования, но это – технико-экономическая задача технологии, наша же задача – оптимизация схем использования теплоты продуктов сгорания.

Следующий элемент – оборудование, являющееся промежуточным звеном в схеме использования теплоты. В этих видах оборудования происходит передача теплоты от основного (первичного) теплоносителя вторичному теплоносителю. В связи с тем, что теплота в конечном счете может быть применена для самых разнообразных нужд: на технологическое теплоснабжение, отопление, горячее водоснабжение, вентиляцию, кондиционирование воздуха и др., конструктивно это оборудование может быть самым разнообразным. Это различного рода рекуператоры, водяные и паровые теплообменники, экономайзеры, тепловые насосы и т.п. Режим работы этого оборудования должен быть оптимизирован по самым различным характеристикам: оптимизация скорости движения первичного и вторичного

теплоносителя с целью получить наибольший эффект теплоиспользования при минимуме гидравлического сопротивления, оптимизация теплозащитных свойств оборудования с целью снижения потерь в окружающую среду, определение оптимального количества первичного теплоносителя и интервала рабочих температур и др. Основой для такой оптимизации должны служить наличный потенциал теплоты и направление его использования.

Сложность компоновки конкретных схем связана еще и с тем, что существующие типы теплообменных аппаратов не имеют широкого ассортимента и в основном предназначены для работы только от высокопотенциальных источников теплоты. Имеющееся оборудование для работы в диапазоне высоких температур в ряде случаев имеет сложную конструкцию и не позволяет в достаточной мере варьировать поверхностью нагрева. Теплообменники для работы в низкотемпературном режиме и пока и имеют ограниченную область применения.

В связи с этим вопрос оптимизации теплообменников, вероятно, необходимо вести по двум направлениям: во-первых, оптимизация существующих конструкций с определением экономичных режимов работы; во-вторых, предполагается возможным на основе оптимизационного алгоритма в диалоговом режиме работы с ЭВМ разработать систематический ряд новых теплообменных аппаратов, отвечающих всем (или большинству) требованиям по режиму работы и экономичности. Именно такие агрегаты наиболее близко будут подходить к «идеальной» схеме оптимизации. Подобный подход в настоящее время возможен, так как машинное конструирование уже не является технической трудностью.

Так или иначе, но отсутствие необходимого оборудования остается существенным препятствием для компоновки наиболее экономичных схем использования тепловых вторичных энергоресурсов. Поэтому разработку схем и их оптимизацию в первую очередь необходимо производить с учетом конкретно имеющихся возможностей, перспективные схемы можно и нужно давать в виде вариантных решений.

Третий элемент схемы – потребители теплоты. Использовать вторичные тепловые ресурсы, в особенности высокопотенциальную теплоту, возможно по общепринятым направлениям: в технологических системах или установках отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и холодоснабжения.

Техническое использование теплоты настолько разнообразно, что его необходимо рассматривать в прямой связи с технологическим процессом промышленного производства. В частных случаях вторичная теплота может быть применена непосредственно для других видов технологического оборудования (например, подача продуктов сгорания высокотемпературных печей к среднетемпературным нагревательным печам или использование теплоты продуктов сгорания непосредственно в сушильных установках и т.п.), на нагрев воды для технологических нужд, для получения пара, применяемого в технологическом процессе, для нагрева материалов, сырья и т. п.

При рассмотрении потребителей в плане применения вторичной теплоты необходимо подходить с учетом соотношения базового количества тепловой энергии (т.е. количества теплоты, которое непосредственно может быть использовано) и расходов теплоты отдельными потребителями. Здесь задача оптимизации усложняется в связи с тем, что возникает необходимость не только выбрать наиболее экономичные потребители, но и рассмотреть их возможную совместную работу с наивысшим коэффициентом полезного действия, при полном использовании тепловых ресурсов и при наименьших затратах. Такая задача в плане общей схемы оптимизации разрешима.

Последний элемент схемы (наиболее простой) – связи отдельных видов оборудования и системы: источник теплоты – теплообменник – потребитель. Это могут быть газоходы, воздухопроводы, трубопроводы горячей воды или пара.

В общей схеме оптимизации этот элемент может встречаться неоднократно, в зависимости от разветвленности схемы и характера теплопотребления. Оптимизация линий связи может быть простой либо сложной в зависимости от конкретных условий работы, но в сравнении с оптимизацией других элементов – рекуператоров или систем теплопотребления - алгоритм расчета значительно проще. Наибольшую трудность может в этом случае представить оптимизация условий сопряжения – определение характеристик первичного теплоносителя на выходе из газохода, т.е. на входе в очередной элемент, но эта задача имеет решение.

Таким образом, рассмотрев основные положения, которые необходимо учитывать при составлении схем оптимизации использования вторичной теплоты, обратимся к самой схеме, ее особенностям и к возможности оптимизации отдельных элементов схемы и самой схемы в целом.

Учитывая вышеизложенное, простейшая схема использования вторичной теплоты представлена на рисунке 1.

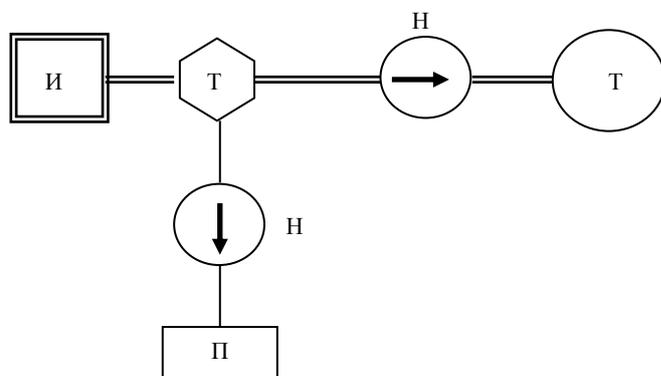


Рис. 1 – Простая схема использования теплоты: И – источник теплоты; Т – теплообменный аппарат; П – потребитель теплоты; Н – нагнетатель; Тр – дымовая труба

В приведенной схеме должны быть согласованы количество теплоты, отдаваемой источником, и количество теплоты, необходимой потребителю. На основе известных исходных данных подлежат определению: оптимальный режим работы теплообменника, оптимальный режим работы линий связи (трактов первичного и вторичного теплоносителей), общий тепловой баланс с оценкой эффективности использования теплоты, приведенные затраты в оптимальном режиме работы схемы, оценки экономической эффективности (целесообразности) схемы в целом с определением срока окупаемости.

Таким образом, даже простейшая схема использования вторичной теплоты представляет собой довольно сложную технико-экономическую задачу.

Необходимость рассмотрения общей оптимизационной схемы диктуется следующим: в настоящее время выбор той или иной схемы применения теплоты производится на основе вариантного сравнения нескольких (на первый взгляд наиболее рациональных) схем. На основе экономического анализа определяются целесообразность и экономичность конечного варианта. Однако экономическая эффективность любой схемы еще не определяет ее оптимальности, т.е. еще нельзя утверждать, что данная схема самая экономичная из всех возможных (даже в конкретных условиях).

Подобное можно утверждать только на основании общего экономического анализа всех возможных вариантов, а для этого необходимо выполнить технико-экономическую оптимизацию общей схемы.

В общем виде задача оптимизации схемы использования вторичной теплоты может быть сформулирована следующим образом.

Задано: источник вторичной теплоты и его характеристики (базовое количество теплоты, параметры продуктов сгорания и т.д.), возможные потребители и их тепловые нагрузки, пространственное размещение источников и потребителей, а также возможные места расположения теплообменных аппаратов, стоимость материалов и энергоресурсов (топлива, электроэнергии и т.п.).

Требуется определить: число, тип и режим работы теплообменных аппаратов в оптимальных условиях, оптимальные характеристики линий связи, общие приведенные затраты на устройство системы комплексного использования теплоты и экономическую эффективность принятой схемы.

Обобщенная схема представлена на рисунке 2.

Для четкости представления схема приведена несколько упрощенно: рассматривается один источник теплоты (при оптимизации использования теплоты в целом по цеху или по предприятию источников теплоты может быть несколько и между ними возможны, а в определенных случаях и обязательны, взаимосвязи), не показаны возможные взаимосвязи между потребителями.

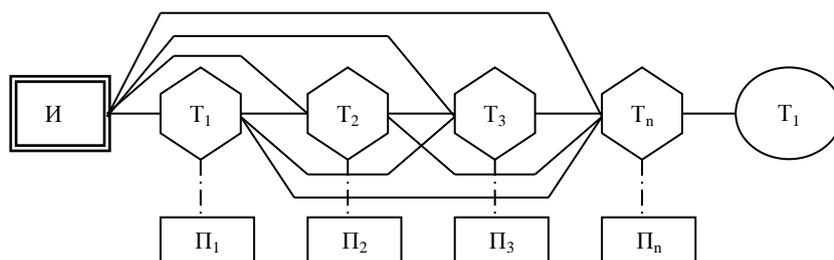


Рис. 2 – Обобщенная схема использования теплоты

Математически задача может быть представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} \Pi_o &= \min [\Pi(X_p, X_c, X_n)], \\ \Pi(X_p, X_c, X_n) &= \sum_i \Pi_i(X_p) + \sum_j \Pi_j(X_c) + \sum_f \Pi_f(X_n), \\ \text{т.е.} \quad \Pi_o &= \min \left[\sum_{i=1}^n \Pi_i(X_p) + \sum_{j=1}^m \Pi_j(X_c) + \sum_{f=1}^k \Pi_f(X_n) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

$(i=1, n; j=1, m; f=1, k).$

Условия ограничения:

$$Q \geq \sum_{i=1}^n Q_i(X_p) \geq \sum_{f=1}^k Q_f(X_n); \quad (2)$$

$$X_p \geq 0; X_c \geq 0; X_n \geq 0,$$

где Π – общие приведенные затраты по оптимальной схеме; X_p, X_c, X_n – соответственно функции оптимизации теплообменников, линии связи и потребителей; Q_o – базовое количество вторичной теплоты; Q_i и Q_f – соответственно тепловые нагрузки теплообменников и потребителей.

Первое условие определяет эффективность использования вторичной теплоты, а приведенные ограничения определяют наличие или отсутствие рассматриваемого элемента.

В настоящее время методы решения рассматриваемой задачи, позволяющие находить абсолютный оптимум, отсутствуют.

Этому препятствуют:

- целочисленность характеристик (число и нагрузки теплообменных установок и потребителей, диаметры газопроводов и трубопроводов и т.п. не представляют собой непрерывных функций, они дискретны);

- нелинейность характеристик (зависимости приведенных затрат в расчетных уравнениях от определяющих характеристик элементов нелинейны);

- динамичность системы (нерегулярность теплотребления, динамика отпуска теплоты источником при переменном режиме работы и т.п.).

В связи с этим используемые методы решения подобных задач позволяют получить решения, близкие к оптимуму, а иногда и совпадающие с ним.

В практике решения могут применяться два в принципе различных метода.

В наиболее простых случаях (незначительное количество потребителей, выбор теплообменного оборудования ограничен, режим работы источника стационарный) рекомендуется применять так называемый оценочный метод. Суть его заключается в том, что предварительным анализом определяются различные варианты схем, из которых впоследствии выбирается наилучшая. Этот метод имеет определенные преимущества: возможность назначения схем на основе инженерных соображений, более точный учет нелинейности и дискретности при выборе оптимального режима.

В общих случаях предпочтительнее оптимизационный метод, при применении которого рассматривается совокупность всех возможных сочетаний элементов схемы с широким варьированием числа элементов и их характеристик. Метод основан на использовании линейного и нелинейного программирования. Так, с помощью нелинейного программирования находятся оптимальные параметры отдельных элементов системы при заданном состоянии, затем с помощью линейного программирования производится переход системы от одного состояния к другому. Задача решается циклами приближения и заканчивается, когда в двух очередных циклах состав объектов и параметров полностью (или с достаточной степенью точности) совпадает.

Литература:

1. Аракелов В.Е. Комплексная оптимизация энергоустановок предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Ключников А.Д. Энергетика теплотехнологий и вопросы энергосбережения. М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Ключников А.Д. Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки. М.: Энергоатомиздат, 1989.

References:

1. Arakelov V.E. Complex optimization of power units of companies. M.: Energoatomizdat, 1984.
2. Klychnikov A.D. Energy of warm technologies and energy conservation. M.: Energoatomizdat, 1986.
3. Klychnikov A.D. High temperature technological processes and installations. M.: Energoatomizdat, 1989.