

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/163TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/163TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/163TVN215>)

УДК 676.2.7

Галковский Вадим Анатольевич

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет (МЭИ)»

Россия, Москва

Филиал в г. Смоленске¹

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: Vadim-galkovskiy@mail.ru

Михайлов Владимир Александрович

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет (МЭИ)»

Россия, Москва

Филиал в г. Смоленске

Заведующий кафедрой

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: kafedra-pt@mail.ru

Оценка эффективности работы промышленных теплоэнергетических систем предприятий стройиндустрии

¹ 214013, Россия, г. Смоленск, Энергетический проезд, дом 1

Аннотация. Дана характеристика способов создания энергосберегающих технологических систем. Один из возможных путей – объединение нескольких технологических процессов в последовательно-параллельные или последовательные звенья, при этом полупродукты, продукты или отходы одного технологического процесса представляют собой сырье для выпуска продукции другого производства. Данный подход реализован на примере энергетически усовершенствованной промышленной теплоэнергетической системы фаянсового производства. Проведена декомпозиция всей системы предприятия на взаимодействующие между собой подсистемы. При этом в подсистемы включено такое число элементов, при котором рассогласование обобщенных флуктуаций энергии минимальное, обмен энергией между элементами обозначающих границы выделенных подсистем, по сравнению с энергией всей подсистемы пренебрежительно мал. Для определения энергетических не взаимодействующих подсистем: построена диаграмма средних (эквивалентных) энергетических уровней; определено число M подсистем по виду диаграммы; определено число элементов, входящих в состав подсистем; проверена корректность декомпозиции по рассогласованию обобщенных флуктуаций энергий подсистем.

Задача анализа сложной теплоэнергетической системы решена независимо по подсистемам.

Выбор оптимального распределения потоков проведен с использованием алгоритма нахождения совершенных паросочетаний энергопотоков.

Предложена новая схема распределения и сочетания энергопотоков, имеющая более высокий коэффициент использования тепла – 0,521 исходной схемы. Экономия энергоресурсов достигла 36%.

Выявлен достаточно высокий энергосберегающий потенциал рассмотренной схемы. Повышение эффективности работы схемы достигнуто путем несложных структурных преобразований и минимального использования дополнительного теплообменного оборудования. В основе решений задачи энергосбережения используется теплота уходящих потоков и внутренняя регенерация.

Ключевые слова: энергосберегающие технологические системы; последовательно-параллельные звенья; последовательные звенья; промышленные теплоэнергетические системы; обобщенная флуктуация энергии; структурный энергетический уровень; коэффициент использования тепла; теплота уходящих потоков; внутренняя регенерация.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Галковский В.А., Михайлов В.А. Оценка эффективности работы промышленных теплоэнергетических систем предприятий стройиндустрии // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/163TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/163TVN215

В виду того, что в теплотехнологических системах промышленного производства часто возникают проблемы несовершенства проектных разработок и методов эксплуатации оборудования, ставится задача как максимального энергоиспользования, так и энергосбережения. Существует множество способов создания энергосберегающих технологических систем. Один из возможных путей - объединение нескольких технологических процессов в последовательно-параллельные или последовательные звенья (в таком случае полупродукты, продукты или отходы одного технологического процесса будут представлять собой сырье для выпуска продукции другого производства) [2,8]. Необходимым условием является наличие в распоряжении руководителей производства эффективных инструментов оперативного планирования и управления, которые позволят не только получать текущую фактическую информацию и оценку реальных значений критериальных параметров, но и, в случае проведения различных энергосберегающих мероприятий, отображать характеристику работы всей *теплотехнологической системы промышленного предприятия* (ТТС ПП).

Анализируемое предприятие строительной индустрии.

В данной статье авторами рассматривается предприятие строительной индустрии, которое выпускает следующие виды продукции: керамическую плитку, фаянсовые изделия (унитазы, раковины) и товары народного потребления (изделия из фаянса). Для производства необходимы следующие виды энергетических ресурсов: природный газ для обжиговых печей цеха народного потребления, а также керамического и фаянсового цехов; производственный пар для сушильных установок и технологических нужд; электрическая энергия для освещения и привода силового оборудования (дымососы, тягодутьевые вентиляторы, насосы, оборудование котельной и т.д.)

На рис. 1 представлена схема предприятия, которая состоит из четырех цехов, связанных между собой только по технологическому пару и по отопительной нагрузке. От производственной котельной, которая располагается на территории завода, осуществляется теплоснабжение корпусов и обеспечение их паром. Технологический пар является важной составляющей процесса изготовления сушильных установок и силикатного кирпича. В таблице 1 представлены данные по расходу и параметрам пара.

Таблица 1

**Параметры и расход пара по цехам предприятия строительной индустрии
(разработано авторами)**

Наименование цеха	Давление пара, МПа	Расход пара, кг/с
Цех керамической плитки	—	—
Цех фаянсовых изделий	0,15	0,210
Цех товаров народного потребления	0,15	0,093

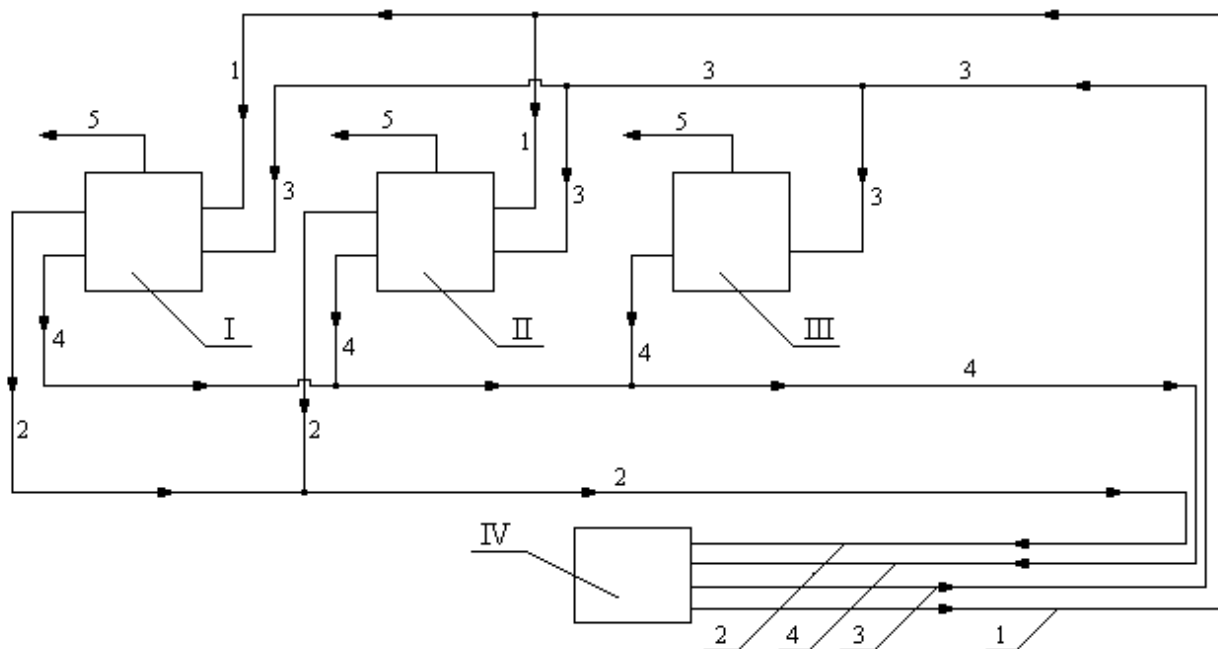


Рис. 1. Взаимосвязь цехов предприятия строительной индустрии (разработано авторами)
 I - цех фаянсовых изделий, II - цех товаров народного потребления,
 III - цех керамической плитки, IV - производственная котельная;
 1 - пар в сушильные установки, 2 - конденсат после сушильных установок,
 3 - прямая сетевая вода (в систему отопления), 4 - обратная сетевая вода (в котельную),
 5 - уходящие газы в атмосферу

С целью расчета и анализа схемы каждого цеха рассматриваемого предприятия проводится декомпозиция всей системы предприятия на подсистемы, которые энергетически между собой не взаимодействуют. Применение такого подхода становится возможным тогда, когда в подсистемы включено такое число элементов, при котором рассогласование обобщенных флуктуаций энергии минимальное, обмен энергией между элементами, обозначающих границы выделенных подсистем, по сравнению с энергией всей подсистемы, пренебрежимо мал [1,4,5,6,7].

Для выделения энергетически не взаимодействующих подсистем необходимо осуществить следующие процедуры:

- 1) построить диаграмму средних (эквивалентных) энергетических уровней по данным расчета $\Delta T_{э,i}$ в зависимости от числа преобразований, где $\Delta T_{э,i}$ - эквивалентная температурная флуктуация i - го потока;
- 2) определить число M подсистем по виду диаграммы (соответствует числу наиболее существенных пиков на диаграмме);
- 3) определить число элементов, входящих в состав подсистем (определение границ подсистем), в соответствии с условием:

$$\sum_{j=1}^J n_{mj} = \sum_{i=1}^I n_i / M \quad (1)$$

где: n_{mj} - весовой коэффициент (вероятность эквивалентных температурных флуктуаций) j - го потока m - й подсистемы;

J - число преобразователей (элементов) в m – й подсистеме;

I - число преобразователей (элементов) в системе;

j - номер потока в m – й подсистеме;

i - номер потока в системе;

m - число подсистем;

- 4) проверить корректность декомпозиции по рассогласованию обобщенных флуктуаций энергий подсистем.

Расчет обобщенных флуктуаций осуществляется на основании зависимости:

$$\bar{U}_m = \sqrt{\sum_{j=1}^J \bar{C}_{V,m,j}^2 \cdot \Delta T_{э,m,j}^2 / J}, \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad (2)$$

где: \bar{U}_m - обобщенная флуктуация энергии m – й подсистемы;

$\bar{C}_{V,m,j}$ - средняя мольная теплоемкость ($V = \text{const}$) j – го потока элемента m – й подсистемы;

$\Delta T_{э,m,j}^2$ - средняя флуктуация эквивалентной температуры j – го преобразования m – й подсистемы.

Диаграмма средних (эквивалентных) энергетических уровней представлена на рисунке 2. Диаграмма имеет три явно выраженных максимума (без учета цеха по производству силикатного кирпича), следовательно число подсистем равно $M=3$ [2].

В соответствии с условием выделения подсистем первая подсистема включает 4 элемента: $\left(\sum_{j=1}^4 n_{1j}\right) = 3,45$, вторая подсистема - также 4 элемента: $\left(\sum_{j=5}^8 n_{2j}\right) = 3,46$ и третья подсистема - тоже 4 элемента: $\left(\sum_{j=9}^{12} n_{3j}\right) = 3,52$. Погрешность декомпозиции составляет: 0,7% - для первой подсистемы, 0,5% - для второй подсистемы и 1,2% - для третьей.

Задача анализа сложной ТТС ПП в дальнейшем решается независимо по подсистемам. Каждому цеху предприятия соответствует одна из выделенных подсистем, которая может быть рассмотрена обособленно, без учета влияния на работу других подсистем.

Теплотехнологические схемы цехов предприятия идентичны (отличия существуют лишь в производительности и пропускной способности отдельного оборудования) по той причине, что производство продукции в цехе товаров народного потребления и в фаянсовом цехе происходит по одной и той же технологии. Для того чтобы проанализировать и разработать новую энергосберегающую ТТС ПП для данных цехов достаточно рассмотреть любой представленный цех и применить разработанные мероприятия на остальных.

В данной статье будет рассматриваться фаянсовый цех. На рис. 3 ТТС ПП цеха фаянсовых изделий.

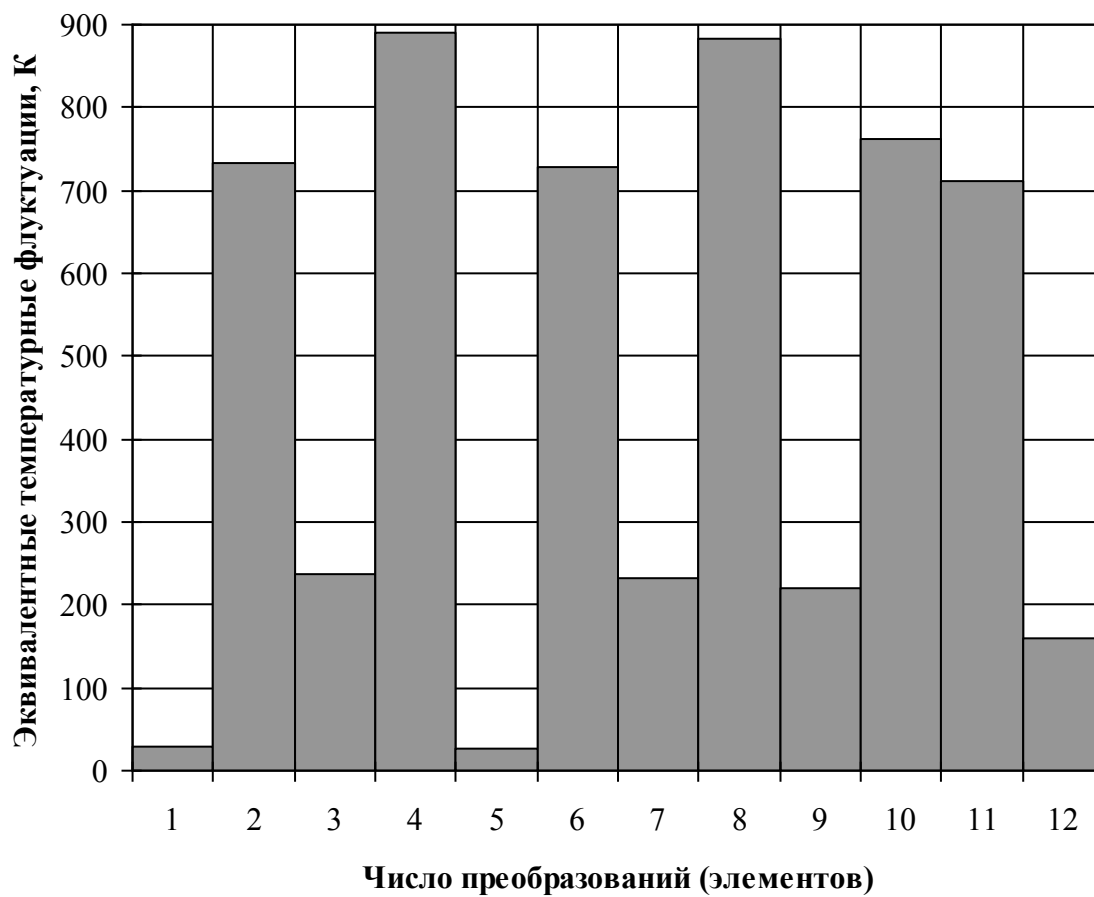


Рис. 2. Диаграмма средних энергетических уровней (разработано авторами)

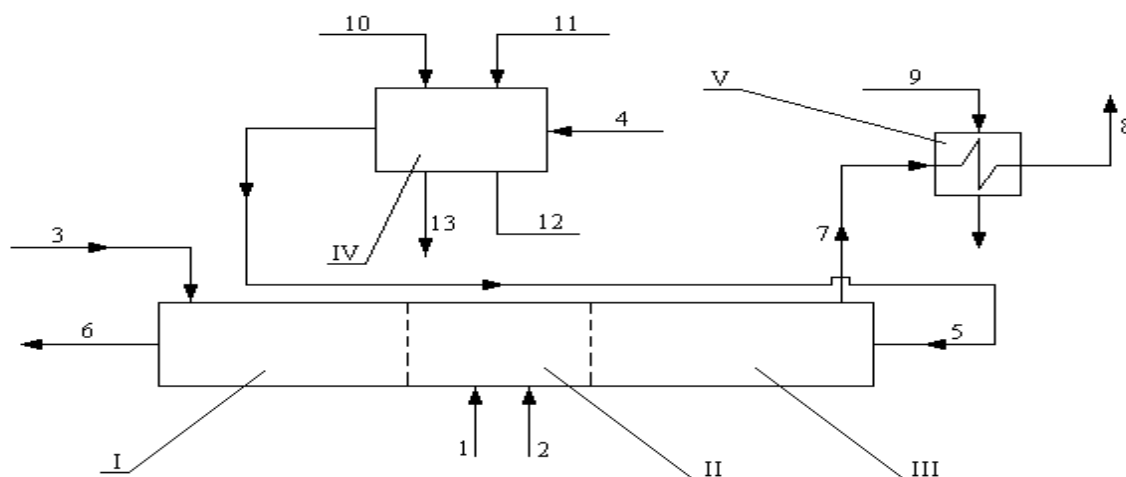


Рис. 3. Исходная теплотехнологическая схема цеха фаянсовых изделий предприятия стройиндустрии (разработано авторами)

Элементы схемы: I - зона охлаждения готовой продукции вторичным воздухом обжиговой печи; II - зона обжига; III - зона нагрева фаянсовых изделий уходящими газами (продуктами горения) обжиговой печи; IV - сушильная установка; V - газоздушный теплообменный аппарат.

Материальные потоки, представленные на рис. 3: 1 - природный газ; 2 - первичный воздух на горение газа; 3 - вторичный воздух; 4 - влажные фаянсовые изделия; 5 - сухие фаянсовые изделия; 6 - готовая продукция; 7 - уходящие газы (продукты горения); 8 - уходящие газы в атмосферу; 9 - холодный сушильный агент (воздух); 10 - подогретый сушильный агент (воздух); 11 - технологически пар в сушилку; 12 - конденсат к источнику пароснабжения; 13 - влажный воздух в атмосферу

Исходная ТТС ПП фаянсового цеха включает: систему сушки фаянсовых изделий перед обжигом и обжиг продукции. Составляющие системы сушки следующие: газоздушный теплообменный аппарат для предварительного подогрева воздуха уходящими газами и сушильная установка, в которой греющим теплоносителем является технологический пар. После сушильной установки конденсат отправляется обратно на производственную котельную. Обжиговая печь фаянсового цеха представляет собой печь непрерывного действия, шахтного типа, которая работает на природном газе.

В рассматриваемом цехе фаянсовых изделий авторами предлагается провести ряд мероприятий структурного изменения ТТС ПП, которые приведут к росту КПД данной ТТС ПП и сократят потребление энергоресурсов. Предполагаемые мероприятия приведены ниже.

Мероприятие 1: готовую продукцию на выходе из обжиговой печи дополнительно охладить вторичным воздухом. Такое мероприятие будет способствовать увеличению температуры вторичного воздуха, а следовательно, и газо-воздушной (топливной) смеси на входе в зону обжига печи и снижению расхода природного газа по сравнению с исходной схемой до 9%. Однако осуществление такого варианта действий, несмотря на достаточно высокую экономию первичного топлива, связано с определенными трудностями технического характера, которые возникнут из-за сложности обеспечения равномерного охлаждения готовой продукции. По этой причине данное мероприятие не может быть применено на конкретном предприятии.

Мероприятие 2: путем установки дополнительного газоздушного теплообменника утилизировать теплоту уходящих газов, которые из обжиговой печи выбрасываются в

атмосферу. Вторичный воздух является нагреваемым теплоносителем. Данное решение позволит снизить расход природного газа, по сравнению с первоначальной схемой, на 8,5%.

Мероприятие 3: в дополнение к мероприятию 2 утилизировать теплоту влажного воздуха на выходе из сушильной установки. Расход технологического пара на сушильную установку будет сокращен благодаря внутренней регенерации потока влажного воздуха.

Мероприятие 4: в дополнение к мероприятию 3 охладить потоки уходящего газа и влажного воздуха, выбрасываемых в атмосферу, с той целью, чтобы использовать утилизированное тепло на воздушное отопление фаянсового цеха. На сегодняшний день в цехе наряду с системой воздушного отопления применяется водяная система отопления. Произведенные расчеты подтверждают тот факт, что утилизированного тепла должно полностью хватить на отопительные нужды цеха, а это, в свою очередь, позволит значительно сократить расход природного газа в производственной котельной.

В таблице 2 представлены значения коэффициентов использования тепла для предложенных вариантов ТТС ПП.

Таблица 2
Результаты расчета показателей энергетической эффективности (разработано авторами)

Исходная схема	Мероприятие 1	Мероприятие 2	Мероприятие 3	Мероприятие 4
0,391	0,396	0,395	0,429	0,627

где $\eta_{ит}$ - коэффициент использования тепла.

Результаты экономического анализа рассматриваемых вариантов изменения ТТС ПП фаянсового цеха предприятия строительной индустрии сведены в таблицу 3.

Таблица 3
Результаты предварительного экономического расчета рассматриваемых схем цеха фаянсовых изделий (разработано авторами)

№ схемы	Капитальные затраты на реализацию проекта, тыс. руб.	Экономия энергетических ресурсов, тыс. руб./ месяц	Срок окупаемости, не более, месяцев
Мероприятие 1	112,2	3,57	30,4
Мероприятие 2	74,5	2,70	21,6
Мероприятие 3	156,7	11,90	13,2
Мероприятие 4	193,0	20,70	9,3

Данный анализ, как было отмечено ранее, а поэтому и все энергосберегающие мероприятия, предлагаемые авторами статьи, справедливы и для цеха товаров народного потребления.

Цех керамической плитки является следующим цехом, анализ которого позволит получить определенный энергосберегающий эффект на данном предприятии. На рисунке 4 представлена ТТС ПП данного цеха.

Исходная ТТС ПП цеха керамической плитки состоит из: системы сушки, обжига и охлаждения продукции. Обжиг и система сушки совмещены в обжиговой печи керамической плитки, которая по конструкции несколько отличается от обжиговой печи фаянсового цеха. Сушка осуществляется за счет горения природного газа. Перед поступлением изделий в зону обжига дополнительно достигается их прогрев до определенной температуры. Зона обжига и охлаждения материала вторичным воздухом в рассматриваемом цехе аналогична данным зонам обжиговой печи в цехе фаянсовых изделий.

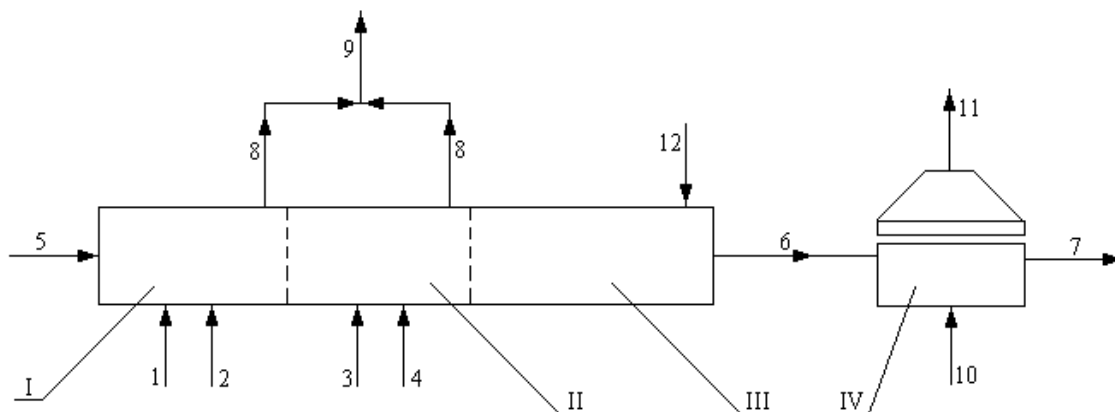


Рис. 4. Исходная теплотехнологическая схема цеха керамической плитки предприятия стройиндустрии (разработано авторами).

Элементы схемы: I - зона сушки влажной керамической плитки обжиговой печи; II - зона обжига; III - зона охлаждения керамической плитки вторичным воздухом обжиговой печи; IV - воздушный охладитель готовой продукции.

Материальные потоки, представленные на рис. 4: 1, 3 - природный газ; 2, 4 - первичный воздух на горение газа; 5 - влажные изделия (керамическая плитка); 6 - готовая продукция; 7 - охлажденная готовая продукция; 8 - уходящие газы; 9 - уходящие газы в атмосферу; 10 - охлаждающий воздух; 11 - охлаждающий воздух в атмосферу; 12 - вторичный воздух

Потоки уходящего газа из обжиговой печи и охлаждающего воздуха из охладителя готовой продукции в цехе керамической плитки являются основными вторичными энергопотоками, не используемыми в данной схеме. Тепловой потенциал потоков можно использовать:

- для подогрева первичного воздуха на входе в зону сушки обжиговой печи. Экономия природного газа при использовании теплоты охлаждающего воздуха составляет около 2%, а при использовании тепла уходящих газов - до 16%;
- для подогрева первичного воздуха на входе в зону обжига обжиговой печи. При использовании в качестве греющего теплоносителя воздуха экономия природного газа составит 5%, а уходящих газов - 33%;
- для подогрева вторичного воздуха перед подачей его в зону обжига. При этом если использовать теплоту охлаждающего воздуха расход топлива сокращается на 2,5%, а если использовать теплоту уходящих газов, то на 10%.

Помимо этого возможна комбинация разработанных вариантов. Выбор наиболее оптимального распределения потоков проводился с использованием алгоритма нахождения совершенных паросочетаний [1,2]. Весовыми коэффициентами в матрице смежности выступали коэффициенты использования тепла, оптимальным распределением (замыканием) вторичных энергопотоков являются найденные совершенные паросочетания.

Предложенная схема имеет наиболее высокий коэффициент использования тепла - 0,589 против 0,521 у исходной схемы. Экономия природного газа достигает 36%, срок окупаемости - не более 13 месяцев.

Следует добавить, что для полного анализа теплотехнологической системы предприятия строительной индустрии и определения влияния каждого из взаимосвязанных элементов необходимо рассмотреть взаимодействие между цехами, котельной и возможность

использования неостребованных вторичных энергетических ресурсов одного цеха другим [3,5,9,10].

Проведенный авторами статьи анализ теплотехнологической системы предприятия строительной индустрии позволяет сделать выводы о достаточно высоком энергосберегающем потенциале этой системы. Важно отметить, что повышение эффективности работы схемы достигается не за счет применения новейших технологий и современного энергосберегающего оборудования, а путем несложных структурных преобразований и минимального использования дополнительного теплообменного оборудования. Рост показателей энергетической эффективности и сокращение потребления первичных энергоносителей требует незначительных капиталовложений, а срок окупаемости, в среднем, не превышает двух лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатырев А.Ф., Панченко С.В., Галковский В.А. Экономия энергоресурсов теплотехнологической схемы с применением внутренней регенерации. // Тезисы доклада на II международной конференции «Энергетика, экология и экономика». Казань, 1998. С. 12-13.
2. Галковский В.А. Оптимизация энергосберегающих теплотехнологических систем: автореферат диссертации кандидата технических наук. Москва, МЭИ, 2002. 19 с.
3. Ключников А.Д. Энергетика теплотехнологии и вопросы энергосбережения. М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с.
4. Крылов А.Н., Попов С.К., Сергиевский Э.Д. Моделирование процессов в регенеративном подогревателе технологического материала // Промышленная энергетика. 2006. №5. С. 42-44.
5. Панченко С.В., Богатырев А.Ф., Аршиненко И.А. Компьютерный анализ тепловых схем энерготехнологических систем // Проблемы энергетики. Известия высших учебных заведений. 2003. №7-8. С. 3-13.
6. Панченко С.В., Галковский В.А. Термозкономический анализ сложной структуры // Сборник статей Общество «ЗНАНИЕ» России. Смоленск. 1998. С. 176-179.
7. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок. М.: Энергия, 1978. 416 с.
8. Проектирование и расчет аппаратов технологии горючих ископаемых / Н.Г. Дигуров, А.Г. Китайнер, А.Ю. Налетов, В.В. Скудин. Москва: Химия, 1993. 227 с.
9. Сазанов Б.В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1990. 304 с.
10. Таубман Е.И. Анализ и синтез теплотехнических систем. М.: Энергоатомиздат, 1983. 176 с.

Рецензент: Тихонов Владимир Викторович, к.т.н., ведущий специалист по направлению «Экология и промышленная теплоэнергетика» ООО «Наладчик».

Galkovskij Vadim Anatolievich

The Branch of National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
Russia, Smolensk
E-mail: Vadim-galkovskiy@mail.ru

Mihajlov Vladimir Aleksandrovich

The Branch of National Research University «Moscow Power Engineering Institute»
Russia, Smolensk
E-mail: kafedra-pt@mail.ru

Building construction industrial heat and power engineering systems efficiency assessment

Abstract. Creating energy-efficient technological system characteristic ways are given. One of the possible way is the several manufacturing processes integration in series-parallel or serial links, herewith inters, products or wastes of one technological process are the raw material for another production manufacture. The given approach is implemented on the example of faience production energy-advanced industrial thermal energy system. The whole system decomposition is held on the base of interacting subsystems. Herewith at the given number of elements included in the generation energy fluctuation misalignment subsystem is minimal, energy exchange between the elements denoting selected subsystem boundaries compared with entire subsystem energy is negligible. The average (equivalent) energy levels diagram is created; the subsystems M number is determined by diagram form; elements number included in the subsystems determination. Complex thermal energy analysis task is solved independently in subsystems. Optimal flow distribution choice is performed using the energy flow perfect matching finding algorithm.

Distribution and flows combination new scheme is proposed having a higher heat factor utilization – 0,521 basic source. Energy saving have reached 36%.

The scheme relatively high energy-saving potential is identified. Circuit operation efficiency improvement has been achieved by minimal simple structural transformations and the use of additional heat-exchanging equipment. The exhaust flows heat and internal regeneration is used in the basis of energy conservation problem solution.

Keywords: energy-saving technological systems; series-parallel links; serial links; industrial heat-and-power engineering systems; generalized fluctuation of energy; structural energy level; the utilization factor of heat; the heat of exhaust streams; internal regeneration.

REFERENCES

1. Bogatyrev A.F., Panchenko S.V., Galkovskiy V.A. Ekonomiya energoresursov teplotekhnologicheskoy skhemy s primeneniem vnutrenney regeneratsii. // Tezisy doklada na II mezhdunarodnoy konferentsii «Energetika, ekologiya i ekonomika». Kazan', 1998. S. 12-13.
2. Galkovskiy V.A. Optimizatsiya energosberegayushchikh teplotekhnologicheskikh sistem: avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk. Moskva, MEI, 2002. 19 s.
3. Klyuchnikov A.D. Energetika teplotekhnologii i voprosy energosberezheniya. M.: Energoatomizdat, 1986. 128 s.
4. Krylov A.N., Popov S.K., Sergievskiy E.D. Modelirovanie protsessov v regenerativnom podogrevatele tekhnologicheskogo materiala // Promyshlennaya energetika. 2006. №5. S. 42-44.
5. Panchenko S.V., Bogatyrev A.F., Arshinenko I.A. Komp'yuternyy analiz teplovykh skhem energotekhnologicheskikh sistem // Problemy energetiki. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. 2003. №7-8. S. 3-13.
6. Panchenko S.V., Galkovskiy V.A. Termoekonomicheskiy analiz slozhnoy struktury // Sbornik statey Obshchestvo «ZNANIE» Rossii. Smolensk. 1998. S. 176-179.
7. Popyrin L.S. Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya teploenergeticheskikh ustanovok. M.: Energiya, 1978. 416 s.
8. Proektirovanie i raschet apparatov tekhnologii goryuchikh iskopaemykh / N.G. Digurov, A.G. Kitayner, A.Yu. Naletov, V.V. Skudin. Moskva: Khimiya, 1993. 227 s.
9. Sazanov B.V. Teploenergeticheskie sistemy promyshlennykh predpriyatiy. M.: Energoatomizdat, 1990. 304 s.
10. Taubman E.I. Analiz i sintez teplotekhnicheskikh sistem. M.: Energoatomizdat, 1983. 176 s.