

СЕКЦИЯ 9

ТЕПЛООБМЕН В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ

Председатель – к.т.н., доцент В.Ю. ПРОНИН
Секретарь – студ. О.А. Карпова

М.А. Сергеев, студ.; рук. В.А. Горбунов, к.т.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЗДАНИЯ В ANSYS

Энергоресурсосбережение является одной из самых серьезных задач XXI века.

Требуемые для развития энергоресурсы можно получить не только за счет увеличения добычи сырья в труднодоступных районах и строительства новых энергообъектов, но уменьшением затрат за счёт энергосбережения.

Одним из актуальных направлений энергосбережения является разработка норм теплопотребления зданием. В настоящее время разработанные нормы [1] не учитывают размещение здания (ландшафтные особенности, присутствие соседних зданий и т.д.), особенности климата (реальную температуру окружающего воздуха, направление ветра, влияние солнечного излучения и т.д.), особенности изменения температуры в течение суток.

Целью исследования тепловых потерь здания в пакете ANSYS является получение технически обоснованных норм на тепловые потери через ограждающие конструкции.

Необходимо сделать математическую модель ограждающих конструкций здания.

Верифицировать модель по результатам моделирования на реальном объекте (общежитие ШГПУ).

Провести исследование тепловых потерь здания с учетом реальных условий или с учетом особенности климата в отопительный период.

Эта методика позволит получать технически обоснованные нормы тепловых потерь для любого здания.

Использование результатов математического моделирования даст возможность для каждого энергетического паспорта здания получить

технически обоснованные нормы расхода тепловой энергии на отопление.

Математическую модель можно будет использовать для разработки энергоэффективных мероприятий по энергосбережению.

Библиографический список

1. СНиП 23-02-2003. «Тепловая защита зданий».

*У. Д. Галанова, студ.; рук. О. Ю. Нагорная, асп.;
О. В. Самышина, инж.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПИРОЛИЗА ТБО НЕЙРОСЕТЕВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

Утилизация ТБО является актуальной проблемой нашего времени. С каждым годом количество отходов увеличивается, следовательно, необходимо вырабатывать решения и способы для переработки выбросов.

Целью работы является создание на основе нейросетевых технологий математической модели установки, имитирующей тепло-технологические процессы термической переработки твердых бытовых отходов. В качестве целевой функции принимается максимальный выход пиролизного газа на единицу массы ТБО.

Объектом исследования является термическая установка для утилизации отходов, состоящая из двух блоков (рис. 1): блок для исследования процессов связанных с движением газов через слой ТБО (№ 1); блок для исследования процессов пиролиза органической части ТБО (№ 2).

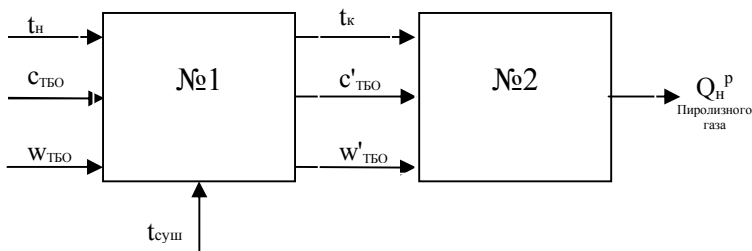


Рис. 1. Структура установки термической переработки ТБО

Математическая модель установки, имитирующей тепло-технологические процессы термической переработки твердых бытовых отходов, создавалась в программном комплексе NeuroSolution. Предварительно были собраны экспериментальные данные, которые характеризуют процесс получения пиролизного газа (табл. 1).

При создании математической модели использовалась модель многослойного персептрона с одним скрытым слоем и количеством эпох равным 1000.

Таблица 1. Экспериментальные данные

№ п/п	Входные параметры				Выходные параметры			
	Темпера-тура сушильного газа, °С	Плотность ТБО, кг/м ³	Темпера-тура ТБО, °С	Влажность ТБО, %	Кол-во СН ₄ , %	Кол-во СО, %	Кол-во СО ₂ , %	Кол-во Н ₂ , %
1	295	200	10	0	35	31,6	32,4	1
2	300	170	9,1	0	33,4	33	31,9	1,7
3	297	168	9,6	0	33,9	33	32,4	0,7
4	299	182	9	10	32,3	30,4	36,4	0,9
5	301	197	9,6	10	32,4	30,8	35,6	1,2
6	298	201	9,4	10	31,5	30,8	35,7	2
7	300	189	10	20	29,8	33,2	35,9	1,1
8	296	167	10	20	27,9	32,6	36,7	2,8
9	298	184	10	20	27,9	35	35,6	1,5

На основе статистических экспериментальных данных получена нейросетевая математическая модель. Погрешность вычислений составила не более 5%. Ее использование позволило получить зависимости компонентов газа (СН₄, СО, СО₂, Н₂) от влажности, плотности и температуры ТБО. Данные зависимости получены в диапазоне следующих варьируемых параметров (табл. 2).

Таблица 2. Диапазон варьируемых параметров, влияющих на состав пиролизного газа

Параметры	Единицы измерения	Диапазон варьирования
Влажность ТБО	%	0 - 20
Температура сушильного газа	°С	295-301
Плотность ТБО	кг/м ³	150-205
Количество СН ₄	%	27,6-35,1
Количество СО	%	28-35
Количество СО ₂	%	31,9-36,8
Количество Н ₂	%	0,1-2,8

Вывод. Математическая модель позволяет определить выход пиролизных газов и тепловой энергии при пиролизе высушенной органической части твердых бытовых отходов и режимные параметры процесса пиролиза в оптимальном режиме.

*М.А. Сергеев, студ.; рук. В.А. Горбунов, к.т.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕПЛОВИЗИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ ШУЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПЕДАГОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ТЕПЛОВИЗОРОМ Fluke Ti32

Тепловизионное обследование зданий является самым эффективным способом для определения тепловых потерь и тепловых мостов в ограждении строительных конструкций здания.

Целью исследования учебных корпусов и общежитий ШГПУ является определение эффективности работы ограждения зданий.

Тепловизионная съемка проводилась при отсутствии атмосферных осадков, тумана и задымленности. Обследуемые поверхности были очищены от грязи, плесени, наледи, снега и других налетов, несвойственных материалам исследуемых конструкций. Измеряемые объекты не подвергались воздействию солнечной радиации в течение предшествующих 12ч.

В зданиях функционировала система отопления.

Расстояние от объекта исследования до места установки тепловизора и размеры объекта, при которых не будет ухудшаться качество тепловизионной съемки, определяется при помощи калькулятора габаритов для тепловизора Fluke Ti32.

На рис. 1-4 представлены термограммы оградительных конструкций зданий ШГПУ.

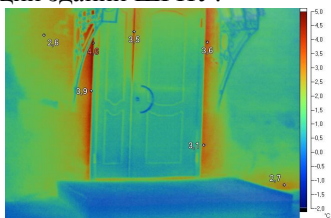


Рис.1 Термограмма входной группы дверей учебного корпуса №1



Рис.2 Термограмма фасада общежития №1

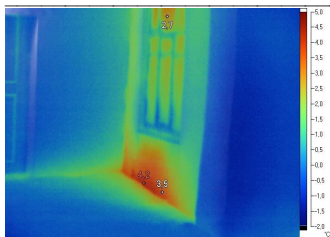


Рис.3. Термограмма фасада учебного корпуса №7

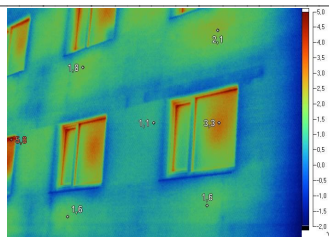


Рис.4. Термограмма оконных проемов общежития №3

Анализируя данные термограммы можно сделать следующие выводы:

- Температурное поле на глади наружных ограждений имеет низкую степень однородности для всего фасада обследуемых зданий;
- Термограммы поверхностей стен под оконными проемами, выявили повышенную температуру в месте установки обогревательных приборов;
- Термограммы поверхностей окон ПВХ не однородны по всему фасаду здания, что указывает на некачественную установку окон;
- Термограммы поверхностей дверей указывают на утечки тепла по периметру, требуется утепление входных дверных проемов;

Библиографический список

1. Программное обеспечение к тепловизору Fluke Ti32.
2. ГОСТ 26629-85. «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».

*К. А. Ускова, студ.; рук. В. А. Горбунов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕТЛЕВОГО РЕКУПЕРАТОРА ДЛЯ НАГРЕВА ВОЗДУХА В СРЕДЕ ANSYS

Применение петлевых рекуператоров в печах низкотемпературного обжига приводит к экономии топлива и повышения коэффициента полезного действия печи.

Перед исследователем с развитием новых программных средств появляются дополнительные возможности, например оптимизация конструкции элементов петлевого рекуператора. В настоящее время существует много новых программных комплексов для моделирования теплообменников: Femlab, ANSYS Fluent и т.д.

В работе для моделирования используется программный комплекс ANSYS Fluent, при этом необходимо построить твердотельную модель петлевого рекуператора в CAD пакете Solid Works. (рис. 1)

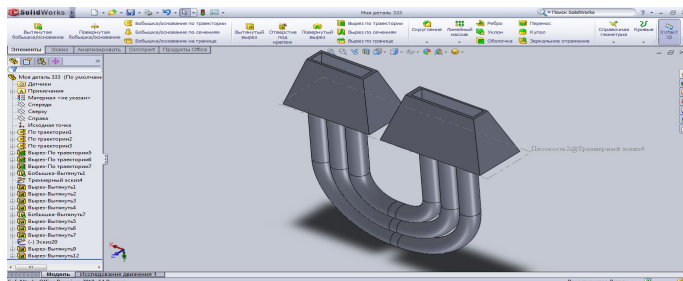


Рис. 1 Модель петлевого рекуператора в CAD пакете Solid Works

На основании проделанной работы можно сделать вывод, что современное программное средство позволяет более детально исследовать петлевой рекуператор на математической модели в среде ANSYS Fluent по сравнению с инженерной методикой расчета и оптимизировать его конструктивные параметры.

*А. Л. Котов, студ.; рук. О. Ю. Нагорная, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ДОМЕННОГО ГАЗА

В настоящее время для каждого предприятия задача обеспечения и рационального использования энергетических ресурсов является определяющей. Особенно остро «энергетический вопрос» стоит в черной и цветной металлургии, машиностроении, химической и добывающей промышленности. Снижение энергетических затрат путем использования энергосберегающих технологий – мощный резерв повышения конкурентоспособности продукции и увеличение экономического потенциала предприятия.

Одним из перспективных направлений развития энергетики является применение энергосберегающих технологий на базе газотурбинных установок.

Целью работы является оценка эффективности использования энергии доменного газа в газовом цехе при прохождении его от до-

менной печи через газоочистку и газовую утилизационную бескомпрессорную турбину (ГУБТ) до потребителя.

Возможны различные варианты схем установки ГУБТ. Основными схемами установки ГУБТ для использования избыточного давления доменного газа являются [1, 4]:

1. Установка ГУБТ с подогревом газа без регенерации тепла (схема № 1) основана на использовании двух видов энергии: кинетической энергии давления доменного газа для производства электроэнергии и химической энергии топлива для увеличения объёма энергоносителя перед турбиной за счёт повышения его температуры в смешивающем газоподогревателе. При такой схеме осуществляется частичная регенерация тепла химической энергии топлива для дополнительного производства электроэнергии. Доменный газ после тонкой газоочистки проходит смешивающий подогреватель и поступает в ГУБТ. Расширившись и совершив работу в турбине, газ направляется в заводскую магистраль чистого газа и далее к потребителям. К недостаткам этой схемы можно отнести ухудшение доменного газа. Частичное снижение теплотворной способности за счёт снижения горючих составляющих после подмешивания в газ продуктов сгорания после смешивающего газоподогревателя. Также повышенная влажность топлива, которая определяется температурой доменного газа после газоочистки. Дополнительное технологическое оборудование смешивающий газоподогреватель. При такой схеме появляется необходимость учёта двух топливных составляющих: количества газа проходящего через турбину и топлива затрачиваемого на горение в смешивающем газоподогревателе.

2. Установка ГУБТ без подогрева газа при мокрых газоочистках (схема № 2) основана на использовании кинетической энергии доменного газа для производства электроэнергии. При такой схеме дополнительная регенерация тепловой энергии отсутствует. Основным достоинством данной схемы является то, что она может быть осуществлена при применяемых в настоящее время и хорошо освоенных «мокрых» газоочистках. Доменный газ после газоочистки с влажностью 100% и температурой более 40eC поступает в турбину, где расширяется с понижением температуры на 20-25eC. Во время расширения влага содержащаяся в доменном газе конденсируется и отводится из рабочей части турбины. Энергия, которая тратится на конденсацию доменного газа, весьма значительна, составляет около 60%. К достоинствам этой схемы можно отнести повышение качества доменного газа после турбин за счёт существенного снижения абсолютной влажности доменного газа. К недостаткам схемы относится отсутствие тепловой регене-

рации газа перед турбиной и выделение капельной влаги в проточной части турбины, что негативно сказывается на эрозии лопаток турбины.

3. Установка ГУБТ при сухих горячих газоочистках (схема № 3). Интерес к сухим газоочисткам объясняется тем, что при них отпадает необходимость в дорогом и сложном шламовом хозяйстве мокрых газоочисток. При сухих горячих газоочистках установки ГУБТ получаются достаточно простыми и экономичными. Все оборудование состоит из низкотемпературной ГУБТ, нет теплообменников или подогревателей перед турбиной, нет потребности в топливе и сжатом воздухе для горения. Так как отсутствуют теплообменники, не будет потерь давления.

Для оценки эффективности использования энергии доменного газа в газовом цехе по аналогии с энергетическими котлами вводится понятие выработки энергии брутто доменными печами с выпуском доменного газа и коэффициент полезного действия брутто, когда необходимо оценить эффективность утилизации энергии доменного газа для производства электрической энергии в процессе доставки его от доменных печей до потребителя.

Уравнение теплового баланса электростанции приведено в Изменении № 1 РД 34.08.552-95 [2] имеет вид:

$$Q_k^{ЭЭ} = Q_Э + Q_{отм} - Q_{отм}^{ПВК} - Q_{нагр}^{ЭЭ} + Q_{отм}^{НММ(ЭЭ)} + Q_M^{ЭЭ} + Q_K^{ЭЭ} + Q_{мл},$$

где $Q_k^{ЭЭ}$ - выработку тепла брутто энергетическими котлами; $Q_Э$ - расход тепла на производство электроэнергии; $Q_{отм}$ - суммарный отпуск тепла внешним потребителям; $Q_{отм}^{ПВК}$ - отпуск тепла ПВК, отнесенный к данной группе, подгруппе оборудования, данному энергоблоку; $Q_{нагр}^{ЭЭ}$ - количество тепла, полученное водой за счет нагрева ее в сетевых и перекачивающих насосах; $Q_{отм}^{НММ(ЭЭ)}$ - технологические потери, связанные с отпуском тепла от энергетических котлов; $Q_M^{ЭЭ}$ - расход тепла на собственные нужды турбоагрегатов; $Q_K^{ЭЭ}$ - расход тепла на собственные нужды котлов; $Q_{мл}$ - потери теплового потока.

Уравнение теплового баланса для трех схем можно записать в следующем виде:

а) схема №1:

$$\begin{aligned} Q_{ЭЭ} &= Q_k^{н\delta} + Q_{Ф}^{н\delta} + Q_{сгн} + Q_{Ф}^{\delta} = \\ &= Q_Э + Q_k^{г\delta} + Q_{сгн} + Q_{Ф}^{г\delta} + Q_{Ф}^{\delta} + Q_{н\delta\delta} + Q_{мл} + Q_{сгз}, \end{aligned}$$

где $Q_{ЭЭ}$ - выработка энергии брутто доменными печами с выпуском доменного газа; $Q_k^{н\delta}$ - кинетическая энергия поступающая с газом в ГТРС; $Q_{Ф}^{н\delta}$ - физическое тепло газа поступающего в ГТРС; $Q_{сгн}$ - химическая энергия поступающая при сгорании доменного газа в СГП;

$Q_{\text{д}}^{\text{ф}}$ - физическое тепло дутья поступающего в СГП; $Q_{\text{э}}$ - расход энергии затраченный на получение электрической энергии (определяется по замерам на электросчётчике, полученной электроэнергии); $Q_{\text{к}}^{\text{ф}}$ - кинетическая энергия доменного газа на выходе с ГТРС; $Q_{\text{дг}}^{\text{ф}}$ - физическое тепло доменного газа на выходе с ГТРС; $Q_{\text{в}}^{\text{ф}}$ - потери с физическим теплом охлаждающей воды; $Q_{\text{п дг}}$ - потери энергии с изменением энтальпии паров, содержащихся в доменном газе; $Q_{\text{мн}}$ - потери в окружающую среду; $Q_{\text{аз}}$ - потери с физическим теплом азота, поступающим на уплотнения турбин.

б) схема №2:

$$Q_{\text{эф}} = Q_{\text{к}}^{\text{т}} + Q_{\text{д}}^{\text{т}} = Q_{\text{э}} + Q_{\text{к}}^{\text{ф}} + Q_{\text{дг}}^{\text{ф}} + Q_{\text{в}}^{\text{ф}} + Q_{\text{п дг}} + Q_{\text{мн}} + Q_{\text{аз}} ;$$

в) схема №3:

$$Q_{\text{эф}} = Q_{\text{к}}^{\text{т}} + Q_{\text{д}}^{\text{т}} = Q_{\text{э}} + Q_{\text{к}}^{\text{ф}} + Q_{\text{дг}}^{\text{ф}} + Q_{\text{мн}} + Q_{\text{аз}} .$$

Коэффициент полезного действия брутто равен отношению электрической энергии полученной на клеммах генератора газовой утилизационной бескомпрессорной турбины к сумме потерь энергий (потенциальной, внутренней и химической) при прохождении доменного газа от доменной печи через газоочистку и турбину к потребителю [3].

Вывод: В зависимости от величины коэффициента полезного действия брутто, рассматриваемые схемы расположились в следующем порядке: схема № 3, схема № 2 и схема № 1.

Библиографический список

- 1.Нагорная О.Ю., Горбунов В.А., Горинов О.И. Анализ схем изменения характеристик доменного газа до заданных параметров / Состояние и перспективы развития электротехнологии. XVI Бенардосовские чтения: Сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – Иваново: ГОУ ВПО «ИГЭУ имени В.И. Ленина», 2011. Т.2. – С. 207-210
- 2.Методические указания по составлению отчета электростанций и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования: РД 34.08.552-95. - М.: СПО ОРГРЭС 1995.
- 3.Горбунов В.А., Нагорная О.Ю. Определение эффективности утилизации доменного газа // Промышленная теплоэнергетика. – 2011. - №10. С. 47-51
- 4.Сазанов Б.В. Доменные газотурбинные установки. М.: Металлургия, 1965.

*Е.А. Лебедева, студ.; рук. О.Ю. Нагорная, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НАГРЕВА ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ I-III РОДА

Исследования проводились в многоцелевом вычислительном пакете FlowVision. Программный комплекс FlowVision позволяет моделировать трехмерные течения жидкости и газа в технических и природных объектах, решать задачи тепломассообмена, а также визуализировать эти процессы методами компьютерной графики.

Целью работы является моделирование задач нагрева металла в пакете FlowVision при граничных условиях первого, второго и третьего рода. В проведенных расчетах использовались одномерные, двумерные и трехмерные модели.

Процесс расчета включает в себя следующие шаги, выполняемые пользователем:

1. Создание геометрической модели расчетного объекта в САД-системе (пластина, цилиндр) и импортирование ее через формат VRML (Virtual Reality Modeling Language). Область расчета создается вне программного комплекса, поскольку FlowVision не имеет собственного геометрического процессора.

2. Задание математической модели. В данном случае выбираем математическую модель твердого тела. Она включает в себя уравнение энергии.

3. Задание граничных условий.

Г.У. 1 рода: $T(R, \phi) = f(\phi)$.

Г.У. 2 рода: $q(R, \phi) = f(\phi)$.

Г.У. 3 рода: $q(R, \phi) = \bar{b}(T_r - T(R, \phi))$.

4. Задание начальной расчетной сетки. В данном программном комплексе используется прямоугольная расчетная сетка. В одномерных задачах расчетная сетка задается только по Y-направлению. В двумерных задачах расчетная сетка задается по Y-направлению и Z-направлению. В трехмерных задачах расчетная сетка задается по всем направлениям.

5. Задание параметров метода численного моделирования. К ним относятся установление конечного времени нагрева (1000 сек) и фиксированный шаг по времени (20 сек).

6. Просмотр результатов расчета в графической форме либо в виде визуализации.

В результате работы были смоделированы задачи нестационарного режима нагрева при граничных условиях первого, второго и третьего

рода с постоянными и переменными теплофизическими свойствами и были получены зависимости распределения температур по толщине заготовки. Результаты решения задач представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчетов нагрева металла в программном комплексе FlowVision

	Г.У. 1 рода		Г.У. 2 рода		Г.У. 3 рода	
	Температура металла, К		Температура металла, К		Температура металла, К	
	Тепловой центр	Поверхность	Тепловой центр	Поверхность	Тепловой центр	Поверхность
1D модель (постоянные теплофизические свойства)	1086	1263	509	689	594	782
1D модель (переменные теплофизические свойства)	938	1255	511	690	574	781
2D модель (постоянные теплофизические свойства)	754	1262	389	1009	495	965
2D модель (переменные теплофизические свойства)	624	1232	447	1065	448	1016
3D модель (постоянные теплофизические свойства)	457	1207	310	1320	328	1075
3D модель (переменные теплофизические свойства)	462	1184	329	1421	349	1092

Полученные результаты решения задач в программном комплексе FlowVision в сравнении со значениями в конечно-элементном пакете Femlab [2], имеют расхождения, составляющие в среднем 4,6%.

Библиографический список

1. **FlowVision 2.5.** Система моделирования движения жидкости и газа.
2. **Горбунов В.А.** Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете Femlab: Учеб. пособие / ГОУВПО Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. – Иваново, 2008. - 216с.

А.В. Туманова, М.В. Лопатина, М.С. Цветкова, студенты;

*рук. Е.Н. Гнездов, к.т.н., доц.; А.Н. Русов, ст. преп.
(ИГЭУ г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА РАСХОДА ГОРЯЧЕГО ВОЗДУХА ДЛЯ СУШКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MASTER SCADA И CODESYS

Расход, температура и влажность теплоносителя – основные параметры работы туннельной сушилки керамических изделий как тепло-технологического агрегата. Для сушилки ООО «НЗКМ 2007» с рециркуляцией сушильного агента и чередованием двух режимов движения теплоносителя насчитывается около 40 точек измерения этих параметров. Отклонение любого параметра приводит к изменению режима сушки. В настоящее время для таких сложных теплотехнологических установок не разработано систем контроля и регулирования параметров, хотя необходимость этого очевидна.

Нами поставлена общая задача тотального контроля параметров сушки. На первом этапе было необходимо получить информацию о величине и характере изменения параметров в указанных точках и особенностях их измерения в производственных условиях.

Выяснились три основные особенности методики измерения этих параметров. Во-первых, количество измеряемых параметров требовало компьютеризации процесса измерения. Во-вторых, сложное переплетение трубопроводов создавало затруднения в выборе представительных точек измерения параметров по сечению трубопроводов. В-третьих, необходимо было учесть перспективу перехода от измерения параметров к их регулированию по ступенчатому или непрерывному графику.

Задачей настоящей работы является разработка системы автоматизированного мониторинга расхода горячего воздуха для сушки керамических изделий с применением программного обеспечения Master Scada и CoDeSys по показаниям интегрирующей трубки Пито, преобразователя «Элемер-100» и программируемого логического контроллера «ПЛК150». (см. схему на рис. 1.)

Конструктивно интегрирующая трубка Пито (ИТП) разделена на 2 части. Одна часть представляет собой трубку $\phi 3/4"$ с неравномерно размещенными по образующей отверстиями для воспринимания полного давления (динамического и статического). Другая часть устрой-

ства находится снаружи трубопровода. Она представляет собой коллектор из трубы $\Phi 3/4$ " с пятью штуцерами, воспринимающими статическое давление движущейся среды. Показания с «Элемера – 100», расположенного вблизи трубопровода по кабелю передаются на модуль ввода «МВ 110», который преобразует измеряемый аналоговый сигнал в цифровой код и передает результат измерения на «ПЛК 150».

Полученные результаты первичных испытаний системы, которые позволили дать рекомендации по ее дальнейшему развитию.

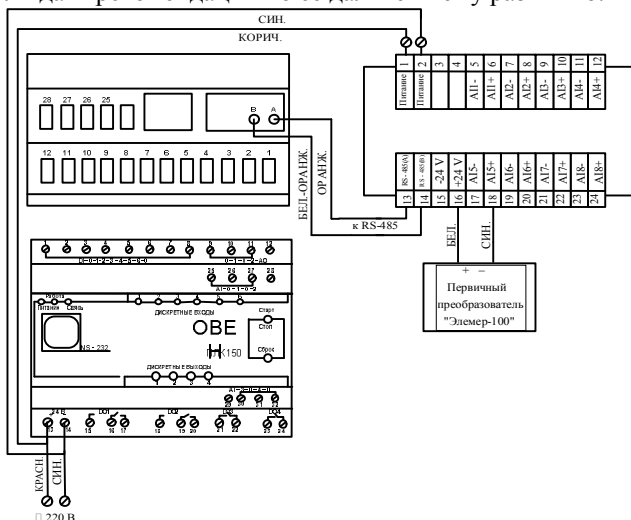


Рис. 1. Схема подключения ПЛК-150

*В.Н. Смирнов, А.В. Туманова, А.С. Никитин, студенты;
рук. Е.Н. Гнездов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА ЗАО «НОРСКИЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ ЗАВОД» С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ПРИБОРОВ

Для определения теплотерь в окружающую среду через кладку печи ее поверхность разбивали на 14 участков (рис. 1). Измеренные инфракрасным пирометром излучения С-300 температуры на поверхностях проставлялись на схемах поверхностей печи, где также указаны

номера позиций. Данные значения температур усреднялись для каждого расчетного участка печи.

Потери тепла по участкам в кВт определялись по формуле:

$$Q_{\text{пот } i} = \alpha_i \cdot F_i \cdot (t_{\text{ср } i} - t_{\text{окр } i}),$$

где α_i – коэффициент конвективной теплоотдачи от i -го участка наружной поверхности печи в окружающую среду с учетом лучистой составляющей, Вт/(м²·°С).

На всех позициях с помощью тепловизора были проведены замеры температур с выявлением наиболее горячих областей. С помощью этих значений температур и других параметров (размеры участков, температуры окружающей среды) мы находили потери тепла от поверхностей печи в окружающую среду. Наиболее горячие элементы на поверхности печи фиксировались на фотографиях и тепловизионных снимках.

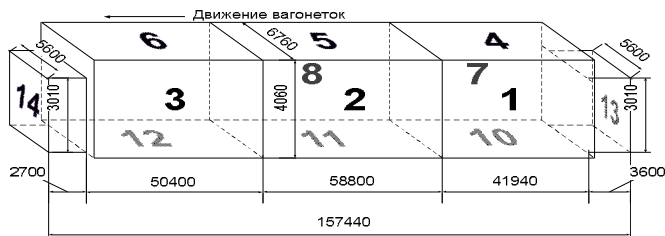


Рис. 1. Схема деления наружной поверхности печи на участки: 1,2,3 – боковые левые; 7,8,9 – боковые правые;4,5,6 – сводовые, 10,11,12 – подовые; 13,14 – торцевые

Таблица.1. Потери тепла наружными поверхностями печи

№ участков	$F, \text{ м}^2$	$t_{\text{ср}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_{\text{окр.ср.}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta t = t_{\text{ср}} - t_{\text{окр.ср.}}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\alpha, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$	$q, \text{ Вт/м}^2$	$Q, \text{ кВт}$
1 лев	170,28	35,60	23,87	11,73	10,507		20,99
2 лев	238,73	41,93	31,87	10,06	10,739		25,79
3 лев	204,62	31,90	24,83	7,06	9,857		14,26
4 свод	283,51	55,46	32,00	23,46	13,792		91,73
5 свод	397,49	61,44	34,00	27,44	14,335		156,35
6 свод	340,70	63,44	32,60	30,84	14,581		153,20
7 прав	170,28	34,78	23,33	11,45	10,440		20,35
8 прав	238,73	48,20	25,75	22,63	11,785		63,13

Секция 9. Теплообмен в промышленных установках

9 прав	204,62	40,20	19,10	21,10	11,268		48,65
10 под	283,51	71,95	58,66	13,29	7,950*		29,95
11 под	397,49	121,20	56,23	64,97	9,790*		252,83
12 под	340,70	139,88	54,69	85,19	10,56*		306,50
13 верт. стенки	сумма: 27,69	25,37	20,50	4,87	стенки: 9,181 торец: 9,181		сумма: 1,24
13 свод	20,16	27,60	20,50	7,10	10,766		1,54
14 верт. стенки	сумма: 24,98	25,87	22,00	3,87	стенки: 9,019 торец: 9,019		сумма: 0,87
14 свод	15,12	30,10	22,00	8,1	11,056		1,35
Итого	3358,6						1188,63

* - только лучистая составляющая

Из таблицы видно, что наибольшие потери тепла происходят на своде печи (участки 5 и 6) и через под печи, который охлаждается воздухом (участки 11 и 12).

Библиографический список

1. **Левченко П.В.** Расчет печей и сушил силикатной промышленности. М.: Высшая школа, 1968.

***А.В. Туманова, О.И. Щёголева, А.В. Андреев, студенты;
рук. Е.Н. Гнездов, к.т.н., доц.; Е.В. Захарова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)***

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТЕЙ
ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ
ДЛЯ ОБЖИГА КИРПИЧА**

Выполнены работы по обследованию туннельной печи линии «В» ЗАО «Норский керамический завод» (г. Ярославль). В настоящее время основным изделием является лицевой керамический кирпич с размерами 250 * 120 * 88 мм и пустотностью до 40%.

Рабочее пространство печи представляет собой туннель длиной 157,3 м. и разделено по длине на 3 технологические зоны: нагрева, обжига и охлаждения. Внутри печи по рельсовым путям проталкивается

вагонетки с установленными на каждой из них пакетами керамических изделий. Двойной свод имеет воздухоохлаждаемое пространство в районе расположения газовых горелок.

Целью теплотехнологического обследования печи было составление теплового баланса туннельной печи линии «В» с подробным изучением работы отдельных элементов.

Предварительное обследование выявило отклонения в конструкции некоторых элементов от проекта. В частности, изменена система охлаждения металлоконструкций вагонеток (подвод охлаждающего воздуха перенесен в противоположный конец подвагонеточного пространства). Это привело к изменению аэродинамического режима работы печи. Боковые отверстия подвода воздуха в межсводное пространство были частично перекрыты, а это повлекло за собой снижение эффективности охлаждения свода и уменьшение температуры воздуха, идущего на горение топлива.

При измерении параметров работы печи использовались современные приборы с внутренней памятью и выходом на ПК, в том числе газоанализатор ДАГ-500, многоканальный регистратор «Терем-4», автономный миниатюрный регистратор температуры ТЛ-01, инфракрасный пирометр излучения С-300.

На рисунке дана схема Санкея теплового баланса печи линии «В», где, для сравнения, в скобках приведены числа по печи линии «С».

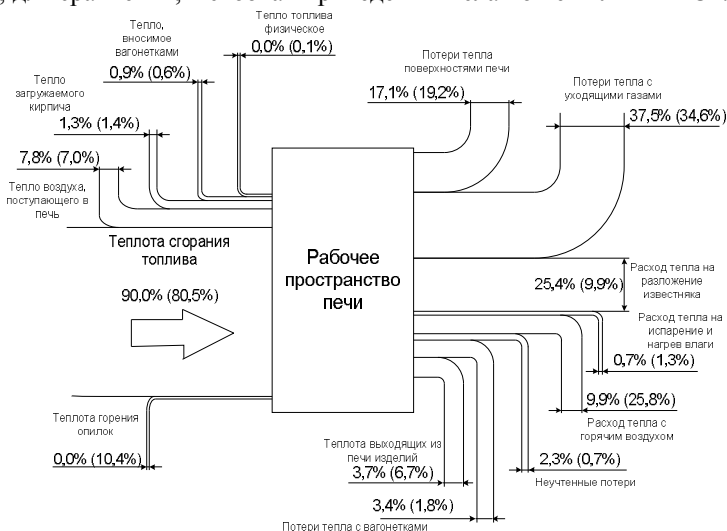


Рис. 1. Схема Санкея теплового баланса печи линии «В» («С»)

Результаты теплотехнологического обследования печи показали, например, что удельный расход условного топлива на обжиг керамических изделий составляет величину порядка 230 кг у. т. на 1000 шт. кирпича.

Из рисунка видно, что в приходной части 90,0% (80,5 %) тепла получается при горении топлива, а в расходной части наибольшими статьями являются: потери тепла с уходящими газами – 37,5% (34,6 %), расход тепла на разложение известняка – 25,4% (9,9 %) и потери тепла наружными поверхностями печи – 17,1% (19,2 %).

Особенностью режима работы печи линии «В» являются большие затраты тепла на разложение известняка, содержание которого в данной марке кирпича «слоновая кость» достигает 20%.

*С.В. Шведов, М.Г. Сулейманов, А.С. Никитин, студенты;
рук. Е.Н. Гнездов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ САДКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБЖИГА

Температуру кирпичей в пакетах на движущейся вагонетке должна изменяться по определенному режиму в процессе обжига. Реальная температура керамических изделий отличается от заданной по технологии. Это зависит от многих факторов, в частности, от места положения кирпича внутри пакета. Определить разницу в характере изменения температуры различных кирпичей в садке можно только экспериментально. Однако, это трудная задача потому, что обжиг происходит при температуре выше 1000⁰С и изделия на вагонетках движутся вдоль печи. Существуют автономные системы экспериментального определения температур внутри садки кирпичей, но они очень дорогие (порядка нескольких сотен тысяч рублей).

Предложена методика измерения температур внутри садки керамических изделий с применением отечественных малогабаритных регистраторов типа «Терем-4» и специальных холодильных устройств. Такая система состоит из группы термодатчиков (8416) штук, которые из различных мест садки керамических изделий через отверстие в вагонетке выводятся в подвагонеточное пространство в специальный холодильник (см. рис.), прикрепленный к нижней конструкции вагонетки. В

холодильнике находятся холодильный агент, клеммник и адаптер для передачи показаний термопар на автономный регистратор «Терем-4», находящийся в другом расположенном рядом холодильнике.

Первичные испытания холодильника показали принципиальную возможность стабилизации температуры внутри не выше 75°C , что допустимо для адаптеров. Характер изменения температуры внутри холодильников разной конструкции с различной теплоизоляцией отслеживался с помощью автономных регистраторов температуры типа «ГЛ-01».

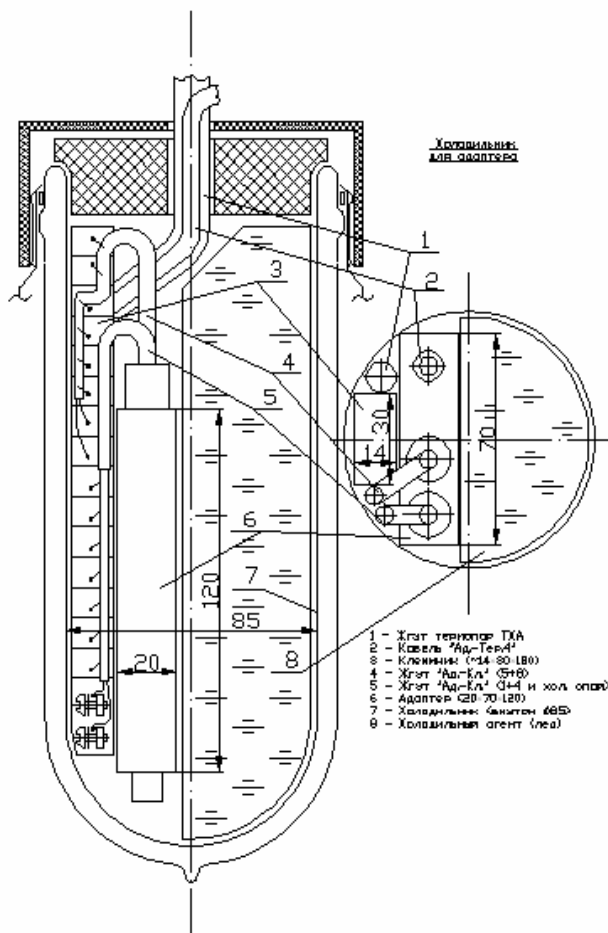


Рис. 1. Расположение адаптера в холодильнике

*Е. В. Ромашова, студ.; рук. Н. П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ВЫКАТНЫМ ПОДОМ

Термические печи с выкатным подом широко применяются в машиностроении и в металлургии и предназначены для термообработки металла (отжиг, нормализация, отпуск). Режим работы печи периодический. Так как горелки обеспечивают хорошую турбулизацию продуктов горения в рабочем пространстве печи, принимаем что газовый объём изотермичный. Излучение газа, металла и кладки принято диффузно серым. Садка состоит из сравнительно мелких заготовок. По сравнению с размерами садки размеры заготовок намного меньше поэтому можно принять, что садка представляет собой пористое тело с эффективными теплофизическими свойствами $\lambda_{\text{эф}}$, $C_{\text{эф}}$, $S_{\text{эф}}$.

Для металла .

Начальные условия:

$$T_0(x, y, z, 0) = 20^{\circ}\text{C}.$$

Граничные условия:

$$q(x, y, z, \phi) = C_{\text{г-м}}(T_{\text{г}}(\phi) - T^4(x, y, z, \phi)) + C_{\text{кл-м}}(T_{\text{г}}(\phi) - T^4(x, y, z, \phi)) + \\ + \bar{\alpha}(T_{\text{г}}(\phi) - T(x, y, z, \phi)); \quad x \in (x_2, x_3), \quad y \in (y_2, y_3), \quad z \in (z_2, z_3).$$

Дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$C(T) \partial/\partial x (\lambda(T)) \partial T/\partial x + \partial/\partial y (\lambda(T)) \partial T/\partial y + \partial/\partial z (\lambda(T)) \partial T/\partial z.$$

Для кладки.

Начальные условия:

$$T(x_{\text{к}}, y_{\text{к}}, z_{\text{к}}, 0) = T(x_{\text{к}}, y_{\text{к}}, z_{\text{к}}).$$

Граничные условия:

$$q(x_{\text{к}}, y_{\text{к}}, z_{\text{к}}, \phi) = C_{\text{г-м}}(T_{\text{г}}(\phi) - T^4(x_{\text{к}}, y_{\text{к}}, z_{\text{к}}, \phi)) + C_{\text{кл-м}}(T_{\text{г}}(\phi) - \\ - T^4(x_{\text{к}}, y_{\text{к}}, z_{\text{к}}, \phi)) + \bar{\alpha}(T_{\text{г}}(\phi) - T(x_{\text{к}}, y_{\text{к}}, z_{\text{к}}, \phi));$$

$$x \in ((0, x_1), (x_4, x_5)), \quad y \in ((0, y_1), (y_4, y_5)), \quad z \in (0, (z_2, z_3)).$$

Дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$C(T) \partial/\partial x (\lambda(T)) \partial T/\partial x + \partial/\partial y (\lambda(T)) \partial T/\partial y + \partial/\partial z (\lambda(T)) \partial T/\partial z.$$

Для решения этой задачи была построена геометрическая модель печи в пакете Solid Works, который позволяет выполнить построение в

трёхмерном виде. Далее геометрическая модель транспортируется в многофункциональный пакет ANSYS, в котором формируется расчётная сетка, а также задаются начальные и граничные условия по теплообмену для кладки, металла и газа и выполняется расчёт температурных полей металла и кладки печи.

*Е.В. Лаврентьева, студ.; рук. В. А. Горбунов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛЬ ЩЕЛЕВОГО РАДИАЦИОННОГО РЕКУПЕРАТОРА В ПАКЕТЕ ANSYS

В настоящее время энергосбережение является стратегической задачей государственного масштаба. За счет недостаточного использования тепла, вырабатываемого в теплотехнологических установках на предприятиях существуют значительные энергетические потери. Кроме этого тепло газа в производстве часто используется неэффективно.

На сегодняшний день существующие конструкции щелевых радиационных рекуператоров имеют значительные недостатки. Например, сложность или невозможность ремонта, неудовлетворительные массогабаритные показатели, склонность к зашлаковыванию, высокая стоимость и большой срок окупаемости.

Задачей является моделирование конструктивных решений щелевого радиационного рекуператора в пакете ANSYS Fluent. Для этого модель рекуператора строится в Solid Works(рис.) и переносится в ANSYS Fluent для непосредственного исследования.

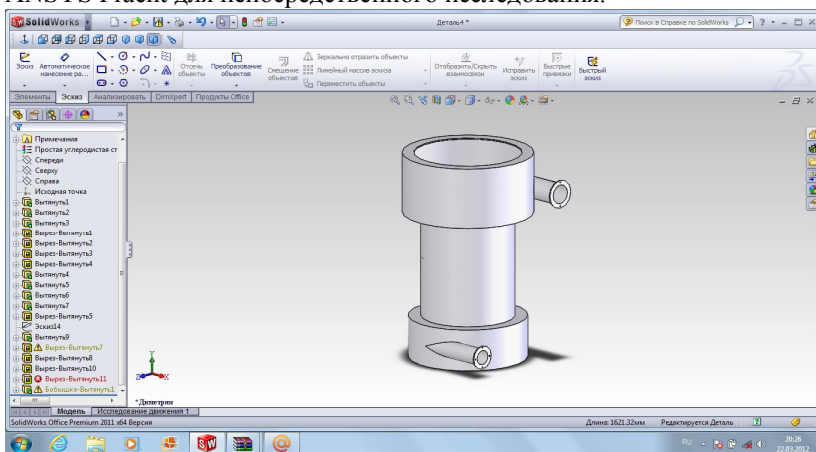


Рис. 1. Модель щелевого радиационного рекуператора в CAD пакете Solid Works

При моделировании в ANSYS варьированными параметрами являются размеры проходного отверстия для воздуха и высота рекуператора. Целевой функцией является получение максимального теплового потока, передаваемого от продуктов сгорания к воздуху.

*К.А. Долинин, студ.; рук. Д.А. Долинин, асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОСТИ ДОМЕННОГО ГАЗА В ПРОГРАММНОМ МОДУЛЕ ANSYS FLUENT

Газоочистки доменных печей служат для охлаждения и очистки доменного газа. Выходя из печи, доменный газ имеет температуру 200-400°C и запыленность 4-10 г/м³ при работе печи в режиме повышенного давления на колошнике. Очистка доменного газа от пыли производится последовательно в трёх ступенях:

–грубая очистка газа до концентрации пыли от 2 до 5 г/м³ в сухих радиальных пылеуловителях;

–полутонкая очистка газа до концентрации пыли от 30 до 50 мг/м³ в скрубберах;

–тонкая очистка газа до концентрации пыли от 2 до 4 мг/м³ в трубах Вентури и дроссельных группах.

С целью оптимизации режимов работы газовой очистки требуется контролировать и регулировать остаточную запыленность и влажность газа для обеспечения минимального расхода орошающей воды при соблюдении требуемого качества очистки. Одним из способов замера является отбор известного объема газа из основного потока и осаждение из этой пробы пыли и влаги посредством сужающего устройства – сопла. Улавливание пыли при этом происходит за счет следующих факторов:

–при попадании в пылеуловитель скорость газа резко уменьшается, уменьшается его кинетическая энергия, и наиболее тяжёлые частицы пыли выпадают из газового потока;

–при попадании в пылеуловитель изменяется направление движения газа, частички пыли, имеющие большую плотность, чем газ, изменяют направление своего движения медленнее и по инерции оседают в нижнем конусе пылеуловителя.

Пробоотборное устройство для определения запыленности доменного газа было разработано и изготовлено на кафедре “Энергетика те-

плотехнологий и газоснабжение”. На ОАО “Северсталь” проводились эксперименты по определению оптимальных режимов работы газовой очистки на основе контроля остаточной запыленности доменного газа.

В программном модуле ANSYS FLUENT произведено моделирование движения газа в пылеуловителе с учетом находящихся в газе твердых частиц. Поток доменного газа имеет достаточно сложную трехмерную структуру, обусловленную турбулентностью, наличием твердых включений и капель жидкости. Модуль ANSYS FLUENT позволяет моделировать подобные течения с помощью модели дискретных фаз (Discrete Phase Model - DPM). Трехмерная геометрическая модель исследуемого объекта в масштабе 1:1 была подготовлена в пакете Solid Works (рис. 1) и экспортирована затем в среду ANSYS Workbench. В модуле DesignModeler была подготовлена геометрия области течения газа, а затем построена расчетная сетка в модуле Meshing. Дальнейшие расчеты производились в ANSYS FLUENT. На входе в пылеуловитель для газовой фазы задавались скорость и температура. Для твердой фазы (частицы пыли) задавались плотность, массовый расход, размеры частиц и коэффициент распределения. На выходе принималось нулевое давление.

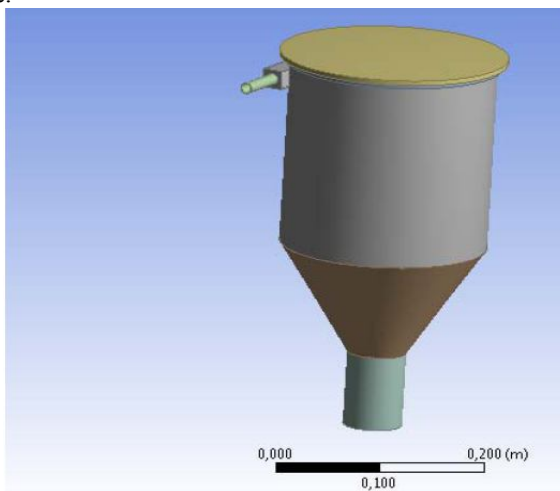


Рис. 1. Трехмерная модель пылеуловителя

После выполнения расчетов возможна оценка и построение графиков изменения плотности, давления и скорости газа в пылеуловителе. Кроме того, использование DPM позволяет отобразить траектории движения твердых частиц в зависимости от их размера и с учетом взаимодействия между ними.

Полученная модель предназначена для оценки эффективности работы пылеуловителя в зависимости от размеров твердых частиц. Она помогает быстро и наглядно смоделировать движение запыленного газового потока с учетом внесенных в геометрию пылеуловителя изменений. Таким образом, модель может применяться для оптимизации конструкции пылеуловителя.

*А.С. Макаров, студ.; рук. Н.П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВУХЗОННОЙ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Методическая толкательная печь предназначена для нагрева заготовок под обработку давлением. Методические печи относятся к печам непрерывного действия. Металл, двигаясь по поду печи, последовательно проходит зоны печи: методическую в которой осуществляется предварительный нагрев металла и сварочную, в которой осуществляется быстрый нагрев металла до заданной конечной температуры. Достоинствами методических нагревательных печей являются непрерывный характер работы и относительно стабильный, благодаря этому, тепловой режим.

Для теплового расчета нагрева заготовок в печи и получения визуального представления процесса нагрева можно использовать программный комплекс ANSYS Workbench. С помощью данной программы можно получить температурное поле металла с учетом параметров качества нагрева металла: температуры на поверхности в конце нагрева и допустимого перепада температур $\Delta T_k \leq \Delta T_d$.

Так как заготовки располагаются без зазоров между ними, то можно рассматривать нагрев параллелепипеда, образованного системой заготовок лежащих вплотную друг к другу на поду печи. Принимаем длину нагреваемого тела равной длине пода печи, а ширину равной длине заготовки.

Расчет нагрева заготовок выполняется при постоянных теплофизических свойствах. Начальная температура металла принимается равной температуре окружающей среды. Предусмотрено задание граничных условий I, II и III рода по теплообмену.

На рис.1 представлены результаты расчета нагрева металла при ГУ I рода. Рассматривался нагрев заготовки размером 0,13x0,13x9,1 м. С начальной температурой $T_0 = 293$ К и теплофизическими свойствами $\lambda = 39,47$ Вт/(м·К), $c = 596$ Дж/(кг·К), $\rho = 7800$ кг/м³ в течении времени

5050 с. Температура поверхности 1473 К. В результате расчетов температура в конце нагрева на поверхности равна 1473 К, в тепловом центре 1469 К.

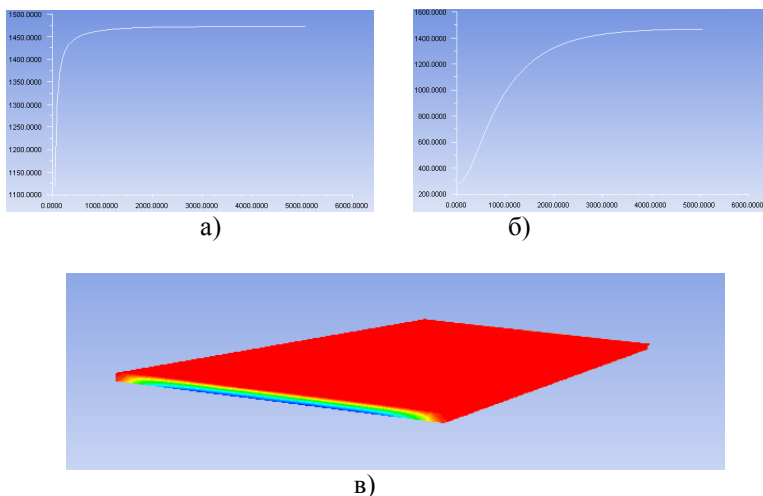


Рис. 1. Результаты расчетов нагрева при ГУ I рода. График изменения температуры на поверхности (а); график изменения температуры в тепловом центре (б); изображение распределения температурного поля (в)

При сравнении полученных результатов с точным аналитическим решением погрешность решения составила 3,7 %.

На рис.2 представлены результаты расчета нагрева металла при ГУ II рода. Рассматривался нагрев заготовки с теми же размерами и теплофизическими свойствами, при начальной температуре $T_0 = 293$ К при ГУ II рода в течении времени 5050 с. Постоянный тепловой поток 80 Вт/м^2 . В результате расчетов температура в конце нагрева на поверхности равна 1475 К, в тепловом центре 920 К.

Рассмотрим нагрев заготовок при граничных условиях III рода с постоянными теплофизическими коэффициентами.

На рис.3 представлены результаты расчета нагрева металла при ГУ III рода. Рассматривался нагрев заготовки с теми же размерами и теплофизическими свойствами, при начальной температуре $T_0 = 293$ К при ГУ III рода в течении времени 5050 с. Температура продуктов горения 1623 К. Коэффициент конвективной теплоотдачи $100 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$. В результате расчетов температура в конце нагрева на поверхности равна 1260 К, в тепловом центре 962 К.

Секция 9. Теплообмен в промышленных установках

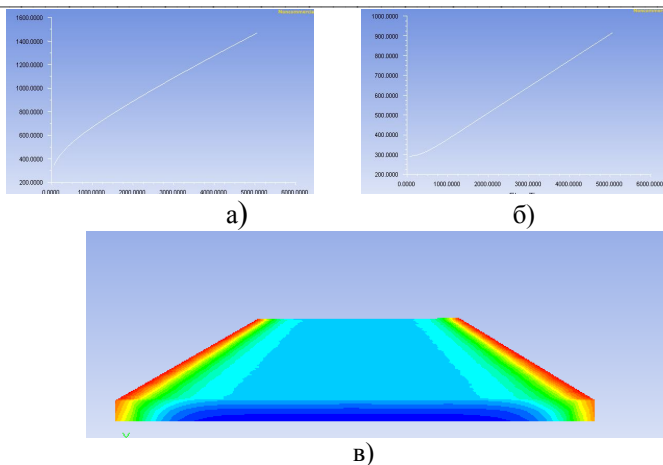


Рис. 2. Результаты расчетов нагрева при ГУ II рода. График изменения температуры на поверхности (а); график изменения температуры в тепловом центре (б); изображение распределения температурного поля (в)

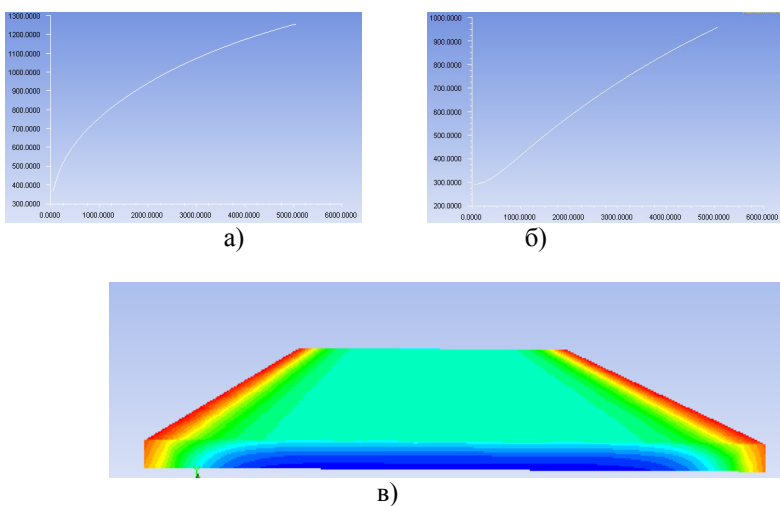


Рис. 3. Результаты расчетов нагрева при ГУ III рода. График изменения температуры на поверхности (а); график изменения температуры в тепловом центре (б); изображение распределения температурного поля (в).

Г.А. Перевезенцев, И.С. Несвежий, студенты;
Н.П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА В ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕ

Целью данной работы является исследование влияния конструктивных параметров на интенсивность теплообмена в воздухоподогревателе. Интенсификация теплообмена в рекуперативном воздухоподогревателе (ВЗП) достигается за счет оребрения внешней поверхности труб.

Процесс моделирования теплообмена в воздухоподогревателе выполняется в пакете ANSYS Workbench

Создание геометрии деталей воздухоподогревателя и их сборка осуществляется в программе Solid Works. Геометрическая модель построенная в Solid Works импортируется для расчетов в Ansys Workbench. (рис.1)

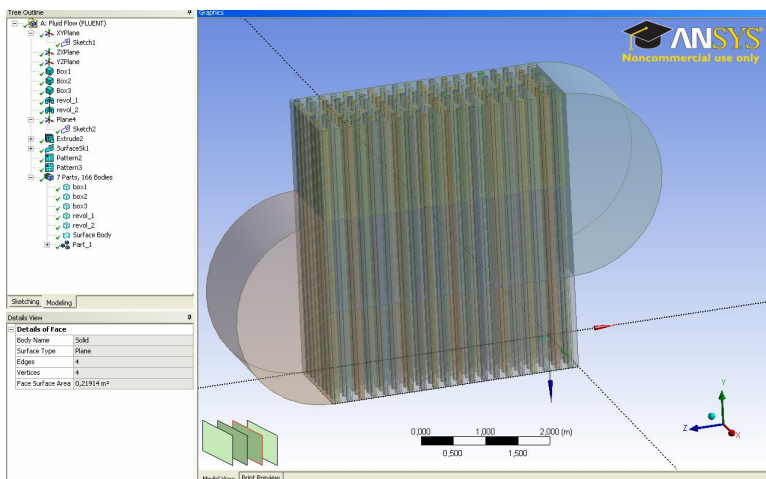


Рис 1. Геометрическая модель ВЗП в Ansys

После экспорта геометрии отдельно для каждого элемента задается расчетная сетка (рис 2).

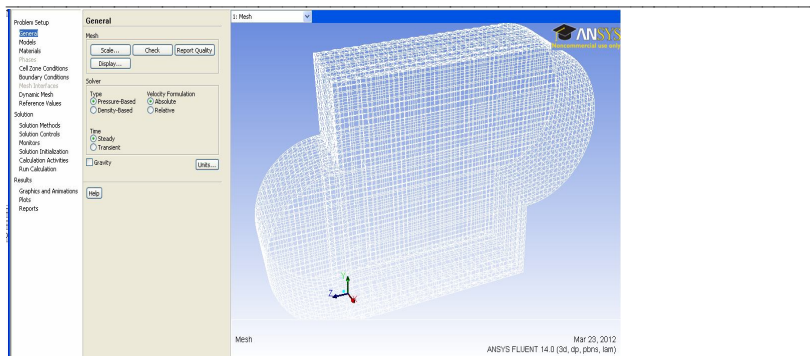


Рис 2. Построение расчетной сетки в Ansys

После задания сетки задаются условия по теплообмену и газодинамике. Расчет теплообмена и обработка результатов выполняется в пакете ANSYS Workbench.

В работе рассматривается две конструкции ВЗП: без оребрения и с оребрением поверхности теплообмена.

Отдельно для каждой модели получаем решение и температурные графики. После получения результатов производится сравнение температур и оценивается величина получаемого эффекта от использования оребрения.

*Ю.И. Щанникова, студ.; Н.П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ КОТЕЛЬНОЙ

Целью энергетического обследования является нахождение мест нерационального использования энергоресурсов (тепловой, электрической энергии, топлива) на промышленном предприятии, и проработка энергосберегающих проектов.

В ходе энергетического обследования проводится: знакомство с оборудованием, комплекс теплотехнических замеров с использованием стационарных и портативных контрольно-измерительных приборов. Эти замеры преследуют следующие цели:

- определение фактического режима отпуска теплоты на теплоснабжение;
- определение эффективности работы основного теплоэнергетического оборудования;

- анализ гидравлического режима системы теплоснабжения;
- определение фактического состояния теплогенерирующих агрегатов;
- определение фактической выработки тепловой энергии теплогенерирующими установками;
- определение реального расхода тепловой энергии.

Также проводится тепловизионное обследование состояния обмуровки котлов, состояния изоляции теплообменников, состояния двигателей насосных агрегатов и наружных ограждающих конструкций здания котельной. Тепловизионное обследование проводится при помощи тепловизора. Этот прибор показывает распределение температуры исследуемой поверхности.

Тепловизионное обследование рассмотрим на примере двух котельных.(рис.1,2).

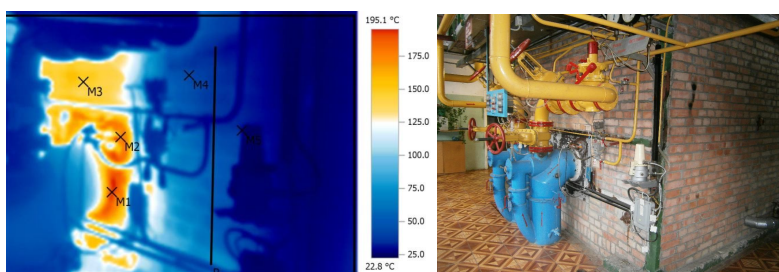


Рис. 1. Тепловизионное обследование состояния оборудования: котельная №1

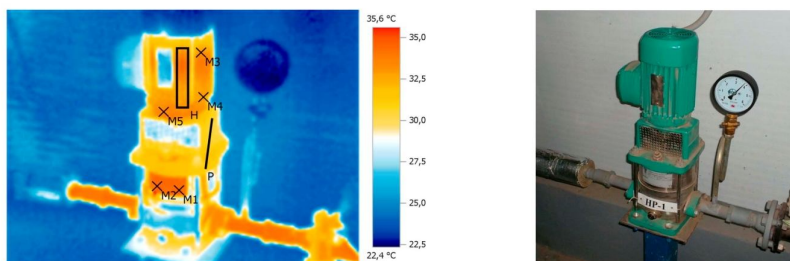


Рис. 2. Тепловизионное обследование состояния оборудования: котельная №2

По результатам тепловизионного обследования состояния обмуровки котельного агрегата можно сказать, что температура на поверхности котла превышает нормируемое значение 45 °С. В связи с отклонением температуры наружных поверхностей котла выше нормы, рекомендуется изменение теплоизоляционной конструкции с целью уменьшения

коэффициента теплопроводности и, соответственно, уменьшения тепловых потерь через наружные поверхности котельного агрегата.

По результатам тепловизионного обследования можно сделать следующие выводы:

- температура на поверхности котельного агрегата не превышает нормируемого значения 45°C ;
- температурное поле поверхностей пластинчатых теплообменников имеет равномерное распределение, локальные отклонения отсутствуют.

Тепловизионное обследование состояния наружных ограждающих конструкций зданий котельной №1 проиллюстрировано на рис.3.

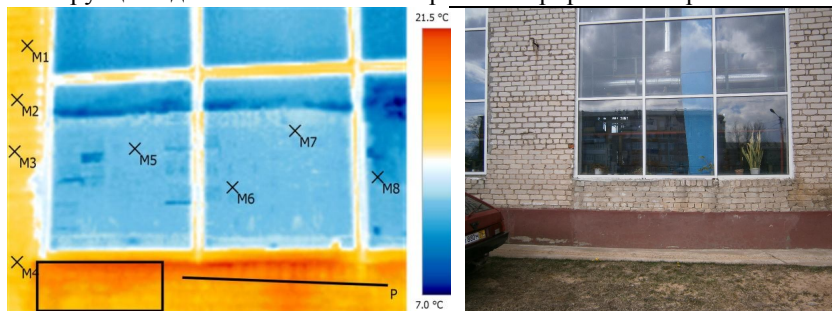


Рис. 3. Тепловизионное обследование котельной №1

По результатам тепловизионного обследования состояния наружных ограждающих конструкций здания котельной можно сделать вывод о неравномерном распределении температуры по внутренним поверхностям стен здания. В связи с этим рекомендуется повысить теплоизолирующую способность наружных стен здания путем наружного или внутреннего утепления.

Тепловизионное обследование состояния наружных ограждающих конструкций зданий котельной №2 проиллюстрировано на рис.4.

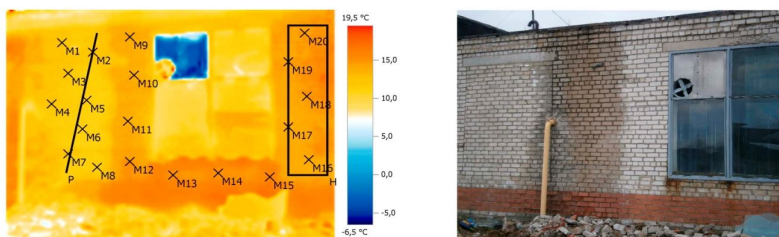


Рис. 4. Тепловизионное обследование котельной №2

Вывод: по результатам тепловизионного обследования состояния наружных ограждающих конструкций здания котельной можно сделать вывод о неравномерном распределении температуры по внутренним поверхностям стен здания. В связи с этим рекомендуется повысить теплоизолирующую способность наружных стен здания путем наружного или внутреннего утепления.

В ходе работы проводится измерение расхода теплоносителя, измерение состава уходящих газов за котлами, измерение температуры бесконтактным способом, измерение плотности телового потока, проходящую через ограждающую конструкцию, измерение толщины стенки трубопроводов.

После обработки полученных данных делаются выводы и предлагаются рекомендации по устранению выявленных недостатков.

Выводы и рекомендации по котельной №1:

– по результатам расчетов для передачи теплоносителя потребителю в работе необходим один сетевой насос

– по результатам тепловизионной съемки, проведенной внутри помещений, можно сделать вывод о неравномерном распределении температуры по внутренним поверхностям стен здания. В связи с этим рекомендуется повысить теплоизолирующую способность наружных стен здания путем наружного или внутреннего утепления;

– по результатам тепловизионного обследования состояния обмуровки котельного агрегата можно сказать, что наблюдается отклонение от нормативных значений температуры наружных поверхностей, хотя локальных отклонений температуры на поверхности не наблюдается, температурное поле обмуровки имеет равномерное распределение. В связи с этим, рекомендуется изменение теплоизоляционной конструкции с целью уменьшения коэффициента теплопроводности и, соответственно, уменьшения тепловых потерь через наружные поверхности котельного агрегата;

– рекомендуется произвести поверку прибора для контроля выработки тепловой энергии и эффективного использования топлива;

– рекомендуется установка индивидуальных счетчиков на каждый котельный агрегат для более точного контроля потребления топлива.

Выводы и рекомендации по котельной №2:

– температура на поверхности котельного агрегата не превышает нормируемого значения 45 °С;

– температурное поле поверхностей пластинчатых теплообменников имеет равномерное распределение, локальные отклонения отсутствуют;

– температура на поверхности корпуса электродвигателя насосов имеет равномерное распределение, что свидетельствует об отсутствии замыканий в обмотках статора;

– по результатам тепловизионного обследования состояния наружных ограждающих конструкций здания котельной можно сделать вывод о неравномерном распределении температуры по внутренним поверхностям стен здания. В связи с этим рекомендуется повысить теплоизолирующую способность наружных стен здания путем наружного или внутреннего утепления.

Заключительным этапом являются энергосберегающие мероприятия. Котельная №1: оптимальное распределение тепловой нагрузки между котлами; перевод парового котла в водогрейный режим; система рекуперации теплоты дымовых газов; замена в сетях освещения светильников на более энергоэффективные; замена ветхих тепловых сетей на трубопроводы из современных материалов; внедрение регулируемого электропривода на тягодутьевое оборудование.

Котельная №2: так как на котельной установлено новое оборудование, то достаточно предложить организационные мероприятия (контроль потребления энергоресурсов, поддержание в исправном состоянии всего оборудования системы водоснабжения и т.д.)

*М.А.Новиков, студ.; рук. В.А. Горбунов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ЗАДАЧ НАГРЕВА В ПАКЕТЕ ANSYS 14.0 ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПЕРВОГО РОДА В 1D И 2D ПОСТАНОВКЕ.

Исследования проводились в конечно-элементном пакете ANSYS 14.0.

ANSYS – универсальная программная система конечно-элементарного (МКЭ) анализа, существующая и развивающаяся на протяжении 30 лет, является довольно популярной у специалистов в области компьютерного инжиниринга (CAE, Computer – Aided Engineering) и КЭ решения линейных и нелинейных (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкции), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена и т.д. [1,2].

Целью является исследование влияние размера шага по пространству и по времени на результаты вычисления температурного поля в

среде ANSYS 14.0 при 1D и 2D нагрева металла с граничными условиями 1-го рода.

Если при 1D были проведены исследования М.С. Седовым [4] и Т.В. Татариновой [5], то 2D постановка исследуется впервые. Результаты решения сравниваются с решениями между решениями в пакетах ANSYS и Femlab и аналитическим решением полученным методом суперпозиции.

Решалась задача нагрева заготовки металла с сечением в виде квадрата с граничными условиями I рода с трех сторон и II рода (условия адиабаты) с одной стороны. Температура внешних сторон равна 1273К. Начальная температура нагрева 273К. Сторона сечения квадрата равна 0.3м. время нагрева принималось 1000с.

Примеры задач нагрева пластины и условия были взяты из [3].

В отличии от решения задач в 1D геометрии в 2D геометрии планируется исследовать влияние формы сетки на точность результатов полученного температурного поля в конце нагрева.

В дальнейшем планируется результаты моделирования использовать для определения погрешности расчета в пакете ANSYS на стадии подготовки решения задачи с 2D геометрией на основе использования нейросетевой технологии.

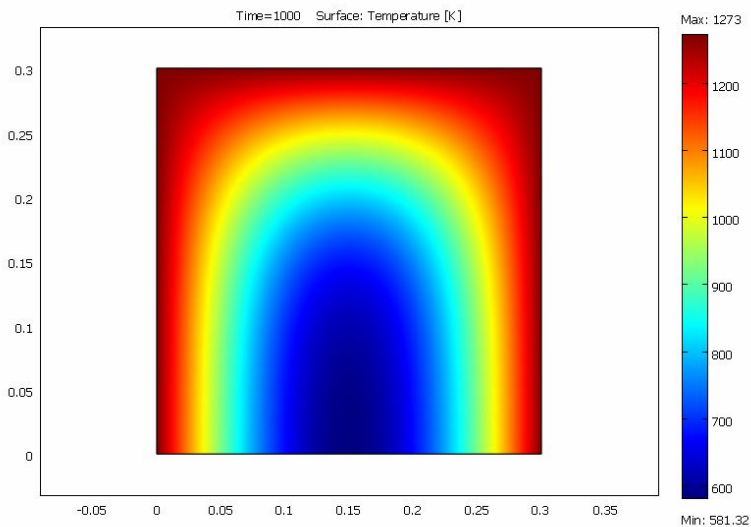


Рис. 1. Температурное поле пластины, рассчитанное в пакете ANSYS

Библиографический список

1. **Басов К.А.** ANSYS и Virtual Lab. Геометрическое моделирование – М.: ДМК Пресс, 2006.- С.240. – ISBN 5-94074-301-3.
2. **Басов К.А.** ANSYS для конструкторов – М.: ДМК Пресс, 2009.- С.248. – ISBN 978-5-94074-462-7.
3. **Горбунов В.А.** Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете Femlab: Учеб. пособие/ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2008.- 216с.
4. **Седов М.С.** Разработка модели кузнечного производства в многоцелевом вычислительном комплексе: Дип. Иваново, 2010. – 171 с.
5. **Татарнинова Т.В.** Разработка математических моделей в Ansys - Fluent камерных кузнечных печей для машиностроительных предприятия: Дип. Иваново, 2011. - 141с.

*А. В. Андреев, студ.; Н. П. Гусенкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ РАБОТЫ ПЕТЛЕВОГО РЕКУПЕРАТОРА В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Целью работы являлось разработка геометрической модели рекуператора и тепловой расчет в вычислительном комплексе ANSYS.

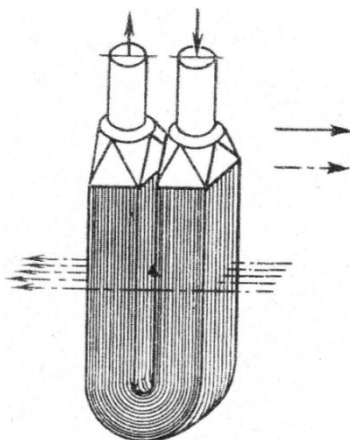


Рис. 1 Схема движения воздуха и дымовых газов

Для использования вторичного энергоресурса – тепла уходящих газов применяется петлевой конвективный рекуператор из гладких

стальных труб. В таком рекуператоре подогреваемый воздух проходит внутри труб, а дымовые газы снаружи (рис.1).

Для подогрева воздуха рекуператоры из гладких труб применяют в основном на крупных нагревательных печах, имеющих высокую температуру дымовых газов, где нецелесообразно устанавливать ни термоблоки вследствие их чрезвычайной громоздкости. На заводах черной металлургии, машиностроения и т. п. наибольшее распространение получили так называемые «петлевые» рекуператоры из гладких стальных труб. Такие рекуператоры устанавливаются за печами в дымоотводящем канале.

Основным преимуществом конструкции петлевого рекуператора является свободная самокомпенсация температурного расширения каждой трубы (петли) в отдельности. Не маловажным преимуществом данного рекуператора является его простота в обслуживании, быстрый монтаж на рабочем месте. Недостатком конструкции петлевого рекуператора является то, что все трубные петли по направлению движения дымовых газов имеют разную длину. Отсюда и разные аэродинамические сопротивления, отчего наружные петли блока самые теплонагруженные с дымовой стороны, в них поступает меньше воздуха, чем в остальные петли.

Для моделирования петлевого рекуператора расположенного в дымоотводящем канале был выбран пакет 3D моделирования SolidWorks.

Построенную модель для расчета интегрировали в вычислительный комплекс ANSYS. Для расчета данной модели нам необходимо задать некоторыми условиями, а именно: задать начальные условия, граничные условия теплообмена, физические и гидравлические параметры сред и материалов из которых выполнены теплообменный аппарат и дымоотводящий канал, а также временем теплообмена.

Постановка задачи теплообмена:

Для рекуператора.

Процесс теплообмена в модели описывается дифференциальным уравнением теплопроводности:

$$c'(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda(T) \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_3^2} \right],$$

где $c' = cc$ – объемная теплоемкость материала труб рекуператора, Дж/м³К; λ – теплопроводность материала труб рекуператора, Вт/мК.

Начальные условия:

Начальные условия задаются в виде начальной температуры тела:

$$T(x_1, x_2, x_3, 0) = 273 \text{ K}$$

Граничные условия:

Зададим граничные условия для всех поверхностей в общем виде.

Внешняя сторона трубок рекуператора

Теплообмен происходит за счет конвекции и излучения.

$$q(x_1, x_2, x_3, \tau) = \sigma_{np} (T_g^4 - T_{cm}^4(x_1, x_2, x_3, \tau)) - \\ - \alpha (T_g - T_{cm}(x_1, x_2, x_3, \tau)),$$

где T_g – температура дымовых газов, K ; T_{cm} – температура стенки рекуператора, K ; y_{np} – приведенный коэффициент излучения с учетом степени черноты дымовых газов и стенок рекуператора, Vm/m^2K^4 ; α – коэффициент конвективной теплоотдачи, Vm/m^2K ; ϕ – время теплообмена, c .

Внутренняя сторона трубок рекуператора

Здесь, граничные условия аналогичны с граничными условиями на внешних трубках рекуператора:

$$q(x_1, x_2, x_3, \tau) = \sigma_{np} (T_g^4 - T_{cm}^4(x_1, x_2, x_3, \tau)) - \\ - \alpha (T_g - T_{cm}(x_1, x_2, x_3, \tau)),$$

где T_g – температура воздуха, K ; T_{cm} – температура стенки рекуператора, K ; y_{np} – приведенный коэффициент излучения с учетом степени черноты стенок рекуператора, Vm/m^2K^4 ; α – коэффициент конвективной теплоотдачи, Vm/m^2K ; ϕ – время теплообмена, c .

Для дымоотводящего канала.

Дифференциальное уравнение теплопроводности

$$c'(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda(T) \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x_3^2} \right],$$

где $c' = cc$ – объемная теплоемкость материала дымоотводящего канала, $Дж/м^3K$; λ – теплопроводность материала дымоотводящего канала, Vm/mK .

Начальные условия:

Начальные условия задаются в виде начальной температуры тела:

$$T(x_1, x_2, x_3, 0) = 273 \text{ K}.$$

Граничные условия:

Внутренняя и внешняя стороны дымоотводящего канала:

На внешней стороне кладки задаем условия адиабатического теплообмена:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad \text{я}$$

На внутренней стороне граничные условия аналогичны с граничными условиями внешних сторон трубок рекуператора:

$$q(x_1, x_2, x_3, \tau) = \sigma_{np} (T_g^4 - T_{огр}(x_1, x_2, x_3, \tau)) - \alpha (T_g - T_{огр}(x_1, x_2, x_3, \tau)),$$

где T_g – температура дымовых газов, K ; $T_{огр}$ – температура стенки рекуператора, K ; σ_{np} – приведенный коэффициент излучения с учетом степени черноты дымовых газов и поверхности ограждения дымоотводящего канала, Bt/m^2K^4 ; α – коэффициент конвективной теплоотдачи, ϕ – время теплообмена, c .

Также необходимо задать и скорость теплоносителей для определения режима течения газа от которого зависит коэффициент конвективной теплоотдачи.

Далее для расчета необходимо задать расчетную сетку, разделить модель на грани, указать настройки решателя, указания модели решателя, задание свойств материалов и задание размера шага по времени и указание количества шагов.

Для проверки точности расчета задаемся скоростью движения теплоносителей такой же, как и в инженерном расчете.

В результате расчета получаем температурное поле данной модели.

В будущем данную модель можно использовать для расчета каких-либо режимов работы рекуператора, внесения конструктивных изменений, которые смогут улучшить тепловые показатели рекуператора.

*Смирнов А.А., студ.; рук. Р.Н. Габитов асп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ СЛОЯ ТБО ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ

Основополагающим процессом в установках шахтного типа является процесс движения газов в слое ТБО – фильтрация газов, от которой зависит интенсивность термического разложения ТБО в процессах пиролиза и газификации. Термическая переработка ТБО в слое услож-

нена ввиду того, что несортированные и в большей степени депонированные ТБО имеют значительное гидравлическое сопротивление. Плотность (ρ) и высота (h) слоя – основные параметры, влияющие на процесс фильтрации газа и которые необходимы для расчета конструктивных параметров термических реакторов.

Основной целью экспериментального исследования является определение максимальной высоты слоя, при котором слой будет запыраться.

Слой ТБО, предварительно высушенный, взвешивался на весах и загружался в шахту экспериментальной установки. Высота слоя измерялась линейкой. Воздуходувкой подавали в шахту воздух при температуре 20°C. счетчиком газа фиксировался расход. Дифманометром измерялся перепад давления на входе в шахту перед слоем и в слое на различных высотах. Для изменения плотности досыпали ТБО и слой уплотнялся по высоте до первоначальной величины.

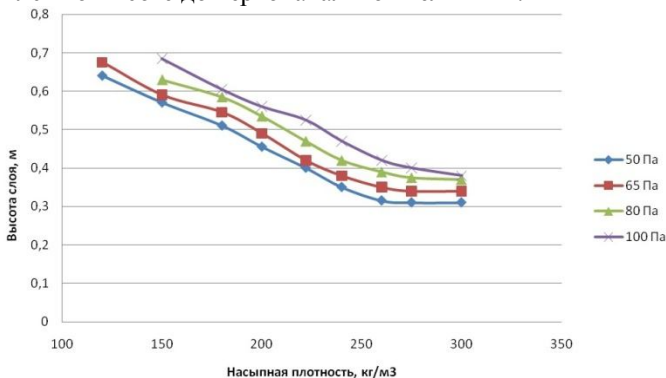


Рис 1. Зависимость газопроницаемости от насыпной плотности при различных перепадах давления

Из рис 1. - минимальная высота газопроницаемости продуваемого слоя составляет 0,33 м. при плотности загружаемых ТБО 300 кг/м³, для насыпной плотности ТБО 150 кг/м³ она составляет 0,6 м. Для запирания слоя необходимо увеличить высоту на 0,05 - 0,1 м.

Выводы:

1. Порог газопроницаемости слоя ТБО при изменении его плотности от 150 до 300 кг/м³ находится диапазоне от 0,33 до 0,7 м.
2. Полученное значение высот продуваемого слоя позволяет рассчитывать конструктивные размеры термического реактора.
3. Давление на входе в слой можно ограничить 50 – 70 Па для обеспечения необходимой газопроницаемости слоя ТБО

*А.Е. Бакина, Б.А. Бытин, студенты; рук. О.Б.Колибаба, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОДИФИКАЦИИ

По степени перевода на среднее или высокое давление различаются три модификации систем газоснабжения:

1) система с газорегуляторными пунктами (ГРП). В ней по сетям среднего (или высокого) давления транспортируют только основные потоки газа, а между бытовыми и мелкими коммунальными потребителями распределяют его по широко развитым СНД (рис. 1).

Газорегуляторные пункты имеют пропускную способность 1000–3000 м³/ч, радиус действия до 1500 м. Располагают их в отдельно стоящих отапливаемых зданиях. Средний диаметр подводящих газопроводов составляет 100–150 мм. По СВД транспортируют газ промышленным потребителям и сетевым ГРП. Сеть многоответвленная с кольцеванием основных линий. Эта система получила наибольшее распространение. Для таких систем разработано надежное газорегулирующее оборудование необходимой производительности, накоплен достаточный опыт проектирования и эксплуатации. Эксплуатация сравнительно небольшого числа регуляторных станций довольно проста. Опасность, возникающая при утечке газа на СНД, меньше, чем при утечке из сетей высокого и среднего давления. Система с ГРП подходит для районов старой застройки. Она надежна, удобна в эксплуатации, но менее экономична, чем система с КРП;

2) система с квартальными регуляторными пунктами (КРП) (рис. 2). Здесь большую часть наружных СНД переводят на среднее или высокое давление. КРП оборудуют регуляторами малой производительности, соответствующей потребности примерно одного квартала; устанавливают их в шкафах или киосках, поэтому КРП имеют значительно меньшую стоимость, чем ГРП. Наружные сети представляют собой малоразветвленные, преимущественно тупиковые газопроводы, соединяющие отдельные здания квартала с КРП.

Такая система является внутриквартальной, разветвленной, частично закольцованной по основным линиям, с незначительным числом пересечений проездов.

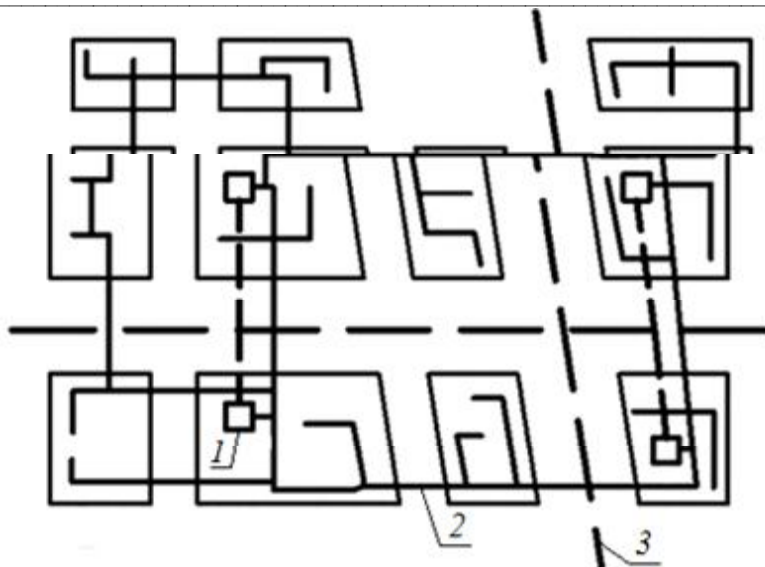


Рис. 1. Схема газораспределительной сети с ГРП:

1 – ГРП; 2 – газопровод низкого давления;

3 – газопровод среднего давления

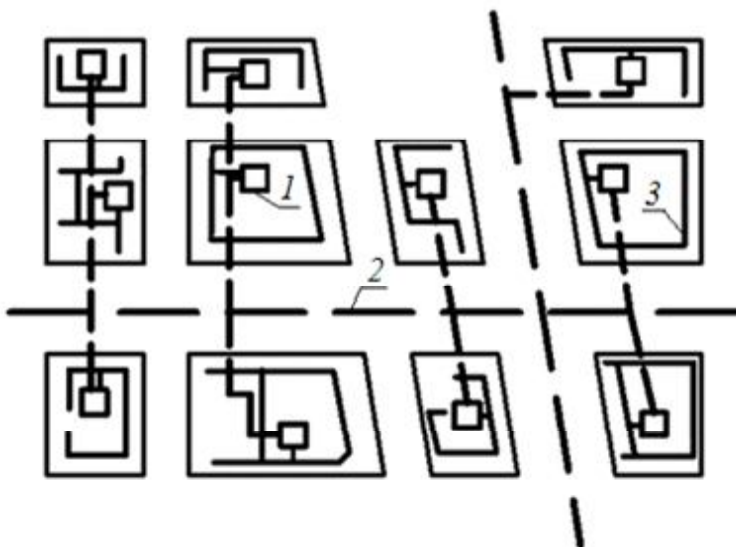


Рис. 2. Схема газораспределительной сети с КРП (ШРП)

Газораспределительные пункты размещены в отапливаемых шкафах, расположенных на стене здания или вблизи него.

Пропускная способность шкафного регуляторного пункта (ШРП) 100500 м³/ч, радиус действия до 500 м. Средний диаметр подводящих газопроводов 50100 мм. По СВД газ передают промышленным потребителям и сетевым ШРП. Сеть значительно разветвлена, основные городские линии и межквартальные газопроводы закольцованы.

3) система с домовыми регуляторными пунктами (ДРП). Наружную распределительную сеть бытовых и коммунальных потребителей в этой системе полностью проектируют на среднее давление. Современные системы рассматриваемого типа оборудуют комбинированными регуляторами давления. Шкафные регуляторные пункты с комбинированными регуляторами устанавливают на наружных стенах жилых домов и предприятий бытового обслуживания и от них подают газ во внутримдомовые газопроводы.

Сеть этой системы имеет две ступени давления: по СВД газ передают промышленным потребителям и в центральный ГРП; по ССД газ распределяют между домовыми распределительными пунктами. При освоении комбинированных регуляторов давления такая система представляется перспективной.

При определении экономической эффективности систем газоснабжения в зависимости от модификации производится сравнение вариантов для условного поселка состоящего из домов с разным уровнем потребления газа, и три схемы газораспределения. Материал труб – полиэтилен.

При одинаковом расходе газа, например 1000 м³/ч, и протяженности газопроводов 3750 м в соответствии с гидравлическим расчетом наблюдается разница между диаметрами газопроводов в каждой схеме.

При использовании современных конструкций шкафных регуляторов, не требующих профилактических работ каждые полгода, экономия будет достигнута при эксплуатации. Небольшие диаметры разводящих газопроводов дают возможность применять длинномерные полиэтиленовые трубы, которые сокращают продолжительность монтажных работ и более надежны из-за минимального количества сварных соединений.

*Е.Е. Бурова, студ.; рук. В.А. Горбнов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДОПУЩЕНИЯ ПРИ СВЕДЕНИИ ДВУХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА К ОДНОМЕРНОЙ, ПРИ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ I-II РОДА

Исследования проводились в программном комплексе ANSYS.

В ANSYS имеется встроенный редактор, для работы с геометрическими моделями DesingModeler или сокращенно DM и представляет собой модуль на платформе Workbench .

Главной особенностью модуля DM является возможность импорта геометрических моделей из CAD систем. Поэтому, перенос твердотельного образа изделия из программного комплекса CAD системы SolidWorks не вызывает затруднений.

Целью работы является определение погрешности допущения при сведении двухмерной задачи нагрева металла к одномерной, при граничных условиях I, II рода. В проведенных расчетах использовались одномерные, двухмерные модели.

При моделировании нагревательных печей кузнечного производства, для упрощения расчетов делают допущение. Двухмерную модель нагреваемых изделий (рис.1) сводят к одномерной постановке (рис.2), используя при этом формулу обобщенного размера заготовок:

$$R = K \cdot \frac{V_3}{F_3},$$

где K – коэффициент формы заготовки; V_3 – объем заготовки, m^3 ; F_3 – обогреваемая поверхность, m^2 .

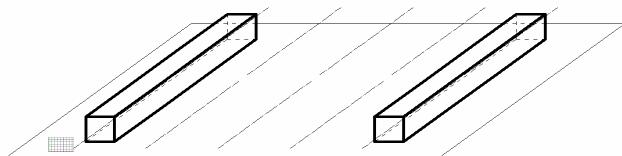


Рис. 1. Размещение заготовок на подине печи с зазором

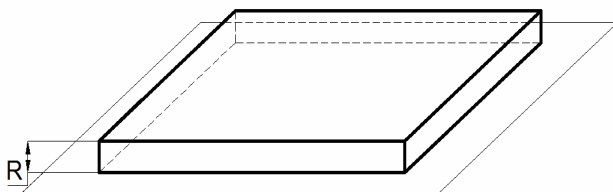


Рис.2. Приведение двухмерной задачи к одномерной

В данной работе исследовалась погрешность допущения приведения двухмерной задачи нагрева к одномерной по параметрам качества нагрева: температуры на поверхности и температурного перепада в конце нагрева.

Библиографический список

1. **Ansys** 2011. Универсальная программная система конечно-элементного анализа.
2. **SolidWorks** 2011. Система автоматизированного проектирования
3. **Горбунов В.А.** Моделирование теплообмена в конечно-элементном пакете Femlab: Учеб. пособие/ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2008.- 216с.

*Е.В. Лукин, студ.; рук. О.И. Горинов, к.т.н. проф.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

СПОСОБЫ ГАЗИФИКАЦИИ ТОПЛИВА

Газификация топлива -это превращение твёрдого или жидкого топлива в горючие газы путём неполного окисления воздухом (кислородом, водяным паром) при высокой температуре. Получают главным образом горючие продукты (окись углерода и водород). На сегодняшний день существует несколько способов газификации топлива. Газифицировать можно любое топливо: ископаемые угли, торф, мазут, кокс, древесину и др. Газификацию топлива проводят в газогенераторах; получаемые газы называются генераторными. Их применяют как топливо в металлургических, керамических, стекловаренных печах, в бытовых газовых приборах, двигателях внутреннего сгорания и др.

Кроме того, они служат сырьём для производства водорода, аммиака, метанола, искусственного жидкого топлива и др.

При газификации твёрдого топлива окислению кислородом или водяным паром подвергается непосредственно углерод: $2C + O_2 = 2CO + 247 \text{ Мдж}$ (58 860 ккал); $C + H_2O = CO + H_2 - 119 \text{ Мдж}$ (28 380 ккал). Однако весь углерод превратить в целевой продукт CO обычно не удаётся, часть его сгорает полностью: $C + O_2 = CO_2 + 409 \text{ Мдж}$ (97 650 ккал). Образовавшийся при этом углекислый газ, в свою очередь, реагирует с раскалённым углеродом: $CO_2 + C = 2CO - 162 \text{ Мдж}$ (38 790 ккал). Для получения генераторных газов применяют различные виды окислителей (дутья): воздух; смесь водяного пара с воздухом или кислородом; воздух, обогащённый кислородом, и др. Состав дутья подбирается так, чтобы тепла, выделяющегося в экзотермических реакциях, хватило для осуществления всего процесса.

В процессе газификации жидкого топлива под действием высокой температуры происходит расщепление углеводородов до низкомолекулярных соединений или элементарных веществ, которые и подвергаются окислению, например; $CH_4 + 0,5O_2 = CO + 2H_2 + 34 \text{ Мдж}$ (8030 ккал); $CH_4 + H_2O = CO + 3H_2 - 210 \text{ Мдж}$ (50 200 ккал). Образующиеся при этом газообразные продукты реагируют между собой: $CO + H_2O = CO_2 + H_2 + 44 \text{ Мдж}$ (10 410 ккал). Газификация топлива получила распространение в 19 в. благодаря преимуществам газового топлива перед твёрдым и жидким. Одновременно развивалось производство светильного газа, основанное на процессах термической деструкции топлива без доступа воздуха (сухой перегонки, коксования). В 1-й половине 20 в. водяной газ производился с целью получения водорода для синтеза аммиака и искусственного жидкого топлива. После 2-й мировой войны 1939-45 интенсивно стали разрабатываться способы газификации жидких топлив под давлением, особенно в районах, удалённых от источников природного газа. В России успешно разрабатываются методы получения из высокосернистого котельного топлива (мазута) малосернистого газообразного топлива для электростанций. Благодаря этому резко уменьшаются загрязнение воздушного бассейна сернистым газом, а также коррозия котельного оборудования.

В настоящее время, когда налицо известные трудности с традиционными видами топлива (уголь, нефтепродукты и т. п.), в качестве альтернативы применяется биогаз, который способен обеспечивать топливом удалённых потребителей. Кроме того, при переработке отходов с целью производства биогаза эти отходы полностью идут в дело, в результате улучшается санитарное состояние территории.