

Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет
Энергомашиностроительный факультет
Кафедра «Атомные и тепловые энергетические установки»

КУРСОВАЯ РАБОТА

Дисциплина: Моделирование и алгоритмизация задач энергетики

Тема: Построение термо- и аэродинамической модели
газохода переменного круглого сечения

Выполнил студент гр. 5037/1 А. В. Игнатьев

Принял преподаватель, проф. А. Н. Коваленко

« ____ » _____ 2009 г.

Оглавление

Введение.....	3
Постановка задачи.....	3
Ограничения и упрощения.....	3
Основные расчётные зависимости.....	4
Алгоритм расчёта параметров по газоходу.....	5
Алгоритм расчёта температур и давления в промежуточном сечении.....	7
Выводы.....	7
Список использованной литературы.....	7

Введение

Газоходы и дымовые трубы являются обязательным элементом ТЭС, котельных и других установок, в которых сжигается органическое топливо. Они служат для отвода продуктов сгорания топлива от устройства, где осуществлялось сгорание, к другим устройствам (дымососам, золоуловителям) и в конечном итоге в атмосферу. Газоходы могут выполняться из стали или неметаллических материалов (бетона, кирпича); стенки газоходов могут иметь покрытие, предохраняющее от коррозии, и по нормам проектирования в большинстве случаев должны быть теплоизолированы.

При проектировании энергообъектов требуется выполнить механический (здесь не рассматривается), аэродинамический и тепловой расчёт газоходов.

В настоящей работе предлагается математическая модель аэродинамических и тепловых характеристик простого, но распространённого случая – неразветвлённого газового ствола, имеющего форму тела вращения.

Постановка задачи

Расчётная модель газохода составляется в предположении, что известны:

- свойства (состав) газов;
- геометрические параметры газохода (диаметры сечений, толщина слоёв оболочки);
- теплопроводность конструкционных материалов (постоянная или зависящая от температуры);
- параметры теплообмена (температура и характер движения воздуха) на наружной поверхности труб;
- давление на выходе;
- на входе – температура и либо давление, либо расход газов.

Требуется определить на стационарном режиме:

- температуру и давление газов в каждом сечении;
- распределение температуры стенки по её толщине и по длине труб.

Ограничения и упрощения

Газоход представляет собой последовательность конических или цилиндрических участков (начальный диаметр последующего равен конечному предыдущего). Стенка газохода на каждом участке состоит из имеющих постоянный состав слоёв, ограниченных коническими и цилиндрическими поверхностями, соосными внутренней поверхности. Внешние условия теплообмена в пределах участка постоянны. Присосов и утечек нет; скорости газа таковы, что они значительно ниже скорости звука, но обеспечивают турбулентный режим течения.

Изменение параметров газа по поперечному сечению газохода не учитывается. Также считается, что температурные поля в стенке по всем радиусам любого сечения постоянны.

Основные расчётные зависимости

Схема участка трубы изображена на рис. 1. Заданными параметрами являются начальные R_i и конечные r_i радиуса, длина трубы L , перепад высот z , коэффициент линейного сопротивления f , теплопроводность материалов $\lambda_i(t)$, температура воздуха t_n и коэффициент теплоотдачи α_n , температура на входе t_0 и давление на выходе p_1 , а также теплофизические свойства газа и один из параметров G, p_0 .

Из уравнения материального баланса следует, что расходы на входе и выходе равны: $G_1 = G_0 = G = const$. Для давлений на участке можно записать уравнение Бернулли: на расстоянии l от входного сечения

$$\begin{aligned} p(l) &= p_0 + \frac{\rho_0 c_0^2 - \rho(l) c(l)^2}{2} - \langle \rho \rangle_0^l g z \frac{l}{L} - \Delta p_{\text{тр}}|_0^l = \\ &= p_1 - \frac{\rho_1 c_1^2 - \rho(l) c(l)^2}{2} + \langle \rho \rangle_l^L g z \frac{L-l}{L} + \Delta p_{\text{тр}}|_l^L, \end{aligned}$$

где $\rho_{0,1}$ – плотности газов в начале и конце участка; $\langle \rho \rangle$ – средняя плотность, можем считать, что $\langle \rho \rangle_a^b$ вычисляется при давлении $(p_a + p_b)/2$ и среднелогарифмической температуре

$$\langle t \rangle_a^b = t_n + \frac{t_a - t_b}{\ln \frac{t_a - t_n}{t_b - t_n}};$$

$c(l) = 4G/(\pi \rho(l) R_0(l)^2)$ – скорость газов, при этом $R_0(l) = lR_0 + (L-l)r_0$; $g = 9,807$ Н/кг; $\Delta p_{\text{тр}}$ – потери давления от трения; в цилиндрических ($R_0 = r_0$) трубах

$$\Delta p_{\text{тр}}|_a^b = f \frac{b-a}{2R_0} \frac{\langle \rho c^2 \rangle}{2} = f(b-a) \frac{G^2}{\pi^2 R_0^5 \langle \rho \rangle_a^b}, \quad (1)$$

для конфузорных труб с уклоном образующей конуса к оси $(R_0 - r_0)/L = i$

$$\Delta p_{\text{тр}}|_a^b = \frac{f}{8i} \frac{\rho_b c_b^2 - \rho_a c_a^2}{2} = \frac{f(b-a)}{8\pi^2 (R_a - R_b) \langle \rho \rangle_a^b} \left(\frac{1}{R_b^4} - \frac{1}{R_a^4} \right) G^2, \quad (2)$$

для диффузоров в первом приближении

$$\Delta p_{\text{тр}}|_a^b \approx \left(\frac{f(b-a)}{8\pi^2 (R_a - R_b) \langle \rho \rangle_a^b} \left(\frac{1}{R_b^4} - \frac{1}{R_a^4} \right) + \frac{1}{2\pi^2 \langle \rho \rangle} \left(\frac{1}{R_a^2} - \frac{1}{R_b^2} \right)^2 \frac{R_b - R_a}{\sqrt{(R_b - R_a)^2 + (b-a)^2}} \right) G^2. \quad (3)$$

Уравнение энергетического баланса для участка трубы может быть записано как

$$Gh_b = Gh_a - \int_a^b q_l dl,$$

где h_i – энтальпии газов; q_l – линейный тепловой поток с единицы длины трубы,

$$q_l = \frac{2\pi(t - t_n)}{\frac{1}{\alpha_n R_n} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{R_i}{R_{i-1}} + \frac{1}{\alpha_n R_0}}, \quad (4)$$

где n – число слоёв; радиуса даны при l . Теплопроводности можно, как правило, без

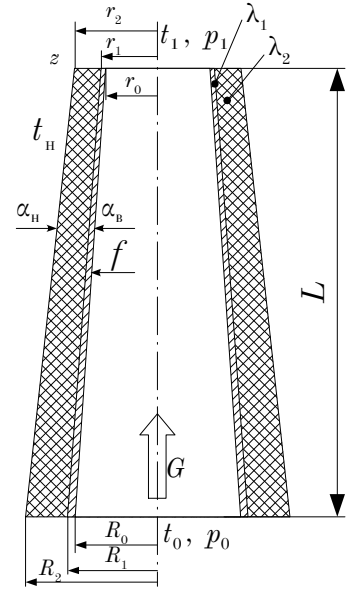


Рис. 1. Схема участка трубы

существенной потери точности принимать при средней температуре слоя $(t_i+t_{i-1})/2$. Коэффициент теплоотдачи внутри трубы можно приближённо вычислить по формуле для цилиндрической трубы (пренебрегаем взаимовлиянием участков)

$$\frac{2\alpha_b R_0}{\lambda_r} = \text{Nu} = 0,021 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,43},$$

где Nu – число Нуссельта; Pr – число Прандтля в газе; $\text{Re} = \frac{2cR_0}{\nu_r} = \frac{2G}{\pi R_0 \mu_r}$ – число Рейнольдса. Таким образом,

$$\alpha_b = 0,0176 \frac{\text{Pr}^{0,43} \lambda_r G^{0,8}}{\mu_r^{0,8} R_0^{1,8}}.$$

Для упрощения расчётов все параметры принимаем при средних по участку радиусе, давлении и температуре; если требуется более высокая точность, участок можно очевидным образом разбить на любое число подучастков.

Алгоритм расчёта параметров по газоходу

Для газохода в целом заданы те же параметры, что и для каждого участка; при этом наружные условия (t_n, α_n) могут на различных участках отличаться. На конце тракта следует учесть потерю скоростного напора

$$\Delta p_k = \frac{G^2}{2\pi^2 \rho_k r_k^4}$$

(далее предполагается, что величина $p_{1\text{тр}}$ уже её учитывает).

Расчёт ведётся многократным методом последовательных приближений, причём расчёт газохода основан на совмещении расчётов отдельных участков.

В первом приближении теплообменом пренебрегается ($t=t_1=t_0$ для каждого участка и тракта в целом) и производится определение давлений. Если по тракту задан расход, то давления отсчитываются с конца по формуле Бернулли:

$$p_{1\ i-1} = p_{0i} = p_{1i} - \frac{G^2}{2\pi^2} \left(\frac{1}{\rho_{0i} R_i^4} - \frac{1}{\rho_{1i} r_i^4} \right) + \langle \rho \rangle_i g z_i + \Delta p_{\text{тр}i},$$

где потери на трение на i -м участке определяются по одной из формул (1 – 3). В данной формуле при определении ρ_{0i} и $\langle \rho \rangle_i$ требуется использовать p_0 , поэтому сначала задаёмся $p_0 = p_1$, а затем подставляем рассчитанное значение и повторяем операцию до стагнации (например, пока p_0 не станет изменяться не более чем на 0,1%).

Если же задано начальное давление, то производятся следующие действия:

1) Суммируем длину всех N участков $L_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^N L_i$ и находим самый длинный (k -й);

2) Задаём для этого участка давления в начале $p_{0k} = p_{0\text{тр}} - \frac{p_{0\text{тр}} - p_{1\text{тр}}}{L_{\text{тр}}} \sum_{i=1}^{k-1} L_i$ и в конце

$$p_{1k} = p_{0k} - \frac{(p_{0\text{тр}} - p_{1\text{тр}}) L_k}{L_{\text{тр}}};$$

- 3) По данному участку выполняем подсчёт расхода по следствию из формулы Бернулли

$$G = \pi \sqrt{\frac{p_{0k} - p_{1k} - \langle \rho \rangle_k g z_k}{\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\rho_{1k} r_k^4} - \frac{1}{\rho_{0k} R_k^4} \right) + K(R_k, r_k, L_k, f, \langle \rho \rangle_k)}},$$

где K – функция, характеризующая потери на трение и известная из одного из выражений (1 – 3), отнесённых к G^2 .

- 4) По данному расходу выполняем подсчёт падения давления с конца (с учётом Δp_r). Если на каком-то этапе рассчитанное давление $p_{0i \text{ расч}}$ окажется выше $p_{0 \text{ тр}}$, домножаем расход на корректирующий множитель и повторяем расчёт с конца; аналогичным образом действуем, если при расчёте, проведённом до начала первого участка, $p_{0 \text{ тр расч}}$ оказалось сильно (например, на 1%) отличающимся от $p_{0 \text{ тр}}$. Корректирующий множитель из формулы $p_{0i} - p_{1 \text{ тр}} \approx \text{const} \cdot G^2$ может быть выражен как

$$\sqrt{\frac{\sum_{j=i}^N L_j / L_{\text{тр}} (p_{0 \text{ тр}} - p_{1 \text{ тр}})}{p_{0i} - p_{1 \text{ тр}}}}.$$

Когда давления на границах участков предварительно определены, переходим к расчёту температур. Его мы будем производить с начала. Из уравнения теплового баланса для участка, ограниченного n -слоистой стенкой,

$$h_1 = h_0 - L \frac{2 \pi \Delta t_{\text{cp}}}{\frac{1}{\alpha_n R_n} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{R_i}{R_{i-1}} + \frac{1}{\alpha_b R_0}},$$

где радиусы границ слоёв принимаются средние;

$$\Delta t_{\text{cp}} = t_{\text{cp}} - t_n = \frac{t_0 - t_1}{\ln \frac{t_0 - t_n}{t_1 - t_n}}.$$

Связь энтальпий и температур газов считаем известной. Для определения коэффициентов теплопроводности требуется знать температуры между слоями; первоначально принимаем их линейно изменяющимися по толщине от расчётной температуры газов t_{cp} до t_n , затем подсчитываем q_i по формуле (4) и уточняем температуры по выражениям, следующим из уравнения теплопередачи,

$$t_{w0} = t_{\text{cp}} - \frac{q_l}{2 \pi \alpha_b R_0},$$

$$t_{wi+1} = t_{wi} - \frac{q_l \ln(R_{i+1}/R_i)}{2 \pi \lambda_{i+1}};$$

сходимость контролируется по аналогичному выражению

$$t_{wn} = t_n + \frac{q_l}{2 \pi \alpha_n R_n},$$

если разность правой и левой части велика (напр. больше $1\text{ }^{\circ}\text{C}$), определяем λ_i по температуре $(t_{wi} + t_{wi-1})/2$ и повторяем расчёт с новыми значениями.

Аналогичным образом во внешнем по отношению к последнему циклу определяется средняя температура газов. В начале предполагается $t_1 = t_0$, при этих параметрах первоначально вычисляется α_v и производится расчёт сопротивления стенки, затем определяется выходная энтальпия h_1 и по ней уточнённая температура t_1 . Если расхождения значительны (например, больше $1\text{ }^{\circ}\text{C}$), расчёт повторяется.

Когда первый элемент газохода рассчитан по температуре, переходят ко второму и так далее до последнего. Полученные значения температур газа на концах участков фиксируются, после чего алгоритм возвращается к расчёту падений давления с учётом изменения зависящих от температуры величин. Если во всех сечениях по границам участков давления отличаются от определённых ранее незначительно (например, в пределах 1%), расчёт считается завершённым. Если нет, снова переходят к расчёту температур.

Алгоритм расчёта температур и давления в промежуточном сечении

После завершения расчёта газохода по предыдущей главе становятся известны параметры на концах участков и расход газов. В остальных сечениях параметры могут быть определены по этим данным. Для расчёта давления и температуры газов участок газохода представляется в виде газохода из двух участков длины l и $L-l$, параметры на концах которого известны. Радиуса поверхностей слоёв на границе этих участков равны

$$R_{\text{гри}}(l) = \frac{R_i \cdot l + r_i \cdot (L-l)}{L}.$$

График температур оболочки по радиусу при принятом характере расчётной зависимости будет иметь кусочно-линейный характер; для его уточнения следует разбить каждый слой на несколько соседних слоёв из того же материала. Расчёт поля в данном сечении аналогичен расчёту температуры стенки для участка, но вместо среднего значения температуры и давления газов в формулы для α_v , функции газов и уравнения теплообмена подставляются параметры сечения.

Выводы

В данной работе приведен алгоритм расчёта математической модели тепловых и аэродинамических параметров газохода, имеющего форму тела вращения. Алгоритм обобщает данные из различных источников в форме, удобной для составления программы для ЭВМ. Расчётные зависимости имеют приближённый характер, но достаточно точны для инженерных вычислений; точность подсчёта свойств можно довести до точности этих зависимостей, увеличив число расчётных элементов (участков трубы и слоёв оболочки).

Список использованной литературы

1. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М., 1992.
2. Рихтер Л. А. и др. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций. – М., 1987.