

нию с отопительным графиком, что приведет к росту температуры воздуха в помещениях.

Для регулирования тепловой нагрузки в соответствии с расчетным графиком в диапазоне, в котором режим теплопотребления не обеспечивается центральным качественным регулированием, в тепловом пункте предусматривается присоединение системы отопления со смесительным насосом на вводе. В этом случае с изменением расхода сетевой воды с помощью регулирующего клапана уменьшается или увеличивается подача смесительного насоса, поддерживая количество теплоносителя после узла смешения постоянным и равным расходу воды в системе отопления.

При реконструкции системы отопления десятого студенческого корпуса УрФУ была произведена полная замена оборудования теплового пункта с установкой смесительного насоса и системой автоматического регулирования тепловой нагрузки вместо нерегулируемого элеваторного узла.

Была произведена оценка экономии тепловой энергии в осенне-весенний период при комбинированном регулировании тепловой нагрузки на отопление здания.

Расчет проводился при следующих исходных данных:

- расчётная тепловая нагрузка на отопление здания – 381,1 кВт;
- расчётная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления – минус 35°С ;
- средняя температура воздуха в помещениях здания – +20°С ;
- расчётная температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети – 115°С, в обратном – 70°С;
- температура наружного воздуха в точке излома температурного графика – 6°С;
- стоимость тепловой энергии – 880,19 руб./Гкал.

Расчётное количество тепловой энергии, сэкономленное в осенне-весенний период при установке узла регулирования, составляет 15,1 %, в денежном выражении – 124 тыс. руб./год.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ДЫМОВЫХ ТРУБ

*Шутов В. С., Хворенков Д. А., Варфоломеева О. И.
Ижевский государственный технический университет
tguug@istu.ru*

Коррозионные процессы в дымовых трубах теплоисточников в значительной степени определяются наличием в потоке или на внутренней стенке конденсированных паров воды и серной кислоты. Наличие жидкой фазы этих веществ может быть определено по полям температуры и парциального давления соответствующего компонента.

Целью работы является сопоставление результатов расчета температурного поля внутри дымовой трубы с помощью численного моделирования и с применением стационарных интегральных уравнений теплового баланса.

Исследование проводилось для цилиндрической стальной нетеплоизолированной дымовой трубы высотой 31,815 м и диаметром 400 мм. Исследование проводилось для климатических параметров наружного воздуха г. Ижевска при двух режимах работы дымовой трубы:

– при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления (температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92), равной минус 34 °С, скорость дымовых газов на входе в трубу 15 м/с, температура дымовых газов на входе в трубу 120 °С;

– при температуре наружного воздуха 10 °С, скорость дымовых газов на входе в трубу 6 м/с, температура дымовых газов на входе в трубу 100 °С.

Поступающие в газоотводящую трубу продукты горения, имеющие температуру выше температуры окружающей среды, вступают в теплообмен со стенками газоотводящего ствола. В непосредственной близости к поверхности теплообмена существует неподвижный слой газа, через который теплота передается только путем теплопроводности.

Численное исследование проводилось в программном комплексе FlowVision с решением системы нестационарных уравнений Навье-Стокса, уравнения энергии и уравнений турбулентного переноса в трехмерной постановке, записанных для слабосжимаемой среды. Результаты численного исследования температурного поля приведены в виде графика средней в сечениях температуры продуктов сгорания по всей высоте дымовой трубы (кривые 4 на рис. 1 и 2).

Расчетные формулы инженерной методики

№	Наименование	Формула или обозначение	Ед. изм.
1.	Коэффициент теплоотдачи от трубы наружному воздуху	$\alpha_n = -0,0007h^2 + 0,3327h = 20,02$	$\frac{Вт}{м^2К}$
2.	Средняя температура расчетной зоны	$T_{ср} = (T_{рас} + T_1)/2$	°С
3.	Коэффициент кинематической вязкости	$\nu = (0,000000036866T_{ср} + 0,0000127927)/\rho$	$\frac{м^2}{с}$
4.	Плотность дымовых газов	$\rho = -0,00279T_{ср} + 1,17979$	$\frac{кг}{м^3}$
5.	Средняя удельная теплоемкость дымовых газов	$c = 1108,48 + 0,21T_{ср}$	$\frac{Дж}{кгК}$
6.	Удельная теплоемкость дымовых газов в начале расчетной зоны	$c_1 = 1108,48 + 0,21T_1$	$\frac{Дж}{кгК}$
7.	Удельная теплоемкость дымовых газов в конце расчетной зоны	$c_2 = 1108,48 + 0,21T_{рас}$	$\frac{Дж}{кгК}$

№	Наименование	Формула или обозначение	Ед. изм.
8.	Теплопроводность дымовых газов	$\lambda_{др} = 0.00007565T_{ср} + 0.028851$	$\frac{Вт}{мК}$
9.	Средняя в сечении скорость дымовых газов	$v = \frac{4G}{\pi d^2 \rho}$	$\frac{м}{с}$
10.	Число Нуссельта [3]	$Nu = \frac{\xi Re Pr}{1 + \frac{900}{Re} + 1,27 \sqrt{\frac{\xi}{8}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)}$	
11.	Число Нуссельта [2]	$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,4}$	
12.	Число Нуссельта [1]	$Nu = 0,032 Re^{0,8} Pr^{0,3}$	
13.	Коэффициент теплоотдачи от дымовых газов трубе	$\alpha = \lambda Nu / d$	$\frac{Вт}{м^2 К}$
14.	Тепловой поток	$Q = \frac{\pi h_{пр} (T_{ср} - T_{ст})}{\frac{1}{\alpha d} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}$	
15.	Температура стенки	$T_{ст} = T_{ср} - \frac{Q}{\alpha \pi h_{пр} R_1}$	$^{\circ}C$
16.	Температура в конце расчетной зоны	$T = \frac{c_1 T_1}{c_2} + \frac{Q}{G c_2}$	$^{\circ}C$

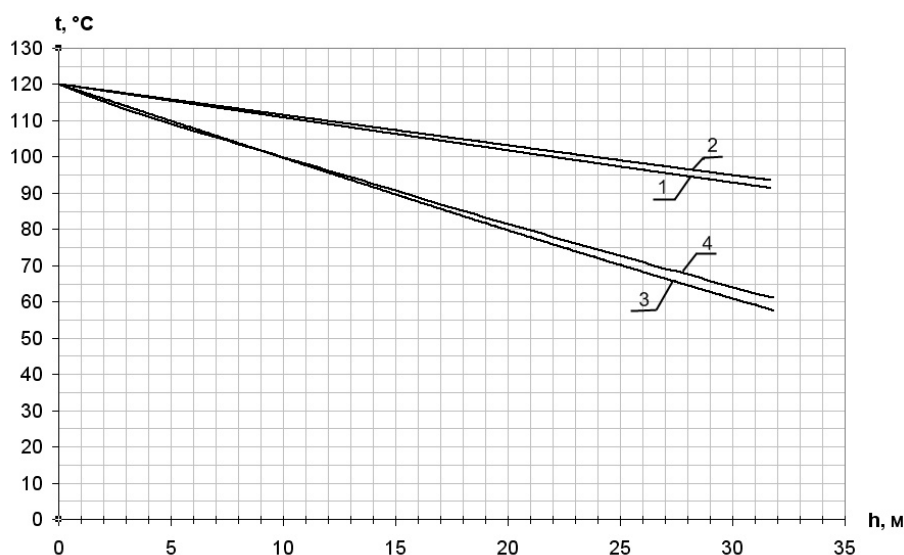


Рис. 1. График средних в сечении температур по высоте дымовой трубы при температуре наружного воздуха $t = -34^{\circ}C$ и использованных критериальных уравнениях теплообмена, принятых:
 1 – по [1]; 2 – по [2]; 3 – по [3]; 4 – численный расчет

Инженерный расчет проводился с помощью формул, приведенных в таблице. Из-за существенного изменения теплофизических параметров дымовых газов по высоте трубы необходимо осуществлять зонный принцип расчета, который предполагает усреднение параметров по высоте дымовой трубы в пределах каждой зоны.

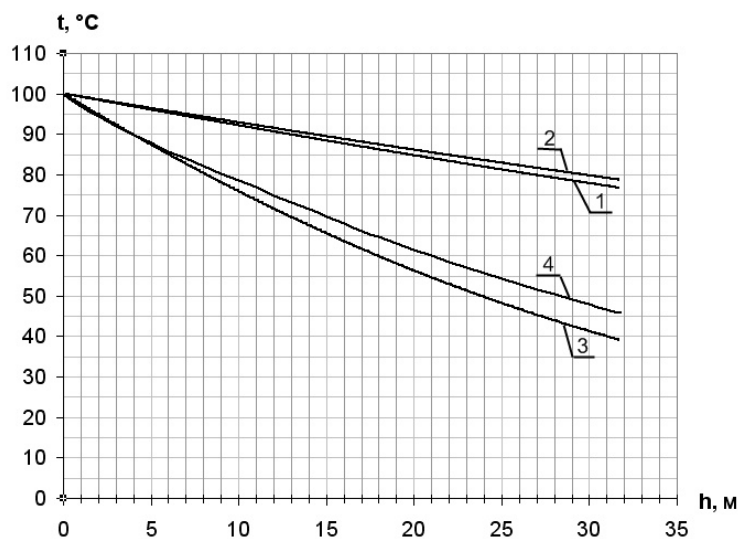


Рис. 2. График средних в сечении температур по высоте дымовой трубы при температуре наружного воздуха $t=+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и использованных критериальных уравнениях теплообмена, принятых: 1 – по [1]; 2 – по [2]; 3 – по [3]; 4 – численный расчет

Результаты численного моделирования имеют хорошую сходимость с результатами расчета с помощью инженерной методики при использовании критериального уравнения теплообмена по [3]. Результаты показывают, при использовании инженерных методик выбор вида критериального уравнения может существенно повлиять на результаты расчета, численный метод лишен этого недостатка.

Библиографический список

1. Дужих Ф.П., Ословский В.П., Ладыгичев М.Г. Промышленные и вентиляционные трубы: Справочное издание / Под редакцией Ф.П. Дужих. М.: Теплотехник, 2004. 464 с.
2. Теплотехника: учеб. для вузов/ В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер и др. Под ред. В. Н. Луканина. М.: Высш. шк., 1999. 671 с.
3. Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия: В 4 кн. / под общ. ред. чл.-кор. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. 4-е изд., стереотип. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. Кн. 2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник. 564 с.