

АВЕНТИЛЯЦИЯ ОТОПЛЕНИЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

1
2012

Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха,
теплоснабжение и строительная теплофизика

7 - 10 февраля

Aqua-Therm Moscow 2012

Пав.2 Зал. 8 Стенд D102

коллектор генератор арматура
вода водоснабжение
фанкойл сервис управление температура вентиль
труба отопление
монтаж душевая кабина насос котел инструмент
задвижка тепловентилятор системотехника
выбор технического совершенства бойлер
клапан кондиционер
муфта газ фитинг
радиатор канализация
регулирование вентилятор отопительный канал
конвектор горелка полотенцесушитель изоляция
ВЕНТИЛЯЦИЯ бойлер климатехника
москва • Санкт-Петербург • Екатеринбург • Краснодар • Новосибирск

ВИБОР ТЕХНИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВА

G Viega, Dreizer, KME, Wolf, Global
Giersch, Kampmann, Kermi, Coes, Walraven, Ewa, Rendamax, Banninger, Enervent, ActionClima, Reflex, MTR, Unidelta, SYR, Helios, Zehnder, Ari-Armaturen, ThermoFlex, Saunier, Duval, EKA, Grundfos, Marga, Oventrop

воздух
решетка
тройник
труба
крепёж
бак
пол

www.select.ru

+7 [499] 742-6022

Тепловая изоляция воздуховодов

В. М. Мананков, канд. техн. наук, технический специалист ЗАО «Завод «ЛИТ»»

Теплопотери и изменение температуры воздуха по длине теплоизолированного воздуховода определяют из уравнения теплового баланса. Начальная температура воздуха, поступающего в воздуховод, t_0 , температура воздуха в помещениях прокладки воздуховода t_e . Уравнение теплового баланса в произвольном сечении x на участке dx имеет следующий вид:

$$dQ = (t_x - t_e) dx / R_0 = cGdt, \quad (1)$$

где t_x – температура воздуха на расстоянии $0-x$, К (разности температур Δt в °С и в абсолютной шкале ΔT в К равны); c – теплоемкость воздуха, кДж/кг·К; G – расход воздуха, кг/ч; $R_0 = R_b + R_{из} + R_{вн}$ – сопротивление теплопередачи изоляционной конструкции, м·К/Вт; $R_{из} = \ln(d_{из}/d_b)/2\pi\lambda_{из}$ – термическое сопротивление слоя теплоизоляции; $d_{из}$ и d_b – внешние диаметры слоя теплоизоляции и стенки воздуховода соответственно, м; $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, Вт/м·К; $R_{вн} = (\pi d_{из} \alpha_{вн})^{-1}$ – сопротивление теплоотдачи изолированного воздуховода; $R_b = (\pi d_b \alpha_b)^{-1}$ – сопротивление теплоотдачи внутренней поверхности воздуховода, м·К/Вт; α_b и $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней и внешней изолированной поверхности воздуховода, $\alpha_{вн} = \alpha_l + \alpha_k$, α_l – коэффициент теплоотдачи излучением, α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией. Для металлического воздуховода термическое сопротивление его стенок пренебрежимо мало. Разделяя переменные и интегрируя от 0 до x и от t_0 до t_x и учитывая, что величина dt отрицательная (охлаждение воздуха), получим

$$\ln [(t_x - t_e)/(t_0 - t_e)] = -x/cGR_0 \quad (2)$$

или, обозначая $1/cGR_0 = A$,

$$t_x = t_e + (t_0 - t_e) - \exp(-Ax). \quad (3)$$

Среднее значение температуры воздуха на длине воздуховода $0 - x = L$ определяется по формуле

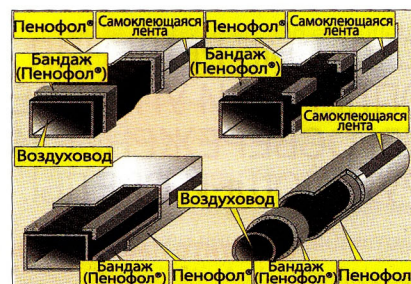
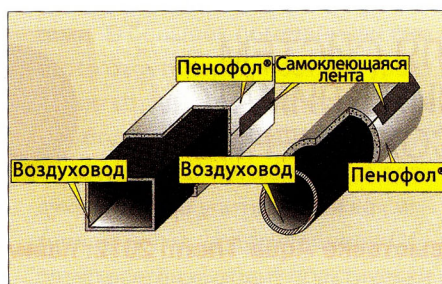
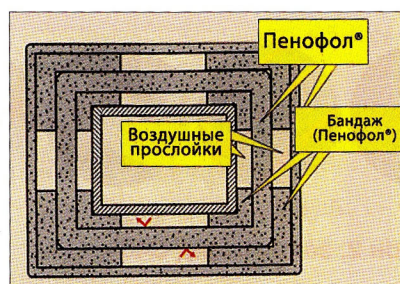
$$t_{cp} = t_e + (t_0 - t_e) [1 - \exp(-Ax)]/(Ax). \quad (4)$$

Эмпирические формулы для вычисления α_k могут отличаться друг от друга на 100 %, и поэтому величина α определяется опытным путем. В большинстве же случаев $\alpha \gg \lambda/\delta$, где $\delta = (d_{из} - d_b)/2$ – толщина теплоизоляционного материала, и ошибка в определении α в 100 % приводит к ошибке в оценке теплопотерь не более 10 %. Для типичных скоростей воздушных потоков $u = 3-18$ м/с режим движения воздуха в воздуховоде турбулентный и температурное поле по длине воздуховода практически не зависит от скорости потока, т.к. коэффициент теплоотдачи также почти пропорционален скорости движения воздуха $Nu = \alpha d/\lambda = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$, где d – определяющий размер; $Re = ud/\nu$ – число Рейнольдса; $Pr = \nu/a_p$ – число Прандтля; ν – кинематическая вязкость, м²/с; $a_p = \lambda/c_p \rho$ – коэффициент температуропроводности, м²/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³. Для определения коэффициентов теплоотдачи α_b воспользуемся следующими приближенными зависимостями: $\alpha_b = 2,3 + 11,6 u_b^{0,5}$, $\alpha_{вн} = 4,6 + 15 u_{вн}^{0,5}$, $\alpha_{вн} = 10,3 + 0,052(t_{из} - t_e)$ (для закрытых помещений). Зависимость для $\alpha_{вн}$ учитывает как конвективную, так и излучательную составляющие теплообмена внешней поверхности изолированного воздуховода.

Для воздуховодов прямоугольного сечения уравнение теплового баланса

$$dQ = K(tx - te)Pdx = cGdt, \quad (5)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К, $K = 1/R = 1/\alpha_b + \delta_{из}/\lambda_{из} + 1/\alpha_{вн}$; P – средний периметр



сечения воздуховода. Решением уравнения (5) будет также (3), где $A = KP/cG$. Значения α_v и $\alpha_{вн}$ те же, что и в (1). Среднее значение температуры воздуха по длине воздуховода определяется также по формуле (4).

Теплопотери изолированных воздуховодов на расчетной длине L определяются по формуле

$$Q = (t_{cp} - t_e)L/R_0 = 0,28cG(t_0 - t_L). \quad (6)$$

Для воздуховодов прямоугольного сечения теплопотери

$$Q = K(t_{cp} - t_e)S_p = 0,28cG(t_0 - t_L), \quad (7)$$

где $S_p = (S_v + S_{вн})/2$ – для воздуховодов прямоугольной формы и круглых с $S_{вн}/S_v < 2$. Значения $K = 1/R$ определяются по формуле

$$K = 0,28cG \ln [(t_0 - t_e)/(t_L - t_e)]/S_p. \quad (8)$$

Теплопотери (6) теплоизолированных воздуховодов уменьшаются непропорционально увеличению толщины слоя изоляции. При этом если поверхность изоляции покрыта отражающим слоем (алюминиевой фольгой), теплопотери минимальны.

Из уравнения (8) по заданному изменению температуры $\Delta t = t_0 - t_L$ определяем

$$K_p = 0,28cG \ln [(t_0 - t_e)/(t_L - t_e)]/S_p \text{ и } R_p = 1/K_p \quad (9)$$

и толщину изоляции

$$\delta_{из} = (R_p - R_v - R_{вн})\lambda_{из}. \quad (10)$$

Пример теплотехнического расчета воздуховода с теплоизоляционным покрытием

Определить: 1) изменение температуры воздуха при движении по воздуховоду (при заданных условиях); 2) теплопотери воздуховодом в помещении прокладки воздуховода; 3) толщину теплоизоляционного слоя, обеспечивающего изменение температуры воздуха на расчетной длине не более 5 °С.

Исходные данные

Параметры внутреннего воздуха в помещении прокладки воздуховода: $t_e = 15$ °С, влажностный режим – нормальный. Расход воздуха $G = 1200$ кг/ч = 1000 м³/ч (для стандартных условий). Температура воздуха на входе в воздуховод $t_0 = 45$ °С. Длина воздуховода $L = 100$ м. Размеры сечения воздуховода – 100×300 мм ($S_n = 0,03$ м²). Средний периметр сечения изолированного воздуховода $P = (P_v + P_{из})/2 = 0,88$ м. Скорость воздуха в воздуховоде $u_n = 9,26$ м/с. Материал воздуховода – листовая сталь ($\delta_{ст} = 2$ мм, $\lambda_{ст} = 50$ Вт/м·К). Материал теплоизоляции:

А. Стекло- и минвата, пенополистирол ($\delta_{из} = 20$ мм, $\lambda_{из} = 0,05$ Вт/м·К).

В. Вспененный каучук ($\delta_k = 20$ мм, $\lambda_k = 0,04$ Вт/м·К), ППУ ($\delta_{ппу} = 20$ мм, $\lambda_{ппу} = 0,028$ Вт/м·К).

Проведя вычисления, получим:

Для материала А: толщина теплоизоляции, обеспечивающая требуемое изменение температуры на длине L воздуховода, $\Delta t_p = 5$ °С, $K_p = 0,7$ Вт/м²·К, $R_p = 1,43$ м²·К/Вт; $\delta_{из} = 65$ мм.

Для материала В: толщина теплоизоляции, обеспечивающая требуемое изменение температуры на длине L воздуховода, $K_{рк} = 0,7$ Вт/м²·К; $K_{рппу} = 0,7$ Вт/м²·К; $R_{рк} = 1,43$ м²·К/Вт; $R_{рппу} = 1,43$ м²·К/Вт; $\delta_k = 52$ мм; $\delta_{ппу} = 36$ мм.

Теплотехнический расчет показывает, что наиболее энергоэффективным теплоизоляционным материалом (ТИМ) является пенополиуретан (ППУ). В то же время, такую же энергоэффективность, как ППУ, имеют воздуховоды с отражающей изоляцией типа «Пенофол» А и В (см. рис.). Они включают в себя элементы бандажа, чтобы создать замкнутую воздушную прослойку (ЗВП) между внешней поверхностью воздуховода и высокоотражающей поверхностью ОТИ, установленной вокруг воздуховода. Толщина ЗВП 10–15 мм. Элементы бандажа могут быть в виде продольных полос или радиальных колец (рис. 1, 2, 3). И плоская, и цилиндрическая воздушные прослойки имеют эффективную теплопроводность $\lambda_{эф}$, определяемую критериальным комплексом (Gr·Pr), где Gr и Pr – числа Грансгоффа и Прандтля соответственно. Поскольку коэффициент передачи излучением при наличии отражающей поверхности в ЗВП будет не более $\alpha_l \leq 0,4$ Вт/м²·К, то эквивалентная теплопроводность будет близка к теплопроводности воздуха $\lambda_{эkv}/\lambda_{воз} \geq 1$ ($\lambda_{воз} \approx 0,023$ – $0,028$ Вт/м·К при температурах 0–40 °С).

Учитывая, что в ППУ при замещении вспененного газа на воздух теплопроводность становится $\lambda_{ппу} \approx 0,035$ – $0,038$ Вт/м·К, ОТИ «Пенофол» является наиболее эффективным ТИМ для воздуховодов. При этом она легко устанавливается, паронепроницаема и в 5 раз дешевле ППУ и вспененного каучука при меньшей толщине теплоизоляционного слоя. ○

152020, Ярославская обл.,
г. Переславль-Залесский, ул. Советская, д.1



www.zavodlit.ru