

ПОДЭТАП 1.2. Теплотехнические расчеты теплоизоляционной конструкции

1.2.1. Расчет эквивалентной теплопроводности покровного слоя из ВПСТ теплоизоляционной конструкции

Конструкцию покровного слоя с газообразными включениями прямоугольной формы (рис.3а) можно представить в виде последовательно повторяющихся по длине трубопровода симметричных элементов, длиной $\ell = a + b$, состоящих из двух половинок. Одной длиной «а», состоящей из двух слоев материала покровного слоя, толщиной « δ_1 » и « δ_3 » и газовой прослойки толщиной δ_2 . Второй – длиной «в» из материала покровного слоя без газовой прослойки рис.3а и б.

Для расчета эффективной теплопроводности покровного слоя, с газовыми включениями « $\lambda_{н.с.}$ », Вт/м.час.°С, используется формула:

$$\lambda_{н.с.} = \frac{q_{ср.} \ell n \frac{d_T^n + 2(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_{из})}{d_T^n + 2\delta_{из}}}{2\pi\Delta t} \quad (1)$$

в которой: d_T^n - наружный диаметр трубопровода; $\delta_{из}$ - толщина изоляционного слоя; δ_1 , δ_2 , δ_3 - толщины прослоек покровного слоя, м (рис.3б); $q_{ср.}$ - усредненная плотность теплового потока через покровный слой, Вт/м, определяемая по формуле:

$$q_{ср.} = q_a \frac{a}{a + b} + q_b \frac{b}{a + b} \quad (2)$$

Входящая в (1) величина Δt усредненный перепад температур между внутренней и наружной поверхностями покровного слоя, °С, вычисляется из соотношения:

$$\Delta t = t(\delta_1) - t(\delta_3) \quad (3)$$

$$t(\delta_1) = \frac{t(\delta_{из}^n)^a + t(\delta_{из}^n)^b}{2} \quad (4)$$

$$t(\delta_3) = \frac{t(\delta_3^a)^a + t(\delta_3^a)^b}{2} \quad (5)$$

в которых: $t(\delta_1)$ – усредненная температура на внутренней поверхности покровного слоя, $t(\delta_3)$ – то же на наружной поверхности покровного слоя; $t(\delta_{из}^n)^a$; $t(\delta_{из}^n)^b$; $t(\delta_3^a)^a$; $t(\delta_3^a)^b$ - температура на границах слоев, °С, в соответствии с рис.3б.

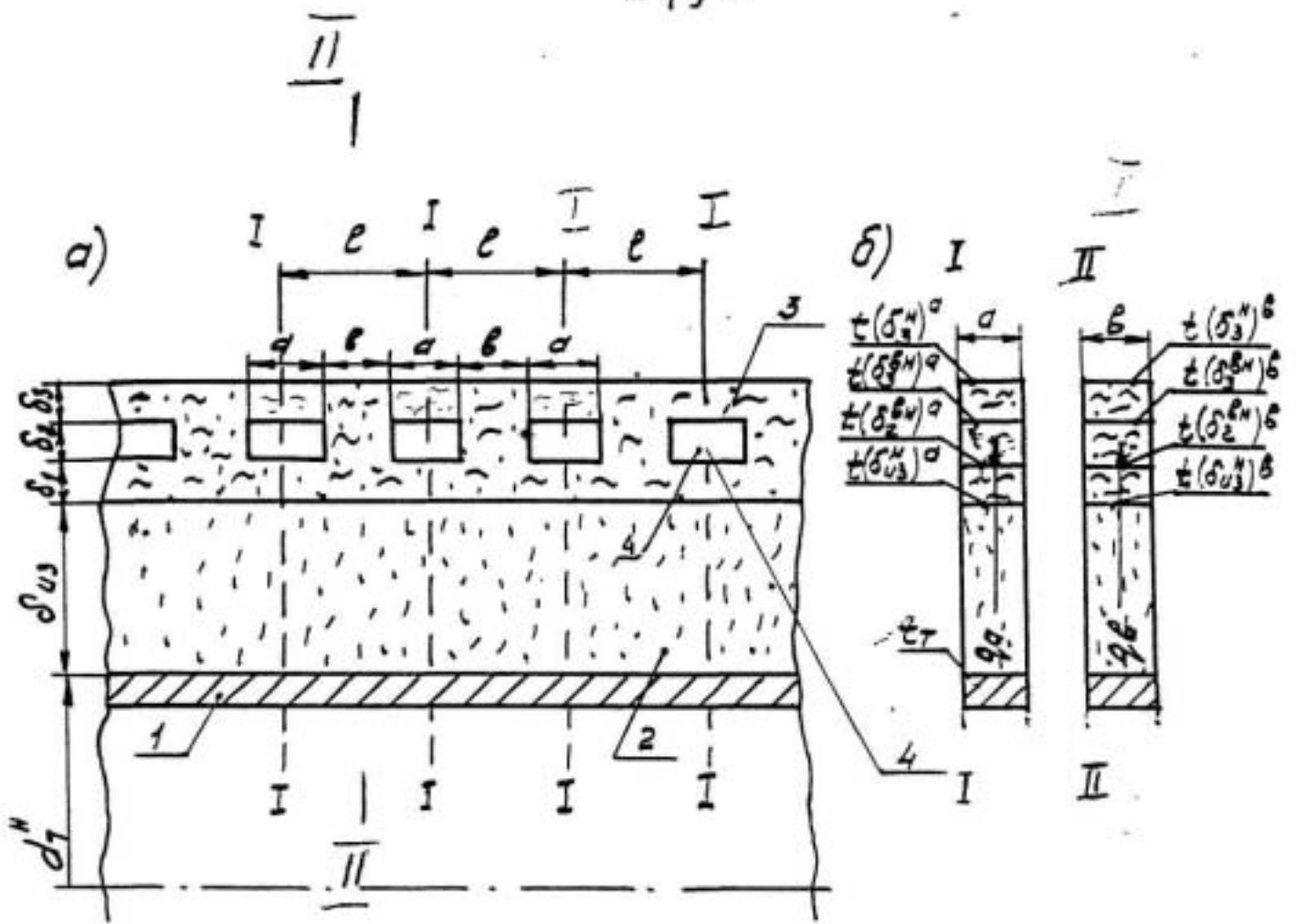


Рис. 3а Схема теплоизоляционной конструкции трубопровода;
 1 – трубопровод; 2 – теплоизоляция; 3 – материал покровного слоя;
 4 – газообразные включения

Рис. 3б. Схема расчетного элемента

Значения « q_a » и « q_b » - плотности теплового потока в двух половинках симметрично повторяющихся элементах теплоизоляционной конструкции длиной " l " (рис. 3 а), определяются по формулам:

$$q_a = \frac{t_T - t_H}{R_1^a + R_2^a + R_3^a + R_4^a + R_5^a} \quad (6)$$

$$R_1^a = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{вз}} \left[t_{\text{ср.вз}}^a = \frac{t_T + t(\delta_{\text{вз}}^{\text{вн}})^a}{2} \right]} \ell n \frac{d_T^{\text{вн}} + 2\delta_{\text{вз}}}{d_T^{\text{вн}}} \quad (7)$$

$$R_2^a = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{м}} \left[t_{\text{ср.м}}^a = \frac{t(\delta_{\text{вз}}^{\text{вн}})^a + t(\delta_{\delta_2}^{\text{вн}})^a}{2} \right]} \ell n \frac{d_T^{\text{вн}} + 2(\delta_{\text{вз}} + \delta_1)}{d_T^{\text{вн}} + 2\delta_{\text{вз}}} \quad (8)$$

$$R_3^a = \frac{1}{2\pi\lambda_2 \left[t_{\text{ср.с}_2}^a = \frac{t(\delta_{\text{вз}}^{\text{вн}})^a + t(\delta_2^{\text{вн}})^a}{2} \right]} \ell n \frac{d_T^{\text{вн}} + 2(\delta_{\text{вз}} + \delta_1 + \delta_2)}{d_T^{\text{вн}} + 2(\delta_{\text{вз}} + \delta_1)} \quad (9)$$

$$R_4^a = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{м}} \left[t_{\text{ср.с}_3}^a = \frac{t(\delta_{\text{вз}}^{\text{вн}})^a + t(\delta_2^{\text{вн}})^a}{2} \right]} \ell n \frac{d_T^{\text{вн}} + 2(\delta_{\text{вз}} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3)}{d_T^{\text{вн}} + 2(\delta_{\text{вз}} + \delta_1 + \delta_2)} \quad (10)$$

$$R_5^a = \frac{1}{\pi [d_T^{\text{вн}} + 2(\delta_{\text{вз}} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3)] \cdot \alpha} \quad (11)$$

$$q_b = \frac{t_T - t_H}{R_1^b + R_2^b + R_3^b + R_4^b + R_5^b} \quad (12)$$

$$R_1^b = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{вз}} \left[t_{\text{ср.вз}}^b = \frac{t_T + t(\delta_{\text{вз}}^{\text{вн}})^b}{2} \right]} \ell n \frac{d_T^{\text{вн}} + 2\delta_{\text{вз}}}{d_T^{\text{вн}}} \quad (13)$$

$$R_2^* = \frac{1}{2\pi\lambda_m [t_{cp\delta_1}^* = \frac{t(\delta_{из}^n)^\alpha + t(\delta_{\delta_2}^{en})^\alpha}{2}]} \ln \frac{d_T^n + 2(\delta_{из} + \delta_1)}{d_T^n + 2\delta_{из}} \quad (14)$$

$$R_3^* = \frac{1}{2\pi\lambda_m [t_{cp\delta_2}^* = \frac{t(\delta_2^{en})^\alpha + t(\delta_3^{en})^\alpha}{2}]} \ln \frac{d_T^n + 2(\delta_{из} + \delta_1 + \delta_2)}{d_T^n + 2(\delta_{из} + \delta_1)} \quad (15)$$

$$R_4^* = \frac{1}{2\pi\lambda_m [t_{cp\delta_3}^* = \frac{t(\delta_3^{en})^\alpha + t(\delta_4^{en})^\alpha}{2}]} \ln \frac{d_T^n + 2(\delta_{из} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3)}{d_T^n + 2(\delta_{из} + \delta_1 + \delta_2)} \quad (16)$$

в которых: t_r – температура наружной стенки трубопровода; t_n – температура окружающей среды; t_{cp} – средняя температура слоев материала; Δt_2 – разность температур поверхности газовой прослойки, °C; d_T^n ; δ – геометрические характеристики теплоизоляционной конструкции и покровного слоя, м(см. обозначения на рис. 3а и 3б); α – коэффициент теплоотдачи, ккал/м²час°C; $\lambda_{из}(t_{cp})$; $\lambda_m(t_{cp})$ – теплопроводность изоляции и материала покровного слоя в зависимости от средней температуры, Вт/м°С, вычисляемый из выражений:

$$\lambda_{из} = \lambda_{из}(t=0) + \beta_{из} \cdot t_{cp} \quad (17)$$

$$\lambda_m = \lambda_m(t=0) + \beta_m \cdot t_{cp} \quad (18)$$

где: $\beta_{из}$, β_m – температурные коэффициенты, Вт/м°С²; $R_1^* \dots R_4^*$; $R_1^* \dots R_4^*$ – термические сопротивления теплопередачи в теплоизоляционной конструкции, R_5^* – термическое сопротивление теплоотдаче с поверхности изоляции, Вт/м°С.

Перенос теплоты в газовых прослойках покровного слоя представляет собой сложный процесс, включающий собственно кондуктивную (молекулярную) теплопроводность газа, конвективный, молярный перенос за счет конвекции газа, вызываемый разностью температур поверхности газовых включений и радиационный перенос.

Обычно, общую теплопроводность газовых включений λ_r – представляют суммой:

$$\lambda_r = \lambda_{эф} + \lambda_p \quad (19)$$

где: $\lambda_{эф}$ – эффективная теплопроводность газовой прослойки, включающей кондуктивную теплопроводность и конвективную составляющую, Вт/м°С; λ_p – радиационная.

Используя рекомендации приведенные в монографии: Гребер Г, Эрк.с. и Гругль Ц «Основы учения о теплообмене». М 1958 г. получили:

$$\lambda_{эф} = \lambda_q(t_{cp2}) \left[1 + \frac{0,119(Gr \cdot Pr)^{1,27}}{(Gr \cdot Pr) + 14500} \right] \quad (20)$$

При использовании в качестве газа-воздуха нашли:

$$Gr \cdot Pr = A(P^2 \cdot \delta_2^3 \cdot \Delta t_{np}) \quad (21)$$

$$A = 38,3 \frac{(1 + \frac{113}{t_{cp} + 273})^2}{(\frac{t_{cp} + 273}{100})^4} \quad (22)$$

где: λ_q – кондуктивная теплопроводность воздуха, равная

$$\lambda_q = 0,0221[1 + 0,003(t_{cp} - 20)] \quad (23)$$

t_{cp} – средняя температур воздуха в прослойке, °C:

$$t_{cp} = \frac{t(\delta_2^{en})^a + t(\delta_3^{en})^a}{2} \quad (24)$$

Δt_{np} – перепад температур в воздушной прослойке, °C:

$$\Delta t_{np} = t(\delta_2^{en})^a - t(\delta_3^{en})^a \quad (25)$$

P – атмосферное давление, обычно – 10000 кг/м²;

δ_2 – толщина воздушной прослойки, м (рис. 1);

Pr – критерий Прандтля; Gr – критерий Грасгофа.

Радиационная составляющая теплопроводности воздушной прослойки λ_p , Вт/м°C определяется из выражения:

$$\lambda_p = \frac{q_p \cdot \ln \frac{d_T^a + 2(\delta_{вз} + \delta_1 + \delta_2)}{d_T^a + 2(\delta_{вз} + \delta_1)}}{2\pi[t(\delta_2^{en})^a - t(\delta_3^{en})^a]} \quad (26)$$

В формуле (26) q_p – плотность радиационного потока в газовой прослойке, Вт/м:

$$q_p = \frac{2\pi[d_T + 2(\delta_{вз} + \delta_1)]}{\frac{1}{C_{вн}} + \frac{d_T + 2(\delta_{вз} + \delta_1)}{d_T + 2(\delta_{вз} + \delta_1 + \delta_2)} (\frac{1}{C_n} - \frac{1}{C_s})} \cdot K[t(\delta_2^{en})^a - t(\delta_3^{en})^a] \quad (27)$$

где: $C_{вн}$; C_n ; C_s – коэффициенты излучательной способности поверхности газовой прослойки и абсолютно черного тела $C_{вн}=C_n=4,68$; $C_s=5,75$ Вт/м²К⁴;

K – температурная функция, определяемая выражением:

$$K = \frac{[t(\delta_1^{en})^a + 273]^3 + [t(\delta_2^{en})^a + 273]^2 \cdot [t(\delta_3^{en})^a + 273] + [t(\delta_2^{en})^a + 273] \cdot [t(\delta_3^{en})^a + 273]^2 + [t(\delta_3^{en})^a + 273]^3}{10^8} \quad (28)$$

В связи с тем, что теплофизические характеристики материала покровного слоя, изоляции и газовых включений зависят от температуры, расчет эффективной теплопроводности покровного слоя производится методом последовательных приближений, путем проведения последовательных пошаговых расчетных операций:

На первом шаге принимается, что температура всех элементов теплоизоляционной конструкции одинакова:

$$t_{cp} = \frac{t_T + t_H}{2} \quad (29)$$

При этих условиях, с помощью формул 6+19, при средней температуре по (29) принимая в качестве эффективной теплопроводности газовой прослойки $\lambda_{эф}$, значение λ_q по (23), а λ_p равной нулю определяются $q_a^{n=1}$ и $q_e^{n=1}$ и с помощью этих величин рассчитывается послойное распределение температур по основе следующих расчетных формул:

$$t(\delta_{из}^H)^a = t_T - q_a^{n=1} R_1^a; t(\delta_{из}^H)^e = t_T - q_e^{n=1} R_1^e \quad (30)$$

$$t(\delta_2^{6H})^a = t(\delta_{из}^H)^a - q_a^{n=1} R_2; t(\delta_2^{6H})^e = t(\delta_{из}^H)^e - q_e^{n=1} R_2 \quad (31)$$

$$t(\delta_3^{6H})^a = t(\delta_2^{6H})^a - q_a^{n=1} R_3^a; t(\delta_3^{6H})^e = t(\delta_2^{6H})^e - q_e^{n=1} R_3^e \quad (32)$$

$$t(\delta_3^{6H})^a = t(\delta_3^{6H})^a - q_a^{n=1} R_4^a; t(\delta_3^H)^e = t(\delta_3^{6H})^e - q_e^{n=1} R_4 \quad (33)$$

На втором шаге используя найденное n-первое распределение послойных температур с помощью формул (6+30) снова определяют $q_a^{n=2}$ и $q_e^{n=2}$ и по (2) величину усредненную плотность теплового потока через покровный слой $q_{cp}^{n=1}$ и затем по (1, 3+5) эффективную теплопроводность покровного слоя $\lambda_{эф}^{n=1}$.

В такой последовательности производят последующие операции. На каждом шаге, начиная с 2-го определяется величина:

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{n.c.}^n - \lambda_{n.c.}^{n-1}}{\lambda_{n.c.}^n} \quad (34)$$

при условии $\varepsilon \leq 0,05$ вычисления заканчиваются.

Входные данные для расчета:

1. Геометрические характеристики теплоизоляционной конструкции:
 d_r - наружный диаметр трубопровода, $\delta_{из}$ - толщина тепловой изоляции, $\delta_1; \delta_2; \delta_3, \ell, a, b, m$ (рис. 1).
2. Граничные условия:
 t_H - температура окружающей среды; t_T - температура трубопровода, °C; α - коэффициент теплоотдачи, $вт/м^2 \cdot C$;
 Теплофизические характеристики

$\lambda_{из}$, $\lambda_{м}$ – теплопроводность изоляции и материала покровного слоя при $t=0^{\circ}\text{C}$, $\text{Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$; $\beta_{из}$; $\beta_{м}$ – температурные коэффициенты изоляции и материала покровного слоя, $\text{Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}^2$; $C_{из}$; $C_{м}$; C_5 – коэффициенты излучательной способности поверхностей газовых включений, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{K}^4$; $\lambda_{г}$ – кондуктивная теплопроводность газа в прослойке, если в ней используется не воздух при температуре 20°C .

Результаты расчета выводятся на печать на последнем шаге итераций:

- Тепловые потоки: q_a , q_b , $q_{ср}$, $\text{Вт}/\text{м}$.
- Послойные температуры в конструкции, приведенные в формулах. 30-33.
- Теплопроводность покровного слоя $\lambda_{п.с.}$, $\text{Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$

Расчеты эквивалентных коэффициентов теплопроводности приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8

Расчетные значения эквивалентной теплопроводности ($\lambda_{п.с.}$) покровного слоя оболочек ВПСТ сортамента по таблице 8

d_c (мм)	D_n (мм)	H_n (мм)	$\lambda_{п.с.}$ $\text{Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$
530	670	10,1	0,098
630	770	12,8	0,1204
720	856	14,4	0,1313
820	948	16,1	0,0926
920	1051	17,9	0,1558
1020	1148	20,2	0,1725
1220	1343	23,4	0,1956

Таблица 9

Расчетные значения эквивалентной теплопроводности ($\lambda_{п.с.}$) покровного слоя из канализационных труб ВПСТ сортамента по таблице 9

d_c (мм)	D_n (мм)	H_n (мм)	$\lambda_{п.с.}$ $\text{Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$
426	560	14,0	0,122
530	710	14,0	0,122
630	800	19,0	0,1384
720	900	19,0	0,1376
820	1000	19,0	0,1377
920	1100	24,0	0,1612
1020	1200	24,0	0,1614
1220	1400	26,9	0,1760

Полученные расчетные значения эквивалентной теплопроводности использованы при последующем теплотехническом расчете толщины теплоизоляционного слоя из пенополиуретана трубной конструкции.

1.2.2. Теплотехнический расчет теплоизоляции из пенополиурена с наружной оболочкой из ВПСТ стальных труб двухтрубных тепловых сетей бесканальной прокладки

МЕТОДИКА

РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Потери тепла двухтрубной бесканальной подземной прокладкой, при одинаковых толщинах изоляции, $\delta_{из}$, м, покровного слоя, $\delta_{п.ст.}$, м, толщинах стенок, $\delta_{ст.}$, м, и диаметрах подающего и обратного трубопроводов, проложенных на глубине « H_E », м от поверхности земли до оси трубопроводов определяются по формуле:

$$q_1^L + q_2^L = \frac{\Sigma R(t_{s1} + t_{s2} - 2t_a) - R_o(t_{s1} - t_{s2} - 2t_a)}{(\Sigma R)^2 - R_o^2} \quad (1)$$

в которой R_o – термическое сопротивление, обусловленное тепловым взаимодействием двух труб:

$$R_o = \frac{\ell n \sqrt{1 + \left(\frac{2H_E}{K_{1,2}}\right)^2}}{2\pi\lambda_{sp}} \quad (2)$$

ΣR – общее термическое сопротивление тепловому потоку от внутренней среды (t_{s1} , t_{s2}) к окружающей среде, $^{\circ}C/вт$,

$$\Sigma R = R_{st}^L + R_{cm}^L + R_{из}^L + R_{п.ст.}^L + R_{sp}^{\delta} \quad (3)$$

В формулах (34, 35) H_E – глубина заложения бесканальной прокладки, м, $K_{1,2}$ – расстояние между осями труб по горизонтали, $R_{st}^L + R_{cm}^L + R_{из}^L + R_{п.ст.}^L$ – величины термических сопротивлений. R_{sp}^{δ} – термическое сопротивление грунта при бесканальной прокладке:

$$R_{sp}^{\delta} = \frac{1}{2\pi\lambda_{sp}} \ell n \left[\frac{2H_E}{d} + \sqrt{\left(\frac{2H_E}{d}\right)^2 - 1} \right] \quad (4)$$

где d – наружный диаметр изолированного трубопровода:

$$d = d_{st}^{cm} + 2(\delta_{cm} + \delta_{из} + \delta_{п.ст.}) \quad (5)$$

$$H_E = 0,7 + d_{st}^{cm} + \delta_{cm} + \delta_{из} + \delta_{п.ст.} + \frac{\lambda_{sp}}{\alpha_n} \quad (6)$$

$$K_{1,2} = d_{st}^{cm} + 2(\delta_{cm} + \delta_{из} + \delta_{п.ст.}) + t \quad (7)$$

РАСЧЕТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТОЛЩИН ИЗОЛЯЦИИ ДВУХТРУБНОЙ БЕСКАНАЛЬНОЙ ПРОКЛАДКИ ПО ЗАДАННОЙ, НОРМИРОВАННОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

следует производить с использованием уравнений:

$$(q_1^L + q_2^L)_i = \frac{\Sigma R i (t_{a1} + t_{a2} - 2t_n) - R_o (t_{a1} + t_{a2} - 2t_n)}{(\Sigma R i)^2 - R_o^2} \quad (8)$$

где: $\Sigma R_i = R_{en}^L + R_{cm}^L + R_{os}^L + R_{n.ct.}^L + R_{sp.}^{\delta}$ (9)

$$R_{sp.}^{\delta} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ub}} \ln \left[\frac{2H_{\delta_i}}{d_i} + \sqrt{\left(\frac{2H_{\delta_i}}{d_i}\right)^2 - 1} \right] \quad (10)$$

$$H_{\delta_i} = 0,7 + d_{en}^{cm} + \delta_{cm} + \delta_o \cdot i + \delta_{n.ct.} + \frac{\lambda_{sp}}{\alpha_n} \quad (11)$$

R_{en}^L, R_{cm}^L - по (23); $R_{os}^L, R_{n.ct.}^L$ - по (24)

$$R_o = \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2H_{\delta_i}}{K_{1,2}}\right)^2}}{2\pi\lambda_{sp}} \quad (12)$$

$$K_{1,2i} = d_{en}^{cm} + 2(\delta_{cm} + \delta_o \cdot i + \delta_{n.ct.}) + t \quad (45)$$

Распределение температур в теплоизоляционной конструкции бесканальной прокладки, определенной толщине изоляции рассчитывается следующим образом. Сначала определяются тепловые потоки через теплоизоляционную конструкцию подающего и обратного трубопровода:

$$q_1^L = \frac{(t_{a1} - t_n) \cdot \Sigma R - (t_{a2} - t_n) \cdot R_o}{(\Sigma R)^2 - R_o^2} \quad (13)$$

$$q_2^L = \frac{(t_{a2} - t_n) \cdot \Sigma R - (t_{a1} - t_n) \cdot R_o}{(\Sigma R)^2 - R_o^2} \quad (14)$$

с использованием значений R_o ; ΣR ; $R_{sp.}^{\delta}$, найденных по (2-7), затем находится распределение температур в теплоизоляционной конструкции подающего (по q_1^L) и по (q_2^L) обратного трубопровода.

Компьютерные расчеты толщины теплоизоляционного слоя ППУ производились при следующих исходных данных: температура наружной среды- минус 3,2°С, расчетная среднегодовая температура теплоносителя в трубопроводе подающем- 90°С, обратном- 50°С, коэффициент теплоподачи на внутренней поверхности трубопровода- 1500 Вт/м²С, на поверхности- 30 Вт/м²С, теплопроводность ППУ-0,036 Вт/мС теплопроводность оболочки- по таблице 10, теплопроводность грунта- 1,86 Вт/мС, расстояние в свету между изолированными трубопроводами- 0,2м.

Нормы плотности теплового (q_n) потока при расчете толщины теплоизоляции принимались по новой редакции СНиП 44-03-2003 (табл. 13).

В таблице 10 приведены результаты расчетов толщины теплоизоляционного слоя ППУ по нормам плотности теплового потока СНиП и рекомендуемый оптимальный сортament теплоизолированных труб.

Таблица 10

$d_{ст}$ (мм)	D_n (мм)	q_n Вт/м	Толщина ППУ (мм) S
530	670	144	60
630	770	167	57
720	856	188	54
820	978	211	48
920	1015	234	48
1020	1116	258	44
1220	1343	304	38

В таблице 11 приведены результаты расчетов значений тепловых потоков, исходя из соотношения диаметров стальных труб и оболочек из канализационных ВПСТ труб из ПНД, выпускаемых «Бородино-Пласт» по ГОСТ 30732-2001.

Таблица 11

$d_{ст}$ (мм)	D_k (мм)	$S_{ППУ}$ (мм)	Плотность теплового потока для трубопровода, q Вт/мС	
			подающего	обратного
426	560	53,0	89,4 (119)	44,0 (50)
530	710	76,0	83,8 (144)	42,0 (61)
630	800	66,0	103,0 (167)	50,0(71)
720	900	71,0	109,0(188)	53,0 (80)
820	1000	71,0	120,0 (211)	57,0 (90)
920	1100	71,0	130,0(234)	61,0(101)
1020	1200	66,0	146,0 (258)	67,0(110)
1220	1400**	63,0	169,0 (304)	75,0 -

Примечание: * - нормы плотности теплового потока по новой ред. СНиП (табл. 13).

** - при высоте нестандартного профиля 27 мм

Из таблицы 11 следует, что расчетные значения плотности теплового потока при толщинах теплоизоляционного слоя ППУ диктуемых соотношением наружных диаметров стальных труб и диаметрами труб-оболочек из ВПСТ по ГОСТ 30732-2001 значительно меньше нормативных (для подающего трубопровода – на 25÷44%), что, следовательно, такая теплоизоляционная конструкция трубопроводов значительно экономит теплоэнергию, но является более дорогостоящей из-за перерасхода полиэтилена и пенополиуретана.

Были также дополнительно проведены расчеты значений тепловых потоков конструкции теплоизоляции, размеры которой продиктованы имеющейся в Бородино-пласт технологической оснасткой, а именно диаметрами барабана, определяющими внутренние диаметры ВПСГ и фильерами.

Указанные размеры определяют нестандартные наружные диаметры оболочек из ВПСГ. Результаты расчетов приведены в табл.12.

Таблица 12

d ст(мм)	Dп (мм)	S ппу(мм)	Расчетная плотность теплового потока для трубопровода, q(Вт/мс)	
			подающего	обратного
426	628	87	65	34
630	728	35	152	66,5
720	838	40	151	67
820	1038	90	103	51
920	1038	40	178	76
1020	1248	90	121	58
1220	1354	40	215	86

Из таблицы 12 видно, что для диаметров подающего теплопровода (dст, Dп) 426×628 мм. Значения q ниже нормы СНиП в 1,8 раза; 530×628 630×728 = 1,1 раза; 720×838 = 1,2 раза 920×1038 = 2 раза; 920×1038 = 1,3 раза; 1020×1248 = 2,1 раза; 1220×1354 = 1,4 раза.

При таких размерах конструкции теплоизоляции трубопроводов достигается значительная экономия тепловой энергии за счет увеличения стоимости самой конструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные прочностные и теплотехнические расчеты теплоизоляционной конструкции стальных труб, состоящей из полиэтиленовой оболочки витой с полый стенкой- (ВПСТ) и пенополиуретана (ППУ), предназначенные для бесканальной прокладки тепловых сетей установили следующее:

- В качестве покровного слоя (оболочек) теплоизоляции из ППУ возможно использовать оболочки из ВПСТ специального сортамента кольцевая жесткость которых равноценна кольцевой жесткости сплошных полиэтиленовых оболочек по ГОСТ 30732-2001 (см. табл. 5 отчета), но на ~ 47% экономичней по массе, что заметно удешевляет теплоизоляционную конструкцию.

- В случае возможности использования канализационных труб ВПСТ «Бородино-Пласт» для оболочек теплоизоляции с наружным диаметром соответствующим наружным диаметром сплошных полиэтиленовых оболочек по ГОСТ 30732-2001 и общей толщиной стенки определяемой имеющейся технологической оснасткой «Бородино-Пласт» (кольцевая жесткость несколько больше жесткости сплошных полиэтиленовых оболочек) масса оболочек меньше от 3% (при диаметре 560мм) до 25% (при диаметре 1200мм)

Расчетные эквивалентные значения теплопроводности полиэтиленовых оболочек ВПСТ составляют в зависимости от типоразмеров от 0,098 до 0,1956 Вт/м.

Расчетная толщина теплоизоляционного слоя ППУ конструкции с оптимальными типоразмерами оболочек ВПСТ, теплотери которых равны нормам теплового потока для трубопроводов бесканальной прокладки по новому СНиП 41-03.....-2003 составляет от 60мм при диаметре стальных труб 426мм до 78мм при диаметре 1220мм.

Расчетные тепловые потери теплоизолированного трубопровода для полиэтиленовых оболочек, отвечающих по наружному диаметру ГОСТ 30732-2001, и толщинах оболочек из канализационных труб ВПСТ с кольцевой жесткостью, большей кольцевой жесткости сплошных полиэтиленовых оболочек по ГОСТ 30732-2001, составляют от 89,4 Вт/м (при диаметре стальной трубы 426мм) до 169 Вт/м (при диаметре 1220мм), что на 25-44% меньше нормативных по СНиП 41-03.....-2003 (табл.11).

Таким образом при освоении производства полиэтиленовых оболочек ВПСТ специального оптимального сортамента достигается экономия полиэтилена на 47% (в сравнении со сплошными полиэтиленовыми оболочками) и экономия пенополиуретана, что значительно удешевляет теплоизоляционную конструкцию.

При использовании уже освоенных «Бородино-Пласт» канализационных труб ВПСТ в качестве оболочек теплоизоляции теплоизоляционная конструкция обеспечивает экономию теплотерь на 25-44% по сравнению с нормированными СНиП 41-03....-2003, но ее стоимость сопоставима со стоимостью теплоизоляционной конструкцией по ГОСТ 30732-2001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Переводные материалы с корейского языка «Двуслойные полиэтиленовые трубы PE YI» (переданы ООО «Бородино-Пласт»).
2. Технические условия «Трубы из полиэтилена витые с полой стенкой», ТУ 2248-004-45726757-02 (ООО «Бородино-Пласт»).
3. Свод правил «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов». Общие требования. СП 40-102-2000.
4. **О Т Ч Е Т О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ПО ТЕМЕ «ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ, РАЗРАБОТКА
НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ (НТД) НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ И
ПРИМЕНЕНИЕ ВИТЫХ С ПОЛОЙ СТЕНКОЙ (ВПСТ) ТРУБ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (ПНД)»**
Раздел I. Проведение исследований и испытаний, разработка НТД на изготовление и применение ВПСТ для подземных сетей водоотведения
Этап 1. Проведение исследований и испытаний ВПСТ диаметром 630-1800 мм
(промежуточный)
5. **О Т Ч Е Т О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ПО ТЕМЕ «ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИСПЫТАНИЙ, РАЗРАБОТКА
НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ (НТД) НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ И
ПРИМЕНЕНИЕ ВИТЫХ С ПОЛОЙ СТЕНКОЙ (ВПСТ) ТРУБ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА
НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ (ПНД)»**
Раздел I. Проведение исследований и испытаний, разработка НТД на изготовление и применение ВПСТ для подземных сетей водоотведения
Этап 3. Проработка конструкций и испытание соединений канализационных ВПСТ труб между собой и их присоединение к железобетонным колодцам
(промежуточный)