

Выводы. Сегодня определены основные характеристики бетона и арматуры, найдены значения прочности, деформативности и трещиностойкости неусиленных и усиленных контрольных образцов железобетонных балок.

В дальнейшем стоит задача испытания третьей, четвертой и пятой серии балок циклическим нагружением (табл. 1).

1. Барашиков А.Я., Подольский Д.М., Сирота М.Д. Надежность восстанавливаемых и усиливаемых конструкций зданий и сооружений. – Черкассы: Фотоприбор, 1993. – 46 с. 2. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований / А.Б. Гольшев, П.И. Кривошеев, П.М. Козелецкий и др. – К.: Логос, 2004. – 219 с. 3. Валовой О.И. Еременко О.Ю. Порівняння ефективності варіантів підсилення залізобетонних елементів, що працюють на згин // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне. – 2006, № 14. – С. 455–461. 4. Бондаренко Г.Н. Обычные и высокопрочные бетоны на заполнителях из отходов ГОК // Бетон и железобетон, 1975, № 3. – С. 6–8. 5. Валовой А.И. Влияние кратковременных переменных нагрузок на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных элементов из бетонов на отходах обогащения железных руд / Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – К.: КИСИ, 1986. – 20 с. 6. Василькова Г.А., Стороженко Г.Т. Бетони на основі відходів гірничозбагачувальних комбінатів // Буд. матеріали і конструкції, 1970, № 6. – С. 8–9. 7. Шевченко Б.Н. Исследование прочности и деформативности предварительно напряженных железобетонных элементов, изготовленных на мелких заполнителях – отходах горно-обогатительных комбинатов: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. – К.: КИСИ, 1980. – 20 с.

УДК 697.34

В.І. Венгльовський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ПЕРЕВІРОЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ТРУБОПРОВІДІВ БЕЗКАНАЛЬНОГО ПРОКЛАДАННЯ

© Венгльовський В.І., 2010

Розглянуто методику теплового розрахунку трубопроводів теплових мереж. Наведено результати досліджень роботи теплових мереж і мереж гарячого водопостачання з використанням попередньо теплоізованих трубопроводів.

Ключові слова: теплові мережі, тепла ізоляція.

In this article the thermal design procedure of pipe systems of thermal networks is considered. The investigations results work of thermal networks and networks of water supply with use preliminary heat – insulated pipelines are presented.

Keywords: thermal network, thermal insulation.

Постановка проблеми Надійність, довговічність й ефективність систем теплопостачання (СТ) можна підвищити за рахунок впровадження енергоощадних технологій і обладнання як при новому проектуванні, так і при реконструкції цих систем і при їх експлуатації. Наявні СТ потребують істотного оновлення [1–12].

Треба відмовитися від центральних теплових пунктів (ЦТП) і перейти до індивідуальних (ІТП) в окремих будівлях і спорудах чи в їх частинах. Заміна зовнішніх розподільних каналних мереж безканалні з попередньо ізованими трубопроводами, зменшення кількості трубопроводів, покращання ізоляції знизить тепловтрати і вартість теплових мереж, скоротить витрати електроенергії на перекачування теплоносіїв. Для двотрубних СТ у будинках треба використати компактні двофунк-

ціональні теплові пункти. Останні мають високопродуктивні пластинчасті підігрівники, безшумні відцентрові електроприводні помпи із регульованим подаванням і напором, засоби автоматики і контрольно-вимірювальні пристрої для регулювання і реєстрації параметрів теплоносіїв.

Ізоляцію зовнішніх поверхонь трубопроводів систем теплопостачання потрібно виконувати за чинними будівельними нормами [3–7, 11, 12], за якими товщина ізоляційного шару зовнішніх поверхонь обладнання і трубопроводів залежно від способу прокладання повинна задовольняти різні умови: задане зниження температури теплоносія, задану температуру на поверхні ізоляції, задану величину щільності теплового потоку тощо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій Теплові мережі (ТМ) і мережі гарячого водопостачання є сьогодні найненадійнішою ланкою в СТ, оскільки ступінь їх зношеності досяг критичних меж і становить 60–80 %. Окрім морального старіння, в цих мережах через малоефективну ізоляцію втрачається до 50 % виробленої теплоти.

Трубопроводи, які відпрацювали свій ресурс, потрібно замінити на нові за чинними державними стандартами [3, 7]. Ці стандарти врахували вимоги європейських норм і є їх аналогами. Однак попередньо ізольовані трубопроводи, крім переваг, мають і недоліки. Уже в перші роки експлуатації в теплових мережах виникають аварійні ситуації, пов'язані із витіканням теплоносія. Причинами цього є неякісне зварювання труб, а для сталевих провідних труб – корозія внутрішніх поверхонь. Перспективними є алюмокерамічні і силікатомалеві покриття сталевих труб, які можна наносити як в заводських умовах, так і в умовах прокладань на трасі. Ці покриття забезпечують високу хімічну і механічну стійкість трубопроводів. Силікатомалеве покриття зменшує відкладання накипу і коефіцієнт абсолютної еквівалентної шорсткості на внутрішній поверхні труб, а водночас і втрати тиску при транспортуванні теплоносіїв. Сталеві труби з такими покриттями придатні до попередньої пінополіуретанової ізоляції, а також для високотемпературної до 180 °С при робочому тиску до 1,6 МПа.

Останніми роками в Україні оновилися і продовжує оновлюватися нормативна база з теплопостачання [3–7]. Проектування, монтаж, приймання в експлуатацію й експлуатація зовнішніх теплових мереж (ТМ) і мереж гарячого водопостачання із використанням попередньо теплоізольованих спініним поліуретаном повинні виконуватися відповідно до прийнятих настанов [3, 5–7, 11]. Відповідно до стандарту трубопроводи мають провідну трубу, теплову ізоляцію і покривну спіральну-виту металеву або пластмасову циліндричну або гофровану оболонку.

Числовий аналіз втрат теплоти одиничного трубопроводу, прокладеного в непрохідному каналі, виконаний в умовах повного або частинного затоплення, наведений у [8]. Показано, що для оцінки тепловтрат можна використати двовимірну або одновимірну модель такого трубопроводу. У попередньо ізольованих трубопроводах такі умови можуть виникнути лише при порушенні герметичності покривної оболонки.

Тепловий розрахунок двох трубопроводів в непрохідному каналі розглянуто в [2]. Для знаходження питомих теплових потоків і товщини ізоляції використано рівняння теплового балансу. Товщину ізоляції трубопроводів знайдено наближено.

Нормативні документи [11, 12] встановлюють лише вимоги до розрахунку товщини ізоляції, але самої методики не містять.

Формулювання цілі статті. Потрібно знайти питомі теплові потоки трубопроводів теплових мереж і мереж систем гарячого водопостачання підземного прокладання зі сталевими й пропіленовими провідними трубами з поліетиленовими оболонками і розрахувати товщину ізоляції цих трубопроводів з умови допустимого питомого теплового потоку.

Виклад основного матеріалу Труби виду СТ/ПЕ і ПП/ПЕ (рис. 1), попередньо теплоізольовані спініним поліуретаном (ПППУ), використовують для мереж гарячого водопостачання й теплових мереж безканального прокладання, а СТ/НМ і ПП/НМ для надземного [6]. По цих трубопроводах транспортують воду й водяну пару з максимальним робочим тиском, не вищим за 1,6 МПа, з температурою, не вищою, ніж 140 °С, при сталому режимі експлуатації й з температурою, не вищою за 150 °С, при пікових навантаженнях, які не перевищують 240 год на рік.

Труби видів РЕ-Х/ПЕ і РЕ-Х insul PE із структурованого поліетилену з тепловою ізоляцією зі спіненого поліетилену і захисною гофрованою поліетиленовою оболонкою для мереж холодного

і гарячого водопостачання та водяного опалення використовують для транспортування води з температурою, не вищою за 100°C, і тиском до 1,0 МПа.

Конструктивно труби видів РЕ-Х/ПЕ нерозбірні і мають одну або дві труби в оболонці, а труби видів РЕ-Х insul PE являють собою вироби типу “труба в трубі”, мають одну, дві або чотири провідні труби, закладені у центральний шар ізоляції, а тоді цей шар разом із трубами поміщають у зовнішній ізоляційний шар (рис. 2, 3) з оболонкою РЕ. Провідні труби РЕ-Х не зв’язані з центральним шаром ізоляції і мають переміщатися одна відносно іншої всередині оболонки під дією осьових сил, зовнішній і центральний шар ізоляції не зв’язані між собою. Із центральним шаром ізоляції не зв’язані також провідні труби. Отже, труби можуть переміщатися в осьовому і радіальному напрямках. Радіальні переміщення провідних труб відбуваються за рахунок пружних деформацій зовнішнього і внутрішнього шарів ізоляції, тому такі трубопроводи є самокомпенсуючими і не потребують компенсаторів. Випускаються труби діаметром до 110 мм. Труби видів РЕ-Х insul PE поставляються в бухтах завдовжки до 200 м.

Трубопроводи цих видів являють собою багатошарові конструкції і для розв’язання поставлених задач розглянемо поширення теплоти в них. В окремому шарі багатошарового трубопроводу поширення теплоти описується рівнянням теплопровідності в циліндричній системі координат

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

Для поставленої задачі нам достатньо розглянути стаціонарний процес теплопровідності з граничними умовами на внутрішній $r=r_1$, $t=t_1$ і зовнішній $r=r_2$, $t=t_2$ поверхнях, які не залежать від координати ϕ . За цих умов у рівнянні (1) залишаться лише перші два члени і його можна подати в формі

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = 0. \quad (2)$$

З урахуванням граничних умов після інтегрування рівняння (2) отримуємо його загальний розв’язок у вигляді

$$t(r) = t_1 + (t_2 - t_1) \frac{\ln \frac{r}{r_1}}{\ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (3)$$

Розподіл температури в циліндричному шарі є логарифмічною функцією радіуса r . Густина теплового потоку з урахуванням (3) становитиме

$$q_m = \frac{\lambda}{r} \frac{(t_1 - t_2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{d}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (4)$$

Питомі втрати теплоти багатошарового із n шарів трубопроводу будуть

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{1}{2\pi} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}}. \quad (5)$$

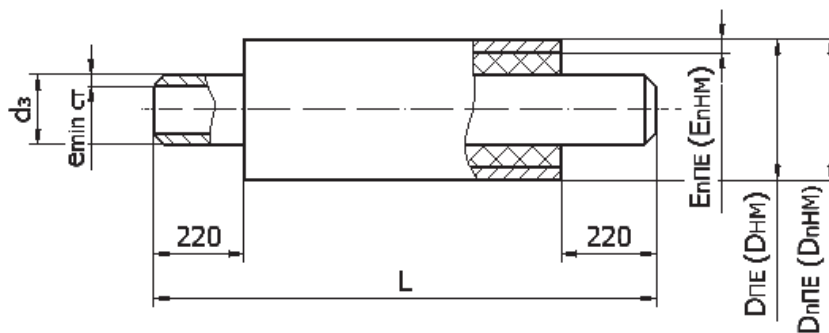


Рис. 1. Труба виду СТ/ПЕ і СТ/НМ

Питомі втрати теплоти q_1, q_2 , Вт/м, подавального і зворотного трубопроводів видів СТ/ПЕ [6, 7] при двотрубному прокладанні визначаються за формулами:

$$q_1 = \frac{(t_{w1} - t_{qr})(r_{k,2} + r_{qr}) - (t_{w2} - t_{qr})r_{inf}}{(r_{k,1} + r_{qr})(r_{k,2} + r_{qr}) - r_{inf}^2}, \quad (6)$$

$$q_2 = \frac{(t_{w2} - t_{qr})(r_{k,1} + r_{qr}) - (t_{w1} - t_{qr})r_{inf}}{(r_{k,1} + r_{qr})(r_{k,2} + r_{qr}) - r_{inf}^2}, \quad (7)$$

де t_{w1}, t_{w2}, t_{qr} – відповідно температури теплоносія в подавальному, зворотному трубопроводах і у ґрунті.

Термічний опір ізоляційного шару, м·К/Вт, подавального $r_{k,1}$ і зворотного $r_{k,2}$ трубопроводів знаходимо як

$$r_{k,1} = r_{k,2} = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_3 + 2\delta_k}{d_3} = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{D_{ПЕ} - 2E_{nПЕ}}{d_3}, \quad (8)$$

де $d_3 + 2\delta_k = D_{ПЕ} - 2E_{nПЕ}$ – зовнішній діаметр ізоляційного шару.

Термічний опір ґрунту, м·К/Вт, при $h_0/D_{ПЕ} > 2$ можна знаходити за виразом

$$r_{qr} = \frac{1}{2\pi\lambda_{qr}} \ln \frac{4h_0}{D_{ПЕ}}, \quad (9)$$

де h_0 – глибина закладання осі трубопроводу.

Додатковий термічний опір $r_{вн} = r_{inf}$ взаємного впливу, м·К/Вт, трубопроводів знаходимо за виразом

$$r_{вн} = r_{inf} = (2\pi\lambda_{ep})^{-1} \ln \left(\sqrt{1 + \left(\frac{2h_0}{l} \right)^2} \right), \quad (10)$$

де l – міжосьова віддаль трубопроводів.

Знайдені значення q_1 і q_2 , Вт/м, порівнюємо із допустимими $[q_{T1}]$ і $[q_{T2}]$, задовольняючи умови: $q_1 \leq [q_{T1}]$ і $q_2 \leq [q_{T2}]$.

При розрахунку питомих втрат теплоти трубопроводів виду ПП/ПЕ такого прокладання треба враховувати у виразах (6), (7) термічний опір провідної труби $r_{ПП}$. Загальний опір – $r_{k,1(k,2)} + r_{qr}$, а $r_{ПП} + r_{k,1(k,2)} + r_{qr}$.

Питомі втрати теплоти q , Вт/м, подавального Т1 чи зворотного Т2 трубопроводів ПП/ПЕ при двотрубному безканалному прокладанні знаходять за виразом

$$q = \frac{t_{w1} + t_{w2} - 2t_{qr}}{2(r_{ПП} + r_k + r_{ПЕ} + r_{qr} + r_{inf})}, \quad (11)$$

де t_{w1}, t_{w2} – температури теплоносія в подавальному й зворотному трубопроводах; термічний опір провідної труби та оболонки дорівнює

$$r_{ПП} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ПП}} \ln \frac{d_{nПП}}{d_{nПП} - 2e_{nПП}}, \quad (12)$$

$$r_{ПЕ} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ПЕ}} \ln \frac{D_{ПЕ}}{D_{ПЕ} - 2E_{nПЕ}}. \quad (13)$$

Величиною термічного опору поліетиленової труби (вираз (13)) як малою можна знехтувати. Термічні опори ізоляції, ґрунту і взаємного впливу обчислюють за формулами (8)–(10).

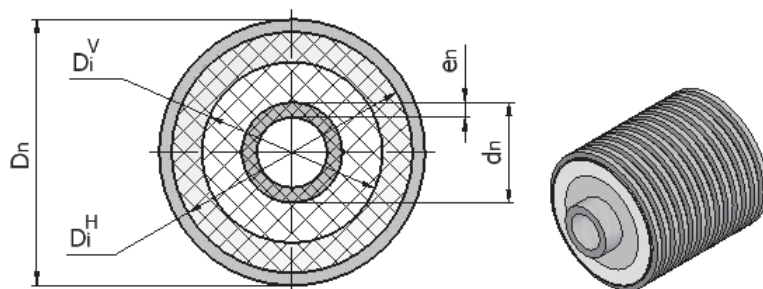


Рис. 2. Поперечний переріз труби PE-X insul PE-O і труби PE-X insul PE-B

Термічний опір трубопроводів видів PE-X/ПЕ, PE-X insul PE (рис. 2, 3) з одним, з двома або чотирма провідними трубами в одній оболонці знаходимо як суму термічних опорів окремих труб

$$r_{\text{ТР}} = \sum_{i=1}^n r_i = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{PE}}} \sum_{i=1}^n \ln \frac{d_{3i}}{d_{\text{Bi}}}, \quad (14)$$

де λ_{PE} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб, d_{3i} , d_{Bi} – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри труб, що утворюють пакет.

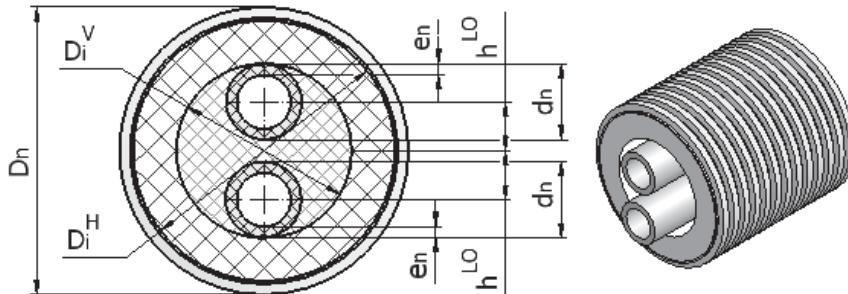


Рис. 3. Поперечний переріз труби PE-X insul PE-O-2

Еквівалентний діаметр знаходимо через діаметри провідних труб

$$d_{\text{екв}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_{3i}^2}. \quad (15)$$

Термічний опір ґрунту

$$r_{\text{гр}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{гр}}} \ln \frac{4h_0}{D_n}, \quad (16)$$

де D_n – зовнішній діаметр оболонки трубопроводу.

Термічний опір ізоляції

$$r_k = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{D_n}{d_{\text{екв}}}, \quad (17)$$

Середня температура води в умовній трубі з діаметром $d_{\text{екв}}$ визначається за формулою:

$$t_{\text{сер}} = \sum_{i=1}^n (t_{wi} \cdot \lambda_i), \quad (18)$$

де t_{wi} – температура води в i -й трубі пакета; λ_i – коефіцієнт, що визначається відношенням

$$\lambda_i = \frac{d_{3i}^2}{d_{\text{екв}}^2}. \quad (19)$$

Питомі втрати теплоти трубопроводу

$$q = \frac{(t_{\text{сер}} - t_H)}{r_{\text{ТР}} + r_k + r_{\text{гр}}}. \quad (20)$$

Товщину ізоляції трубопроводів виду СТ/ПЕ δ_{i3} знаходимо з умов допустимого теплового потоку

$$\delta_{i3} = 0,5d_3 \left[\exp 2\pi\lambda_{i3} (r_{3a2} - r_{2p} - r_{en} - 0,5(\pi\lambda_{n.u})^{-1} \ln(1 + \frac{\delta_{n.u}}{0,5d_3 + \delta_{i3}})) - 1 \right], \quad (21)$$

де d_3 – зовнішній діаметр трубопроводу; λ_{i3} – теплопровідність теплоізоляційного шару; $\lambda_{n.u}$ – теплопровідність матеріалу стінки захисної труби (покривного шару); r_{3a2} – загальний опір теплопередачі ізольованого трубопроводу:

$$r_{3a2} = \frac{t_p - t_H}{q_H k_1}, \quad (22)$$

де t_p – розрахункова температура теплоносія; t_n – температура навколишнього середовища; q_n – нормований тепловий потік; k_1 – коефіцієнт, що враховує зміну вартості теплоти і теплоізоляції, приймається за [11].

Товщину ізоляції за формулою (21) можна знайти лише числово. Для цього використано метод послідовних наближень (метод ітерацій). Аналіз розв’язків з наперед заданою точністю показав швидку збіжність методу. Виконано порівняльні розрахунки товщини ізоляції попередньо ізольованих трубопроводів за наведеними залежностями і за залежностями із норм інших держав, [12]. Як показали розрахунки товщини ізоляції трубопроводу, величина термічного опору покривного шару порівняно з величиною $r_{заг}$ мала і нею можна знехтувати (похибка не перевищує 1...2 %). Тоді вираз (1) набуде вигляду

$$\delta_{із} = 0,5d_3 [\exp 2\pi\lambda_{із} (r_{заг} - r_{zp} - r_{вн}) - 1]. \quad (23)$$

Висновки Отримано залежності для знаходження питомого теплового потоку в трубопроводах теплових мереж і мережах гарячого водопостачання безканального прокладання.

З умови допустимого теплового потоку методом послідовних наближень знайдено товщину ізоляції подавального й зворотного трубопроводів мереж при двотрубному безканальному прокладанні з урахуванням покривного шару й без нього. З метою спрощення числового розв’язання в загальному опорі трубопроводу не враховано термічний опір покривного шару як малої величини порівняно із загальним опором.

1. Андрійчук Н.Д., Соколов В.И., Коваленко А.А., Дядичев К.М. Пути совершенствования систем теплоснабжения. – Луганск: Изд-во СНУ им. В. Даля, 2003. – 244 с. 2. Даминов А.З. Моделирование теплогидравлических процессов и методика теплового расчета трубопроводных систем тепловых сетей // Пром. теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 1. – С. 52–56. 3. ДБН В.2.5-22-2002. Зовнішні мережі гарячого водопостачання та водяного опалення з використанням труб зі структурованого поліетилену з тепловою ізоляцією із спіненого поліетилену і захисною гофрованою поліетиленовою оболонкою. – Т. 1 і 2. – К.: Держбуд України, 2003. – 37 с. 4. ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 69 с. 5. ДСТУ Б В.2.5-21-2002. Трубы из структурированного полиэтилена с тепловой изоляцией из вспененного полиэтилена и защитной гофрированной полиэтиленовой оболочкой для сетей холодного, горячего водоснабжения и водяного отопления. Технические условия. – К.: Держбуд України, 2002. – 32 с. 6. ДСТУ Б В.2.5-31:2007. Трубопроводы, попередньо теплоізольовані спініним поліуретаном для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж. Труби, фасонні вироби та арматура. Технічні умови. – К.: Мінбуд України, 2007. – 84 с. 7. ДСТУ-Н Б В.2.5-35:2007. Теплові мережі та мережі гарячого водопостачання з використанням попередньо теплоізольованих трубопроводів. Настанова з проектування, монтажу, приймання та експлуатації. – К.: Мінрегіонбуд, 2008. – 94 с. 8. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численный анализ потерь тепла магистральными теплопроводами в условиях полного и частичного затопления // Инженерно-физический журнал. – 2008. – Т. 81, № 2. – С. 303–311. 9. Литвишков В.М. Отечественный опыт эксплуатации систем теплоснабжения с применением индивидуальных тепловых пунктов // Энергетик. – 2008. – № 10. – С. 32–34. 10. Пырков В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – К.: ІІДП “Такі справи”, 2007. – 252 с. 11. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 31 с. 12. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Госстрой РФ. – М., 2004. – 80 с.