

УДК 626.862.8

РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ СТАЛЕВИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ПРИ ЇХНІЙ САНАЦІЇ БЕЗТРАНШЕЙНИМ СПОСОБОМ

В.І. ПЕТРОЧЕНКО, І.В. КОВТУНОВИЧ

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Наведено методичні засади розрахунку міцності сталевих зрошувальних трубопроводів при їхній санації безтраншейним способом.

Ключові слова: санація зрошувальних трубопроводів, безтраншейний спосіб «труба в трубі», міцність стінок і зварювальних швів трубопроводів

Проблема та її актуальність. Подача зрошувальної води з відкритих каналів до дощувальних машин або систем краплинного зрошення здійснюється переважно через закриту мережу сталевих зрошувальних трубопроводів, загальна довжина яких в Україні становить 12,5 тис. км. Більшість сталевих трубопроводів в Україні побудовано понад 30 років тому. На цей час ступінь їхнього корозійного пошкодження сягає близько 50%. В останні роки приватними фермерськими та колективними підприємствами ефективно використовуються близько однієї третини сталевих зрошувальних трубопроводів. Тому відновлення та підвищення довговічності сталевих зрошувальних трубопроводів шляхом їхньої санації є актуальною проблемою подальшого ефективного функціонування зрошувального землеробства. Доцільність та актуальність санації

© В.І. Петроченко, І.В. Ковтунович, 2011
Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99

сталевих зрошувальних трубопроводів з подальшим введенням їх в експлуатацію підтверджується рішенням щодо передачі у 2012 р. з комунальної до державної власності об'єктів інженерної інфраструктури внутрішньогосподарських меліоративних систем зрошеного землеробства, яке було прийняте 6 жовтня 2011 р. на нараді, проведеній першим віце-прем'єр-міністром України – міністром економічного розвитку і торгівлі А. Ключевим.

Санація трубопроводів безтраншейним способом за економічною оцінкою має переваги порівняно з традиційною технологією, яка передбачає відкопування траншеї, демонтаж старої труби й укладання нової. Безтраншейна технологія дає змогу у декілька разів скоротити строки відновлення трубопроводів, не потребує використання важкої спеціальної техніки та значних трудовитрат [1]. До її головних переваг слід віднести можливість відновлення трубопроводів на приватизованих земельних ділянках, а також у період вегетації рослин. Про доцільність здійснення заходів відновлення та подальшого застосування пошкоджених корозією сталевих зрошувальних трубопроводів свідчить тенденція щодо зниження робочого тиску води на вході для дощувальних машин нового покоління. Так, якщо для роботи дощувальної машини ДМ-100 «Фрегат» раніше необхідно було забезпечити тиск у 0,46...66 МПа на вході, то машина нової модифікації ДМФ «Фрегат» розрахована на робочий тиск води у 0,3...0,35 МПа.

Тиск води, який можуть витримати відновлені трубопроводи, є головним і найважливішим критерієм забезпечення як технічної, так і економічної ефективності застосування безтраншейної технології санації трубопроводів. Граничнодопустимий тиск води у відновленому трубопроводі залежить як від міцності на розрив стінок пошкодженого корозією сталевого трубопроводу, так і міцності зварювальних швів, які передбачені технологією.

Мета досліджень – розробити методичні засади розрахунку міцності сталевих зрошувальних трубопроводів та надати рекомендації підвищення міцності зварювальних швів у процесі санації трубопроводів безтраншейним способом «труба в трубі».

Результати досліджень. За безтраншейною технологією санацію трубопроводів способом «труба в трубі» здійснюють за тягуванням гнучкої полімерної труби у порожнину сталевого трубопроводу через монтажне вікно (рис. 1, а). Монтажне вікно утворюють завдяки вирізанню у тілі сталевій труби частини її стінки, яка в плані має прямокутну проекцію. Після зтягування полімерної труби, монтажне вікно (рис. 1, б) на сталевій трубі заварюють, а у кільцеву щілину між стінками сталеві і поліетиленові труб закачують заповнювач (цементно-піщаний розчин).

За результатами виробничого впровадження безтраншейної технології способом «труба в трубі» встановлено, що пориви на трубопроводі після його відновлення трапляються саме на поздовжніх зварювальних швах монтажних вікон. Для встановлення причини розривів поздовжніх швів визначимо напруження $\sigma_{пз}$ і $\sigma_{пш}$ у стінках сталевого трубопроводу в напрямку поздовжніх швів $\sigma_{пз}$ і в напрямку поперечних швів $\sigma_{пш}$ прямокутного монтажного вікна. При цьому припускається, що згідно із законом Паскаля напруження $\sigma_{пз}$ поздовжнього шва 2 створюється силою тиску вузької смуги води 5 вздовж лінії Е-Е (рис. 2, а), а напруження $\sigma_{пш}$ поперечного шва 3 створюється силою тиску вузької смуги води у площині поперечного перерізу труби:

$$\sigma_{пз} = \frac{pD_{вн}^c}{D_{зн}^c - D_{вн}^c} = \frac{pD_{вн}^c}{2\delta^c}; \quad (1)$$

$$\sigma_{пш} = \frac{p(D_{вн}^c)^2}{(D_{зн}^c)^2 - (D_{вн}^c)^2} = \frac{p(D_{вн}^c)^2}{(D_{зн}^c + D_{вн}^c)(D_{зн}^c - D_{вн}^c)} \approx \frac{pD_{вн}^c}{4\delta^c}, \quad (2)$$

де p – тиск води у трубопроводі, МПа; $D_{вн}^c$ – внутрішній діаметр сталевого трубопроводу, м; $D_{зн}^c$ – зовнішній діаметр сталевого трубопроводу, м; δ^c – товщина стінки сталевого трубопроводу, м.

Як показує аналіз залежностей (1) і (2), стінки трубопроводу у поздовжньому напрямку майже вдвічі більше напружені, ніж у поперечному. Крім того, при заварюванні монтажного вікна неможливо забезпечити провар кромок стикових з'єднань еле-

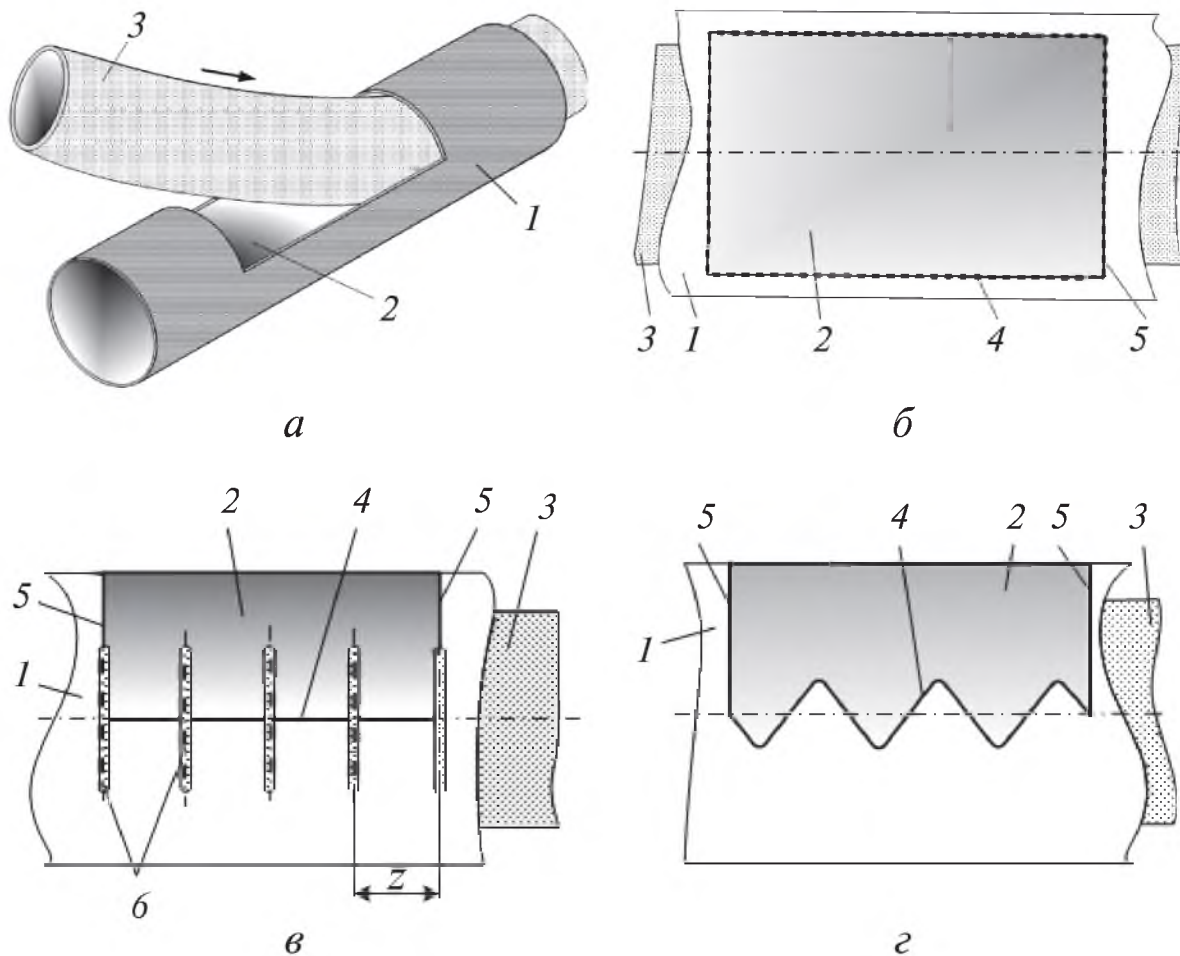


Рис. 1. Затягування полімерної труби у порожнину сталевого трубопроводу в процесі його санації безтраншейним способом «труба в трубі»:

a – схема затягування полімерної труби через монтажне вікно; *б* – прямокутне монтажне вікно, заварене без підсилення поздовжніх швів, вид зверху; *в* – те саме з підсиленням поздовжніх швів, вид збоку; *г* – монтажне вікно з пилкоподібними поздовжніми швами, вид збоку; *1* – сталевий трубопровід; *2* – монтажне вікно; *3* – полімерна труба; *4* – поздовжній шов; *5* – поперечний шов; *б* – ребро підсилення шву

ментів з їхньої внутрішньої сторони. У такому випадку згідно із [2] необхідно у розрахунках міцності зварювальних швів застосовувати коефіцієнт $k=0,7$. Тобто фактична міцність трубопроводу по зварювальному шву на 30% нижча від міцності трубопроводу по його основному матеріалу. Цим пояснюється причина випадків пориву відновлених трубопроводів саме по поздовжнім зварювальним швам монтажних вікон.

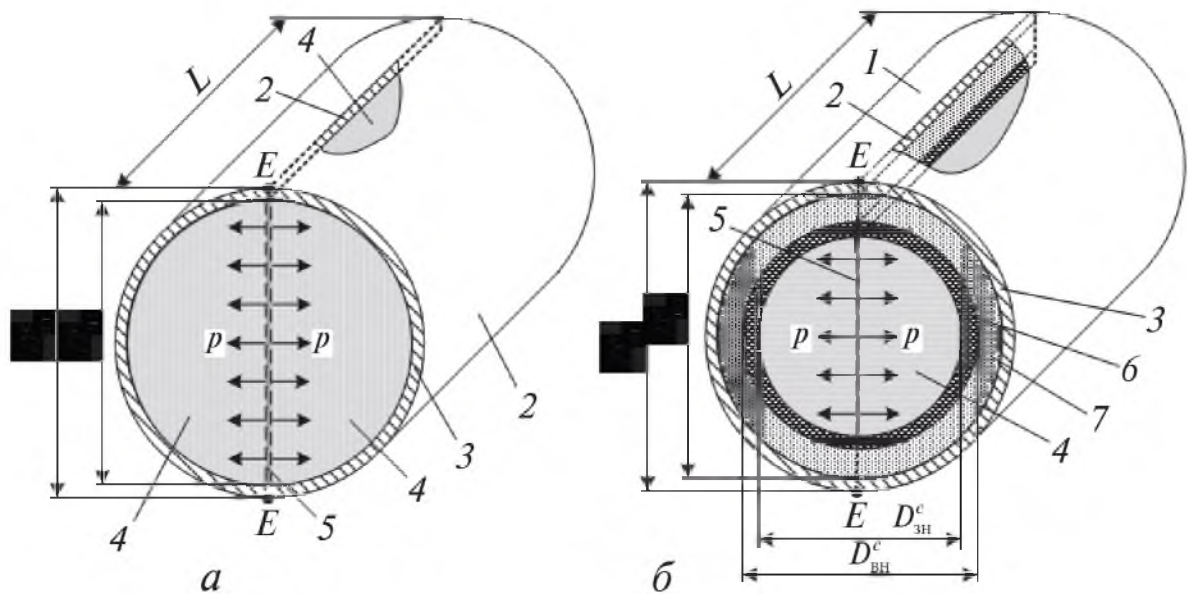


Рис. 2. Схема до розрахунку міцності стінок трубопроводу та зварювальних швів:

a – до санації трубопроводу; *б* – після санації трубопроводу; 1 – сталевая труба; 2 – поздовжній шов; 3 – поперечний шов; 4 – вода під тиском; 5 – зона ефективного тиску води для розрахунку напруження поздовжнього шва; 6 – полімерна труба; 7 – заповнювач

Використовуючи формулу (1), запишемо умову міцності поздовжнього шва:

$$T = k_k k_{ш} 2 \delta^c \sigma_{рш} = k k_k 2 \delta^c [\sigma_{зш}] = [p] D_{ВН}^c, \quad (3)$$

де T – розрахункове питоме навантаження на зварювальний шов, МН/м; $\sigma_{рш}$ – напруження руйнування матеріалу зварювального шва, МПа; k_k – коефіцієнт урахування корозійного пошкодження стінок трубопроводу; $k_{ш}$ – коефіцієнт запасу міцності матеріалу зварювального шва ($k_{ш} = 0,85$ [2]); k – коефіцієнт розрахункової міцності стикового зварювального шва ($k = 0,7$ [2]); $[\sigma_{зш}]$ – допустиме напруження матеріалу зварювального шва, МПа; $[p]$ – граничнодопустимий тиск води у трубопроводі, МПа.

Для запобігання поривів відновленого трубопроводу по поздовжнім зварювальним швам пропонується варіант підсилення швів шляхом наварювання уперек них ребер підсилення (рис. 1, в), а також варіант улаштування монтажного вікна з

пилоподібними поздовжніми швами (рис. 1, з). Враховуючи те, що міцність стінки трубопроводу по зварювальному шву на 30% нижча, ніж по основному матеріалу ($k = 0,7$), ребра підсилення повинні витримувати не менш 30% максимальної допустимої сили тиску води:

$$T_{\text{рн}} \geq 0,3[p]D_{\text{вн}}^c = k_{\text{рн}} \frac{1}{z} F_{\text{рн}} [\sigma_{\text{рн}}], \quad (4)$$

де $T_{\text{рн}}$ – розрахункове питоме навантаження на ребра підсилення, МН/м; $F_{\text{рн}}$ – площа поперечного перетину одного ребра підсилення, м²; z – крок розміщення ребер підсилення на поздовжньому шві, м; $k_{\text{рн}}$ – коефіцієнт нерівномірності підсилення поздовжнього шва ребрами; $[\sigma_{\text{рн}}]$ – граничнодопустиме напруження для матеріалу ребер підсилення, МПа.

З урахуванням підсилення поздовжніх швів (рис. 1, в, з) граничнодопустимий тиск води у відновленому трубопроводі визначається по його основному матеріалу:

$$[p] = \frac{[\sigma_c] 2 \delta^c}{k_d D_{\text{вн}}^c}, \quad (5)$$

де $[\sigma_c]$ – граничнодопустиме напруження стінки сталевого трубопроводу, МПа; k_d – коефіцієнт динамічних навантажень.

Коефіцієнт динамічних навантажень k_d враховує збільшення тиску води у трубопроводі в моменти різкого закриття засувки, залежить від конструкції запірно-регулюючої арматури (гідроаккумуляторів, вантузів) і визначається за формулою:

$$k_d = p^{\text{max}} / p^n > 1, \quad (6)$$

де p^n – номінальне (проектне) значення тиску води, МПа; p^{max} – максимальне значення тиску в момент гідравлічних ударів, МПа.

Формули (3)–(5) можуть бути використані тільки у розрахунках поздовжніх швів сталевого трубопроводу, який працює по схемі, наведеній на рис. 2, а. При визначенні розрахункових залежностей міцності поздовжніх швів відновленого трубопроводу, який працює по схемі, наведеній на рис. 2, б, спочатку

приймається припущення, що опір тиску води у відновленому трубопроводі можуть чинити тільки стінки сталеві труби. Вважається, що заповнювач не підвищує міцність відновленого трубопроводу, оскільки цементно-піщаний камінь не може працювати на розрив. Полімерна труба також не чинить опору тиску води у трубопроводі. Це пояснюється порівняльним аналізом механічних характеристик сталі і поліетилену [3] (рис. 3). Границя плинності поліетилену на один порядок нижча границі плинності сталі (19 МПа для поліетилену ПНТ і 220 МПа для сталі Ст. 3). Однак міцність на розрив стінок відновленого трубопроводу не підвищується навіть на $19 \text{ МПа} / 220 \text{ МПа} = 0,09 = 9\%$ завдяки поліетиленовій трубі через те, що модуль пружності поліетилену на три порядки нижчий, від модуля пружності сталі ($210 \times 10^3 \text{ МПа}$ для сталі Ст. 3 і 196 МПа для поліетилену ПНТ).

Модулі пружності матеріалів визначають крутизну графіків зростання напруження у стінках сталеві $\sigma^{\text{ст}}$ і поліетиленові $\sigma^{\text{пе}}$ труб від величини їхнього відносного подовження ε . Аналіз діаграм спільного розтягування сталеві і поліетиленові труб (рис. 3) показує, що в момент досягнення межі плинності для сталі $\sigma_{\text{пл}}^{\text{ст}}$ поліетилен відчуває максимальне напруження $\sigma_{\text{max}}^{\text{пе}}$, яке на три порядки нижче відносно межі його плинності $\sigma_{\text{пл}}^{\text{пе}}$.

З урахуванням наведених припущень, розрахункові залежності (3)–(5), визначені для невідновленого трубопроводу (рис. 2, а), коригуються для трубопроводу, відновленого способом «труба в трубі» (рис. 2, б), так:

$$T = [p]k_{\text{св}}D_{\text{вн}}^{\text{п}}; \quad (7) \quad T_{\text{рн}} \geq 0,3[p]k_{\text{св}}D_{\text{вн}}^{\text{п}} = k_{\text{рн}} \frac{1}{z} F_{\text{рн}}[\sigma_{\text{рн}}]; \quad (8)$$

$$[p] = \frac{[\sigma_{\text{с}}]2\delta^{\text{с}}}{k_{\text{д}}k_{\text{св}}D_{\text{вн}}^{\text{п}}}; \quad (9) \quad k_{\text{св}} = 1 + \frac{\Delta}{2D_{\text{вн}}^{\text{с}}}, \quad (10)$$

де $D_{\text{вн}}^{\text{п}}$ – внутрішній діаметр полімерного трубопроводу, м; $k_{\text{св}}$ – коефіцієнт урахування осьового відхилення положення полімерної труби; Δ – максимальне значення осьового відхи-

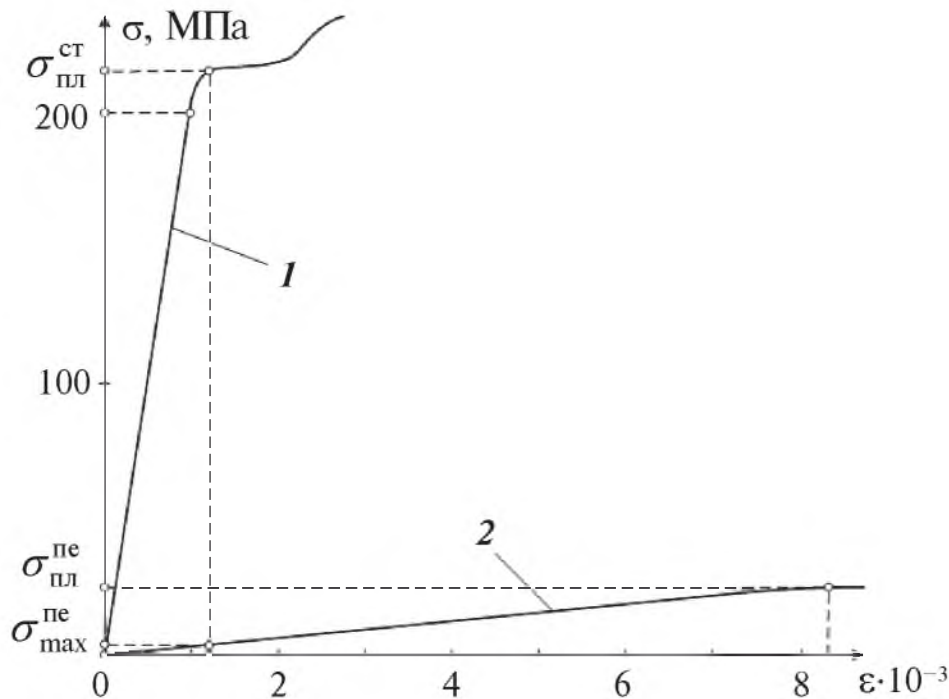


Рис. 3. Порівняльний аналіз діаграм спільного напруження тиском води сталевих і поліетиленових стінок зрошувального трубопроводу після його санації:

- 1 – діаграма розтягування стінки сталевій труби;
2 – те саме, поліетиленовій труби

лення проектного положення полімерної труби в порожнині сталевій труби, м.

Висновки. Основним показником техніко-економічної ефективності санації зрошувальних трубопроводів є здатність відрновлених трубопроводів витримувати робочий тиск води протягом розрахункового періоду їхньої подальшої експлуатації. Встановлено, що для сталевих трубопроводів, відрновлених безтраншейним способом «труба в трубі», найбільш уразливими до аварійних поривів є поздовжні зварювальні шви монтажних вікон, на яких розривні напруження на 30% перевищують напруження основного матеріалу трубопроводу, у зв'язку з чим поздовжні шви монтажних вікон потребують додаткового підсилення шляхом наварювання впоперек поздовжніх швів сталевих ребер.

Література

1. *Войтович І.В., Ковтунович І.В.* Трубопроводи зрошувальних систем і ефективність їх відновлення / І.В. Войтович, І.В. Ковтунович // Таврій. наук. вісн: зб. наук. пр. – Вип. 28. – Херсон: Айлант, 2003. – С. 190–193.
2. *Пособие по расчёту и конструированию сварных соединений стальных конструкций (к главе СНиП II-23-81) / ЦНИИСК им. Кучеренко.* – М.: Стройиздат, 1984. – 40 с.
3. *Гуль В.Е. и др.* Структура и механические свойства полимеров. – М.: Высш. шк., 1972. – 344 с.

Приведены методические основы расчёта прочности стальных оросительных трубопроводов при их санации бестраншейным способом.

It is given the methodological basis for the strength calculation of steel irrigation pipes in the process of their renewal by the method.