



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 98440

(13) C2

(51) МПК

F16L 55/175 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

- (21) Номер заявки: а 2012 02474
(22) Дата подання заявки: 01.03.2012
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.05.2012
(41) Публікація відомостей про заяву: 10.04.2012, Бюл.№ 7
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2012, Бюл.№ 9

- (72) Винахідник(и):
Ориняк Ігор Володимирович (UA),
Подольан Олександр Петрович (UA),
Пудрий Сергій Володимирович (UA),
Тимчик Григорій Семенович (UA),
Подольан Олександр Олександрович (UA),
Ориняк Андрій Ігорович (UA)
(73) Власник(и):
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "НПІП КиАТОН",
вул. Жилианська, 107, м. Київ, 01032 (UA)
(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
UA 81895 C2, 11.02.2008
UA 92575 C2, 10.11.2010
UA 92437 C2, 25.10.2010
UA 50863 U, 25.06.2010
RU 2155905 C2, 10.09.2000
RU 1270380 C1, 10.07.2001
RU 2314453 C1, 10.01.2008

(54) СПОСІБ РЕМОНТУ ДІЮЧОГО ТРУБОПРОВОДУ ЗА ДОПОМОГОЮ МУФТ З ВНУТРІШНІМ ЗАПОВНЕННЯМ

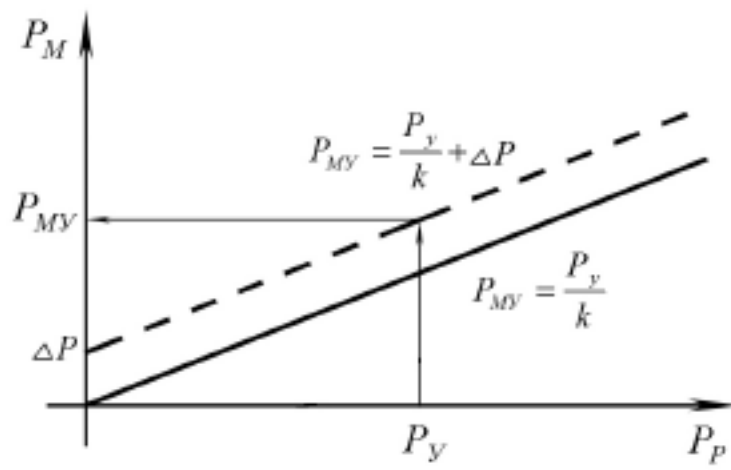
(57) Реферат:

Спосіб ремонту діючого трубопроводу за допомогою муфт, які заповнюють самотверднучою речовиною, при цьому речовину в підмуфтовий простір вводять під тиском, вибраним з умови

$$P_{\text{МУ}} = \frac{P_y}{k} + \Delta P$$
, де P_y - тиск всередині трубопроводу на момент заповнення муфти, k -

коефіцієнт, що зв'язує тиск в підмуфтовому просторі з тиском всередині трубопроводу, ΔP - значення зміни тиску всередині підмуфтового простору в результаті усадки (розширення) речовини. Коефіцієнт k залежить від модуля пружності речовини в підмуфтовому просторі і геометричних параметрів трубопроводу і муфти. Коефіцієнт k розраховують аналітично або отримують дослідним шляхом. Технічний результат: підвищення якості ремонту.

UA 98440 C2



Фиг. 2

Винахід належить до техніки ремонту трубопровідного транспорту, переважно магістральних трубопроводів високого тиску.

При тривалій експлуатації трубопроводів може виникнути необхідність відновлення несучої здатності труби, що має механіко-корозійні (у тому числі і наскрізні) пошкодження, посилення 5 дефектних кільцевих стиків, а також необхідність переведення ділянок діючих трубопроводів у вищу категорію. Це досягається шляхом підвищення міцності трубопроводів або їх ділянок за допомогою встановлення спеціальних муфт. При цьому ефективність посилення ділянки трубопроводу визначається ступенем зниження кільцевого напруження в трубі при забезпеченні 10 рівномірності його розподілу між трубою і муфтою. Високий ступінь зниження кільцевого напруження в трубі може бути досягнутий декількома способами. По-перше, муфта може бути встановлена на трубопровід без підмуфтового зазору при зниженому тиску в трубопроводі, що має мінімальний діаметр. В цьому випадку, при підвищенні внутрішнього тиску і пов'язаному з цим збільшенні діаметра трубопроводу, муфта обжимає трубу, беручи на себе частину навантаження. Однак при цьому необхідна суттєва зміна режимів транспорту продукту. По- 15 друге, при встановленні муфти, трубопровід може бути примусово стиснутий, для чого потрібні дорогі зовнішні пристрої і пристосування. По-третє, у підмуфтовому просторі може бути створений необхідний тиск, проте для цього необхідна надійна герметизація торців муфти. Через простоту реалізації, спосіб підвищення міцності трубопроводу за допомогою муфт з наповненням набув найбільшого поширення (патенти РФ 2314453, 2104439, 2134373, 2191317, 20 2213289 та ін.). Заповнення підмуфтового простору речовиною, що має високий модуль пружності під заданим тиском, дозволяє проводити посилення ділянок трубопроводів без зміни режимів транспортування продукту.

Для реалізації способу на заданій ділянці трубопроводу встановлюють замкнуту металеву оболонку (муфту). Зазвичай, муфту складають з двох півоболонки, які центрують відносно 25 труби і скріплюють між собою відомими методами, наприклад зварюють поздовжніми швами. Після цього герметизують торці оболонки, а простір між трубою і оболонкою заповнюють спеціальною речовиною (бетоном, рідиною, компаундним наповнювачем і т. д.). Наявність речовини в просторі між трубою і муфтою (підмуфтовий простір) дозволяє знизити кільцеві напруження в трубі, передавши частину навантаження на зовнішню оболонку. При проведенні 30 робіт на діючому трубопроводі, для забезпечення ефективного розвантаження труби, підмуфтовий простір необхідно заповнювати речовиною під певним тиском.

В трубі, не посиленій муфтою, діють кільцеві напруження, які в загальному випадку визначаються виразом:

$$\sigma_{TO} = \frac{P_p \cdot D_T}{2 \cdot \delta_T}, \quad (1)$$

35

де P_p - робочий тиск всередині трубопроводу, σ_{TO} - кільцеві напруження розтягування в стінці труби без муфти при робочому тиску P_p , D_T - внутрішній діаметр труби; δ_T - товщина стінки труби.

Після встановлення муфти на трубопровід з внутрішнім тиском P_y і заповнення 40 підмуфтового простору клейовою сумішшю, яка закачується під тиском P_{My} , кільцеві напруження розтягування в стінці труби зменшаться до значення σ_{Ty} :

$$\sigma_{Ty} = \frac{(P_y - P_{My}) \cdot D_T}{2 \cdot \delta_T}, \quad (2)$$

В подальшому, в разі зміни тиску всередині трубопроводу P_p , тиск в підмуфтовому просторі 45 P_M буде змінюватися відповідно до виразу:

$$P_M = \frac{P_p}{k} - P_{M0}, \quad (3)$$

де P_{M0} - тиск в підмуфтовому просторі при нульовому значенні тиску всередині трубопроводу; k - коефіцієнт, що зв'язує зміни тиску в підмуфтовому просторі зі змінами тиску всередині

трубопроводу (коефіцієнт зв'язку). При щільному встановленні муфти (без підмуфтового шару) і рівності товщин стінок труби і муфти $k = 2$.

При цьому значення тиску P_{M0} визначається тиском в підмуфтовому просторі P_{My} і тиском усередині трубопроводу, під час встановлення муфти P_y , і пов'язане з ними простим співвідношенням:

$$P_{M0} = \frac{P_y}{k} - P_{My}, \quad (4)$$

В цьому випадку, в трубі під муфтою діють кільцеві напруження, які визначаються виразом:

$$\sigma_{Tp} = \frac{(P_p - P_M) \cdot D_T}{2 \cdot \delta_T}, \quad (5)$$

або, з урахуванням (3) і (4):

$$\sigma_{Tp} = \frac{\left(P_p - \frac{P_p}{k} - P_{My} + \frac{P_y}{k}\right) \cdot D_T}{2 \cdot \delta_T} = \frac{((k-1) \cdot P_p - k \cdot P_{My} + P_y) \cdot D_T}{2 \cdot \delta_T \cdot k}, \quad (6)$$

Ефективність посилення трубопроводу оцінюється ступенем зниження кільцевих напружень в стінці труби, яка ремонтується:

$$\frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{To}} = \frac{(k-1) \cdot P_p - k \cdot P_{My} + P_y}{P_p \cdot k} = 1 - \frac{1}{k} - \frac{P_y - k \cdot P_{My}}{P_p \cdot k}, \quad (7)$$

У загальному випадку, величина коефіцієнта k може бути визначена на основі наступних міркувань.

Для більшості магістральних трубопроводів високого тиску виконується умова $D_T < 20 \cdot \delta_T$, тому ділянка трубопроводу зі встановленою на ньому муфтою може бути розглянута як тришаровий тонкостінний циліндр. Внаслідок симетрії циліндра і навантажень, виникаючі деформації і напруження будуть симетричні відносно подовжньої осі.

В цьому випадку справедливо записати:

$$P_p - P_{пп1} = \frac{2 \cdot \sigma_T \cdot \delta_T}{D_T}, \quad (8)$$

$$P_{пп1} - P_{пп2} = \frac{2 \cdot \sigma_{пп} \cdot \delta_{пп}}{D_{пп}}, \quad (9)$$

$$P_{пп2} - P_0 = \frac{2 \cdot \sigma_M \cdot \delta_M}{D_M}, \quad (10)$$

де $P_{пп1}$ - тиск між трубою і шаром речовини в підмуфтовому просторі, $P_{пп2}$ - тиск між шаром речовини в підмуфтовому просторі і муфтою, $\sigma_{пп}$ - кільцеві механічні напруження в шарі підмуфтового простору; σ_M - кільцеві механічні напруження в муфті; $\delta_{пп}$ - товщина шару підмуфтового простору; δ_M - товщина стінки муфти; P_0 - зовнішній тиск (води або ґрунту при підводному або підземному розташуванні трубопроводу), при наземному прокладенні трубопроводу $P_0 = 0$; $D_M = D_T + 2 \cdot \delta_T + 2 \cdot \delta_{пп}$ - внутрішній діаметр оболонки муфти.

Підмуфтовий шар у більшості випадків є суцільним і однорідним, і з достатньою для практичного застосування точністю може бути розглянутий як ізотропний і лінійно-пружний, тобто такий, що підлягає закону Гука.

Для напруженого стану трубопроводу, деформація труби в кільцевому напрямі дорівнює відношенню її радіального переміщення до середнього радіуса і визначається виразом:

$$W_T = \frac{(P_p - P_{пп1}) \cdot D_T^2}{4 \cdot \delta_T \cdot E_T}, \quad (11)$$

аналогічно для муфти:

$$W_M = \frac{(P_{пп2} - P_0) \cdot D_M^2}{4 \cdot \delta_M \cdot E_{Мф}}, \quad (12)$$

5

де: $E_{Мф}, E_{пп}$ - відповідно, модулі пружності матеріалу муфти (труби) і речовини в підмуфтовому просторі.

Закон Гука для підмуфтового шару може бути записаний у вигляді:

$$\varepsilon_\theta = \frac{\sigma_\theta}{E_{пп}} - \mu \frac{\sigma_r}{E_{пп}} - \mu \frac{\sigma_x}{E_{пп}}, \quad (13)$$

10

$$\varepsilon_r = \frac{\sigma_r}{E_{пп}} - \mu \frac{\sigma_\theta}{E_{пп}} - \mu \frac{\sigma_x}{E_{пп}}, \quad (14)$$

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_{пп}} - \mu \frac{\sigma_r}{E_{пп}} - \mu \frac{\sigma_\theta}{E_{пп}}, \quad (15)$$

де індекси x, θ, r визначають осьовий, кільцевий і радіальний напрями, μ - коефіцієнт Пуассона.

15 При використанні муфти з герметичним підмуфтовим простором, речовина, що заповнює його, не може істотно деформуватися в подовжньому напрямі ($\varepsilon_x = 0, \sigma_x = 0$).

Напруження σ_x можуть бути знайдені з виразу (9):

$$\sigma_\theta = \sigma_{пп} = \frac{(P_{пп1} - P_{пп2}) \cdot D_{пп}}{2 \cdot \delta_{пп}}, \quad (16)$$

20 Негативне напруження σ_r визначається середнім значенням тисків на границях шару підмуфтового простору:

$$\sigma_r = -\frac{P_{пп1} + P_{пп2}}{2} = -P_M, \quad (17)$$

Відносна кільцева деформація ε_θ визначається як відношення середнього переміщення шару в радіальному напрямку до його середнього радіуса:

25

$$\varepsilon_\theta = \frac{2 \cdot (W_T + W_M)}{D_{пп}}, \quad (18)$$

а радіальна деформація дорівнює відношенню різниці переміщень крайніх точок підмуфтового шару до товщини шару:

$$\varepsilon_r = \frac{W_M - W_T}{\delta_{пп}}, \quad (19)$$

30

Визначальні рівняння можуть бути отримані після підстановки вищезгаданих залежностей і умов в (13-15):

$$\frac{(P_{пп1} - P_{пп2}) D_{пп}}{\delta_{пп} \cdot E_{пп}} (1 - \mu^2) + \frac{P_{пп1} + P_{пп2}}{2 \cdot E_{пп}} \mu (1 + \mu) = \frac{W_M + W_T}{D_{пп}}, \quad (20)$$

$$-\frac{P_{\Pi\Pi1} + P_{\Pi\Pi2}}{2 \cdot E_{\Pi\Pi}} (1 - \mu^2) - \frac{(P_{\Pi\Pi1} - P_{\Pi\Pi2}) D_{\Pi\Pi}}{2 \cdot \delta_{\Pi\Pi} \cdot E_{\Pi\Pi}} \mu(1 + \mu) = \frac{W_3 - W_1}{\delta_{\Pi\Pi}}, \quad (21)$$

З урахуванням того, що модуль пружності речовини шару підмуфтового простору, як правило, значно менше модуля пружності матеріалу труби і муфти $E_{\Pi\Pi} \ll (E_T \approx E_{M\Phi})$, правомірно припустити рівність тисків на границях підмуфтового простору $P_{\Pi\Pi1} \approx P_{\Pi\Pi2}$. Проте використати це допущення можна тільки за умови виключення з рівнянь (20-21) виразів, що містять різницю цих тисків, тобто, $(P_{\Pi\Pi1} - P_{\Pi\Pi2})$. Для цього рівняння (20) множиться на $\mu(1 + \mu)$, а (21) на $(1 - \mu^2)$, після чого рівняння складаються. Результуючий вираз після заміни $P_{\Pi\Pi1} = P_{\Pi\Pi2} = P_M$, може бути записаний у вигляді:

$$\frac{P_M}{E_{\Pi\Pi}} Z_1(\mu) = \frac{W_T}{\delta_{\Pi\Pi}} Z_2(\mu) - \frac{W_M}{\delta_{\Pi\Pi}} Z_3(\mu), \quad (22)$$

де

$$Z_1(\mu) = (1 - 3\mu^2), \quad (23)$$

$$Z_2(\mu) = \left((1 - \mu^2) - \frac{\mu(1 + \mu)\delta_{\Pi\Pi}}{D_{\Pi\Pi}} \right), \quad (24)$$

$$Z_3(\mu) = \left((1 - \mu^2) + \frac{\mu(1 + \mu)\delta_{\Pi\Pi}}{D_{\Pi\Pi}} \right), \quad (25)$$

Після підстановки виразів (11-12) в (22):

$$\frac{P_M}{E_{\Pi\Pi}} Z_1(\mu) = \frac{P_p \cdot D_T^2}{4 \cdot E_T \cdot \delta_T \cdot \delta_{\Pi\Pi}} Z_2(\mu) - \frac{P_M \cdot D_T^2}{4 \cdot E_T \cdot \delta_T \cdot \delta_{\Pi\Pi}} Z_2(\mu) - \frac{P_M \cdot D_M^2}{4 \cdot E_{M\Phi} \cdot \delta_M \cdot \delta_{\Pi\Pi}} Z_3(\mu), \quad (26)$$

Найчастіше на практиці муфти виготовляють з матеріалу, аналогічного матеріалу основної труби (ГБН В.3.1-00013741-12: 2011 "Магістральні газопроводи, ремонт дуговим зварюванням в умовах експлуатації"). Після підстановки $E_T = E_{M\Phi} = E_M$ і нескладних перетворень, вираз (26) приводиться до вигляду:

$$P_M = \frac{P_p}{1 + \frac{Z_1(\mu) \cdot 4 \cdot \delta_T \cdot \delta_{\Pi\Pi} \frac{E_M}{E_{\Pi\Pi}}}{Z_2(\mu) \cdot D_T^2} + \frac{D_M^2 \cdot \delta_T \cdot Z_3(\mu)}{D_T^2 \cdot \delta_M \cdot Z_2(\mu)}}, \quad (27)$$

Для малих, в порівнянні з діаметром трубопроводу, значень глибини підмуфтового простору справедливо прийняти $Z_3(\mu) \approx Z_2(\mu)$, а формулу (20) представити у вигляді:

$$P_M = \frac{P_p}{1 + \frac{4 \cdot \delta_T \cdot \delta_{\Pi\Pi} \frac{E_M}{E_{\Pi\Pi}}}{\frac{Z_2(\mu)}{Z_1(\mu)} \cdot D_T^2} + \frac{D_M^2 \cdot \delta_T}{D_T^2 \cdot \delta_M}}, \quad (28)$$

Вираз (28) по структурі не відрізняється від відомого виразу, приведенного в технічній літературі [Розгонюк В.В. Трубопровідний транспорт природного газу. - К.: Київ, 2008. - С. 238.],

проте дозволяє врахувати вплив коефіцієнта Пуассона речовини підмуфтового шару на процес розвантаження труби, яка посилюється.

Прирівнявши вираз (3) до (28) при $r_{M0} = 0$, легко отримати вираз для коефіцієнта зв'язку k :

$$k = 1 + \frac{4 \cdot \delta_T \cdot \delta_{ПП} \cdot \frac{E_M}{E_{ПП}}}{\frac{Z_2(\mu)}{Z_1(\mu)} \cdot D_T^2} + \frac{D_M^2 \cdot \delta_T}{D_T^2 \cdot \delta_M}, \quad (29)$$

5

Для трубопроводів великого діаметра з малою глибиною підмуфтового простору $\frac{Z_2(\mu)}{Z_1(\mu)} \approx \frac{1-\mu^2}{1-3\mu^2}$. В цьому випадку вираз (29) приводиться до вигляду:

$$k = 1 + \frac{4 \cdot \delta_T \cdot \delta_{ПП} \cdot \frac{E_M}{E_{ПП}}}{\frac{1-\mu^2}{1-3\mu^2} \cdot D_T^2} + \frac{D_M^2 \cdot \delta_T}{D_T^2 \cdot \delta_M}, \quad (30)$$

10

При використанні для заповнення підмуфтового простору еластичної самотверднучої маси (наприклад, на поліуретановій основі), що характеризується високим серед ізотропних речовин значенням коефіцієнта Пуассона ($\mu \approx 0,5$), відношення $\frac{Z_2(\mu)}{Z_1(\mu)} \approx 3$, що відповідає збільшенню модуля пружності речовини підмуфтового шару в три рази. В цьому випадку коефіцієнт k розраховують по формулі:

15

$$k = 1 + \frac{4 \cdot \delta_T \cdot \delta_{ПП} \cdot \frac{E_M}{E_{ПП}}}{3 \cdot D_T^2} + \frac{D_M^2 \cdot \delta_T}{D_T^2 \cdot \delta_M}, \quad (31)$$

20

З отриманого виразу видно, що ефективність посилення труби залежить від геометричних параметрів трубопроводу і муфти і модуля пружності речовини, запресованої в підмуфтовий простір. Ефективність посилення зростає із збільшенням діаметра трубопроводу, зменшенням глибини підмуфтового простору і збільшенням модуля пружності речовини, запресованої в підмуфтовий простір.

25

Відомий спосіб ремонту лінійних ділянок трубопроводів шляхом встановлення ремонтної муфти, заповненої клейовою композицією [UK Patent Application, GB, 2210134A]. Ремонтна конструкція складається з двох півмуфт. В процесі монтажу півмуфти механічно з'єднують одну з другою, утворюючи замкнуту оболонку навколо ділянки трубопроводу, яка ремонтується. Далі оболонку центрують за допомогою технологічних елементів (болтів), встановлених в отворах корпусу. Після цього простір між трубопроводом і муфтою герметизують з обох кінців за допомогою самотверднучої суміші (цементу, епоксидної шпаклівки і т. д.). В ізолюваний проміжок через спеціальні штуцери накачують епоксидну суміш, яка забезпечує високу жорсткість конструкції. Незважаючи на велике поширення, спосіб має суттєві недоліки, пов'язані з неможливістю введення епоксидного наповнювача під високим тиском. Надалі, внаслідок зміни геометричних розмірів трубопроводу через перепади тиску продукту, який перекачується, і температурних деформацій, епоксидний шар може розшаровуватися, що призводить до зниження жорсткості і герметичності конструкції. Крім того, відносно низький тиск заповнення епоксидною сумішшю простору під муфтою, з урахуванням її усадки в процесі затвердіння, допускає появу пустот. Максимальний тиск заповнення простору під муфтою обмежений міцністю ізолюючих прокладок на торцях. Для істотного зниження кільцевих напружень в трубі, яка ремонтується, встановлення муфти проводять при зниженому тиску в трубопроводі, що у більшості випадків реальної експлуатації магістральних газопроводів є небажаним.

40

Відомий спосіб ремонту трубопроводу за допомогою муфти, що заповнюється рідкою речовиною [Гумеров А.Г., Ахметов Х.А., Гумеров Р.С., Векштейн М.Г. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов / Под ред. А.Г. Гумерова. - М.: Недра-Бизнесцентр, 1988. - С. 88-91]. Після встановлення, муфта являє собою герметичну оболонку, жорстко приварену до трубопроводу кільцевими швами. Після встановлення,

підмуфтовий простір заповнюють рідиною, за яку автор рекомендує використовувати нафту або трансформаторне масло. Спосіб має обмежене застосування на діючих трубопроводах, які перебувають під тиском, тому що не передбачає створення підвищеного тиску в підмуфтовому просторі. При цьому застосування рідкого заповнювача небажано, тому що у випадку розгерметизації підмуфтового простору з плином часу муфта перестає виконувати свої функції. Крім того, муфта, яка використовується, має відносно велику глибину підмуфтового простору, що, відповідно до виразів (7, 27), негативно позначається на ефективності розвантаження труби, яка ремонтується.

Відомий спосіб ремонту діючих трубопроводів за допомогою металевих муфт, які заповнюються бетоном [Ільницький Ю.В., Якимечко Р.Я. Ремонт магістральних газопроводів з використанням муфт на розширному бетоні / Трубопровідний транспорт. - 2008. - № 4. - С. 23-25]. В процесі затвердіння бетон розширюється, створюючи тиск у підмуфтовому просторі. До недоліків способу слід віднести слабку прогнозованість кінцевого результату, низьку ефективність ремонту через велику глибину підмуфтового простору, відносно велику вагу ремонтної конструкції.

Відомий спосіб ремонту локальних пошкоджень трубопроводів [патент Росії 2104439]. Спосіб заснований на використанні розрізної муфти, частини якої збирають на ділянці трубопроводу, яка ремонтується, і центрують за допомогою болтів, утворюючи навколо труби замкнуту оболонку. Надалі простір під муфтою ізолюють за допомогою еластичної прокладки і фланців, після чого заповнюють під тиском епоксидною сумішшю. Даний спосіб дозволяє здійснити якісний ремонт трубопроводу. Запресовування епоксидної суміші в простір під муфтою здійснюють при високому тиску. В результаті цього простір гарантовано заповнюється епоксидною сумішшю. Крім того, стінки муфти піддаються розтягуванню, а трубопроводу - стиску. При цьому даються рекомендації по тиску в підмуфтовому просторі (20-60 бар, віддають перевагу 30-45 бар), без прив'язки до режимів роботи трубопроводу. Вибір неоптимального тиску заповнення підмуфтового простору призводить до зниження якості ремонту і неоптимального вибору конструкції муфти.

Відомий спосіб муфтового ремонту трубопроводу [патент РФ 2314453]. З двох сторін ділянки трубопроводу, що підлягає посиленню, встановлюють пари технологічних кілець, на яких збирають муфту. Далі по краях муфти, між кожною парою технологічних кілець, формують герметичні ущільнювачі - кільцеві прокладки, локалізуючи підмуфтовий простір. Після цього підмуфтовий простір заповнюють герметиком під тиском, порівняним з тиском усередині трубопроводу. Щоб уникнути утворення вм'ятин в стінці трубопроводу, тиск запресовування герметика обмежують значенням, при якому стінка труби втрачає стійкість. Спосіб дозволяє здійснити ремонт трубопроводу з практично будь-яким дефектом. Разом з тим, з виразу (7) видно, що при такому високому тиску запресовування герметика в підмуфтовий простір труба, яка ремонтується, практично повністю розвантажується (починає працювати без тиску), а все навантаження переноситься на муфту. Це має сенс тільки у випадку ремонту наскрізного дефекту в умовах виходу продукту з трубопроводу. У разі усування корозійних дефектів або переведення трубопроводу в більш високу категорію, надмірно високий тиск в підмуфтовому просторі призводить до неефективного використання матеріалів муфти, яка повинна мати більш міцну конструкцію, і загального зниження якості робіт через неоптимальне використання ресурсу і невиправдано високе навантаження на кільцеві зварні шви.

Відомий спосіб муфтового ремонту трубопроводу [патент України на винахід 92575], вибраний як найближчий аналог винаходу, який заявляється. Спосіб полягає у встановленні навколо заданої ділянки труби замкнутої оболонки-муфти, з подальшою герметизацією торців муфти і заповненням підмуфтового простору, який утворився, рідкою, пластичною речовиною, або самотверднучою речовиною, яку в підмуфтовий простір вводять під тиском, рівним половині тиску усередині трубопроводу на момент заповнення муфти. Цим досягається рівномірний розподіл напружень між трубою і муфтою у всьому діапазоні зміни тиску в трубопроводі. Разом з тим, даний спосіб базується на формулі, виведеній при серйозних обмеженнях і припущеннях. Покладена в основу способу формула

$$\frac{\sigma_{Tp}}{\sigma_{T0}} = \frac{P_y - k \cdot P_M}{P_p} + \frac{1 - \frac{P_y - k \cdot P_M}{P_p}}{1 + \frac{\delta M}{\delta T}}, \quad (32)$$

отримується з виразів (7, 27) при допущенні нехтуваною, порівняно з діаметром трубопроводу і товщиною стінок труби і муфти, глибини підмуфтового простору і нестисливості

використовуваної для заповнення підмуфтового простору рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини ($E_{ПП} \approx E_M$, $\delta_{ПП} \approx 0$, $D_M \approx D_T$). Крім того, навіть при прийнятих обмеженнях, тиск в підмуфтовому просторі, рівний половині тиску в трубопроводі на момент заповнення муфти, буде оптимальним лише в одному окремому випадку, який, правда, найчастіше зустрічається на практиці (при $k = 2$), коли використовують муфту з товщиною стінки, що дорівнює товщині стінки труби ($\delta_M = \delta_T$). Крім того, спосіб не враховує зміну тиску всередині підмуфтового простору після запресовування рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, під час перехідних процесів. У разі використання для запресовування в підмуфтовий простір самотверднучої речовини, дана зміна тиску може бути викликана зміною її об'єму в результаті усадки (наприклад, для речовини, що має епоксидну основу) або розширення (речовини на основі бетону або поліуретану). Крім того, зміна тиску всередині підмуфтового простору протягом деякого часу після запресовування рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, може бути додатково викликана її високою в'язкістю і пов'язаною з цим обмеженою швидкістю розподілу речовини, яка використовується, в підмуфтовому просторі, що має складний профіль з малим прохідним перерізом.

В основу винаходу покладено задачу підвищення якості ремонту діючого трубопроводу за рахунок оптимізації тиску запресовування речовини в підмуфтовий простір. Це дозволяє домогтися прогнозованого розподілу навантаження між трубопроводом і муфтою, що, в свою чергу, дозволяє оптимізувати конструкцію муфти, домогтися рівномірного навантаження на зварні шви і підвищити якість ремонту в цілому.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в способі ремонту діючого трубопроводу за допомогою муфт з внутрішнім заповненням, який полягає у встановленні навколо заданої ділянки труби замкнутої оболонки-муфти, з подальшою герметизацією торців муфти і заповненням утвореного герметичного підмуфтового простору рідкою, пластичною речовиною, або самотверднучою речовиною, відповідно до винаходу, рідку, пластичну речовину, або самотверднучу речовину, в підмуфтовий простір вводять під тиском, вибраним з умови $P_{MY} = \frac{P_Y}{k} + \Delta P$, де P_Y - тиск всередині трубопроводу на момент заповнення муфти, k - коефіцієнт, що зв'язує зміни тиску в підмуфтовому просторі зі змінами тиску всередині трубопроводу, ΔP - значення зміни тиску всередині підмуфтового простору після запресовування рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, у ході перехідних процесів, обумовлених зміною об'єму рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, і обмеженою швидкістю її розподілу в підмуфтовому просторі.

Спосіб пояснюється рисунками, представленими на фіг. 1-3.

На фіг. 1 показано сімейство залежностей тиску в підмуфтовому просторі P_M від тиску всередині трубопроводу, який підсилюється P_p , при різних тисках запресовування рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини.

На фіг. 2 наведено графік, що пояснює вплив усадки (розширення) самотверднучої речовини в процесі затвердіння на тиск в підмуфтовому просторі.

На фіг. 3 - графічне представлення виразу (7). З графіка видно, що для конкретних умов існує тільки одне значення тиску запресовування речовини в підмуфтовий простір, яке забезпечує постійний розподіл навантаження між трубою і муфтою, яке не залежить від зміни робочого тиску в трубопроводі.

Даний тиск є оптимальним і визначається виразом:

$$P_{MY_{оп}} = \frac{P_Y}{k}, \quad (33)$$

де $P_{MY_{оп}}$ - оптимальний тиск в підмуфтовому просторі.

У разі, якщо в процесі вирівнювання тиску речовини по всьому підмуфтовому простору і (або) її усадки (розширення) в процесі її твердіння має місце зміна тиску в підмуфтовому просторі на деяку величину ΔP при незмінній величині тиску всередині труби, вираз (33) може бути записаний у вигляді:

$$P_{MY_{оп}} = \frac{P_Y}{k} + \Delta P, \quad (34)$$

Вираз (34) покладено в основу запропонованого способу. При цьому коефіцієнт зв'язку k може бути визначений дослідним шляхом для конкретних умов або розрахований за формулами (29-31).

Для складної конфігурації підмуфтового простору, що має малі прохідні перерізи, величину ΔP визначають дослідним шляхом.

В умовах, коли на зміні тиску в підмуфтовому просторі позначається домінуючий вплив усадки (розширення) використовуваної для цілей заповнення самотверднучої речовини, величину ΔP визначають за допомогою аналітичного розрахунку.

Очевидно, що в разі використання самотверднучої речовини, яка має малу усадку (розширення) в процесі затвердіння ($\Delta P \approx 0$), її вводять в підмуфтовий простір під тиском, який визначається виразом (33).

У разі ремонту магістральних трубопроводів великого діаметра, малої глибини підмуфтового простору і високого модуля пружності використовуваної рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, з достатньою для практики точністю в обчисленнях можуть бути прийняті певні припущення, спочатку прийняті в найбільш близькому аналозі ($E_{\text{ПП}} \approx E_M, \delta_{\text{ПП}} \approx 0, D_M \approx D_T$). В цьому випадку, відповідно до виразу (29), коефіцієнт зв'язку k може бути визначений з умови

$$k = \frac{\delta_M + \delta_T}{\delta_M}, \quad (35)$$

Очевидно, що для випадку відсутності усадки (розширення), вираз (33) зводиться до відомого вигляду:

$$P_{\text{МУ on}} = \frac{P_y}{2}, \quad (36)$$

тобто, оптимальний тиск запресовування пластичної речовини, або самотверднучої речовини, в підмуфтовий простір дорівнюватиме половині тиску всередині трубопроводу на момент заповнення муфти.

Використання пропонованого способу дозволить підвищити якість ремонту трубопроводів, забезпечивши прогнозоване підвищення міцності трубопроводу.

Пропонований спосіб і правильність отриманих залежностей експериментально перевірені підприємством "НПІП КиАТОН" (м. Київ) під час проведення натурних випробувань муфти, виготовленої за патентом України 81895 на ділянці трубопроводу діаметром 720 мм.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб ремонту діючого трубопроводу за допомогою муфт з внутрішнім заповненням, що полягає в встановленні навколо заданої ділянки труби замкнутої оболонки-муфти, з подальшою герметизацією торців муфти і заповненням утвореного герметичного підмуфтового простору рідкою, пластичною речовиною, або самотверднучою речовиною, який **відрізняється** тим, що рідку, пластичну речовину, або самотверднучу речовину, в підмуфтовий простір вводять під

тиском, вибраним з умови $P_{\text{МУ}} = \frac{P_y}{k} + \Delta P$, де P_y - тиск всередині трубопроводу на момент

заповнення муфти, k - коефіцієнт, що зв'язує зміни тиску в підмуфтовому просторі зі змінами тиску всередині трубопроводу, ΔP - значення зміни тиску всередині підмуфтового простору після запресовування рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, під час перехідних процесів, обумовлених зміною об'єму рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, і обмеженою швидкістю її розподілу в підмуфтовому просторі.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що коефіцієнт k визначають дослідним шляхом.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що коефіцієнт k визначають з умови

$$k = 1 + \frac{4 \cdot \delta_T \cdot \delta_{\text{ПП}} \cdot \frac{E_M}{E_{\text{ПП}}} + \frac{D_M^2 \cdot \delta_T}{D_T^2 \cdot \delta_M}}{3 \cdot D_T^2}, \text{ де: } \delta_{\text{ПП}} - \text{глибина підмуфтового простору; } D_M = D_T + \delta_T + \delta_{\text{ПП}} -$$

внутрішній діаметр оболонки муфти; $E_M, E_{\text{ПП}}$ - відповідно, модулі пружності матеріалу муфти (труби) і компаундного шару в підмуфтовому просторі.

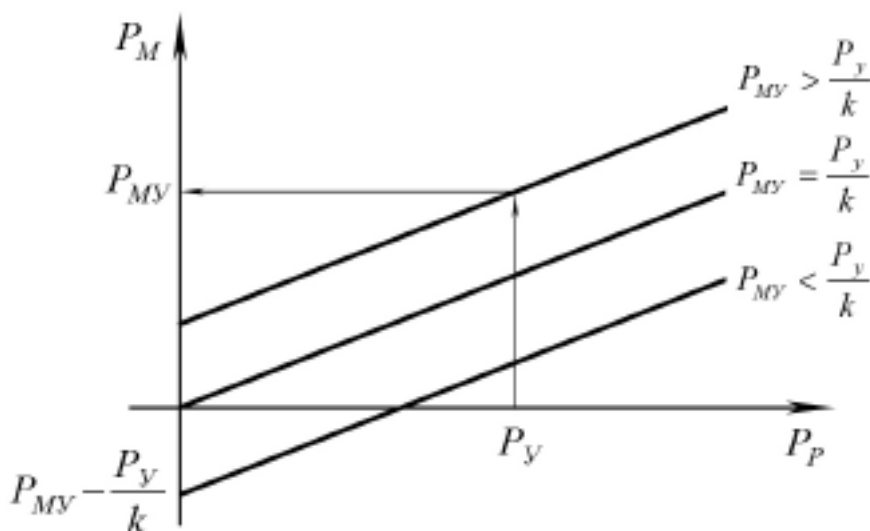
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що значення ΔP визначають дослідним шляхом.

5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що в разі використання для заповнення підмуфтового простору самотверднучої речовини, що має здатність до усадки або розширення в процесі твердіння, величину ΔP визначають за допомогою аналітичного розрахунку.

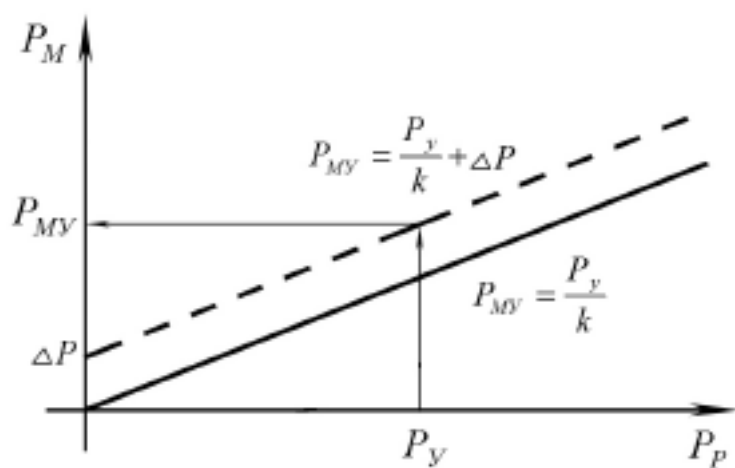
6. Спосіб за будь-яким з пп. 1, 2, 3, який **відрізняється** тим, що при використанні самотверднучої речовини, що має малу усадку в процесі затвердіння, її вводять в підмуфтовий простір під тиском, вибраним з умови $P_{MY} = \frac{P_Y}{k}$, де P_{MY} - тиск в підмуфтовому просторі, P_Y - тиск всередині трубопроводу на момент заповнення муфти, k - коефіцієнт, який пов'язує тиск в підмуфтовому просторі з тиском всередині трубопроводу.

7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при ремонті магістральних трубопроводів великого діаметра, малої глибини підмуфтового простору і високого модуля пружності використовуваної рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, коефіцієнт k визначають з умови $k = \frac{\delta_M + \delta_T}{\delta_M}$.

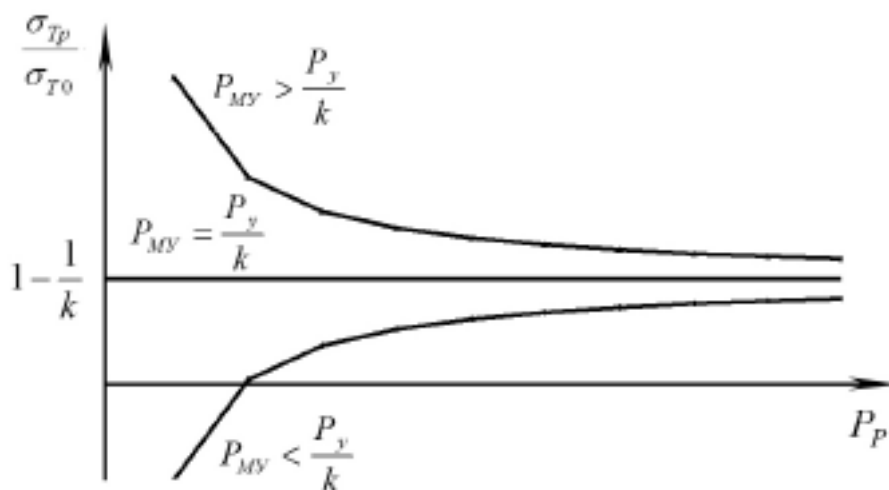
8. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при ремонті магістральних трубопроводів великого діаметра, малої глибини підмуфтового простору, високого модуля пружності використовуваної рідкої, пластичної речовини, або самотверднучої речовини, і рівності товщин стінок труби і муфти, рідку, пластичну речовину, або самотверднучу речовину, в підмуфтовий простір вводять під тиском, рівним половині тиску усередині трубопроводу на момент заповнення муфти.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601