

Техніка і технології

УДК 62.026.004.67

ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ БАНДАЖІВ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ПОШКОДЖЕНОЇ СТАЛЕВОЇ ТРУБИ

*Б.В.Копей, А.М.Найда**ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42353,
e-mail: kopey@ifdtung.if.ua, andr@kl.if.ua*

Рассматривается способ повышения прочности и надежности стальных труб при воздействии внутреннего давления, состоящий в нанесении на внешнюю поверхность трубы укрепляющего пласта – композитного бандажа. Этот пласт формируется по специально разработанной технологии из тканого композита (текстолита) и выполняет функцию укрепления стальной трубы. Местонахождение и уровень поврежденности стальной трубы устанавливается по экспериментальной методике.

Оценка эксплуатационной прочности металлической трубы с поврежденностью в случае нанесения укрепляющего пласта производится расчетным способом с помощью сформулированной математической модели.

Целью исследования является определение минимальной толщины укрепляющего пласта, при которой стальная труба с поврежденностью не будет уступать по прочности монолитной трубе без поврежденности.

Сьогодні в нафтогазовидобувній промисловості здебільшого використовують металеві труби. Поряд з високою міцністю, відносною простою з'єднання металеві труби мають такі недоліки, як низька корозійна стійкість, неповне використання міцнісних характеристик. У процесі експлуатації за певних технологічних умов навантаження поява і злиття мікротріщин у трубі може призвести до її руйнування, аварійної ситуації. Для захисту металевих трубопроводів від негативних чинників (зокрема, низької корозійної стійкості) та підвищення їхніх характеристик щодо міцності розробляють різні методи [1]. Серед них ефективним способом є нанесення на зовнішню чи внутрішню поверхню труби покриття захисного шару із полімерного композитного матеріалу.

Розглядається запропонований спосіб підвищення міцності та надійності сталевих труб при дії внутрішнього тиску. Він полягає у нанесенні на зовнішню поверхню труби (у разі пошкодженості матеріалу) зміцнювального шару

It is considered way of increasing of toughness and reliability of the steel pipes in action of the internal pressure, which consists in fixing on external surface of the pipe consolidating layer - an composite bandage. This layer is formed for specially designed technology from woven composite (textolite) and executes the function of the fortification of the steel pipe. The way and level of steel pipe damage is fixed by experimental methods.

The estimation to working toughness of the metallic pipe with damage in the event of fixing consolidating layer is executed by rated way by means of worded mathematical model.

The purpose of the study is determinations of the minimum thickness consolidating layer, for which steel pipe with damage will not yield for toughness from monolithic pipe (without damages).

– композитного бандажа. Цей шар формується за спеціально розробленою технологією із тканого композиту (текстоліту) і виконує функцію зміцнення сталеві труби. Місцезнаходження та рівень пошкодженості сталеві труби встановлюється за експериментальною методикою.

Оцінку експлуатаційної міцності металеві труби з пошкодженістю у разі нанесення зміцнювального шару виконуватимемо розрахунковим способом за допомогою сформульованої математичної моделі.

Метою дослідження є визначення мінімальної товщини зміцнювального шару, за якої сталеві труба з пошкодженістю не поступатиметься за міцністю монолітній трубі без пошкоджень.

Математична модель

Монолітна труба. Розглядаємо дуже довгу трубу – циліндричну кругову оболонку під дією рівномірного внутрішнього сталого тиску P .

Оболонка, що перебуває під дією навантажень, рівномірно розподілених уздовж неї, характеризується однаковими за довжиною деформаціями. На цій підставі можемо звести досліджуване завдання до розгляду плоского кільця, що деформується у радіальному напрямку (рис. 1).

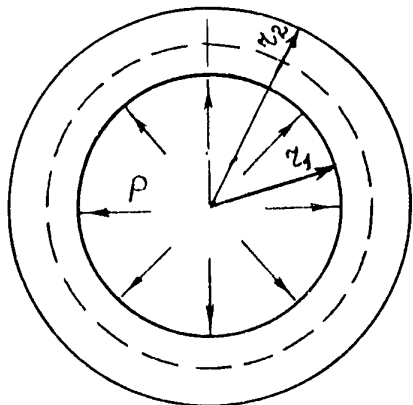


Рисунок 1 — Труба під дією внутрішнього тиску

Згідно з формулою Ламе знайдемо радіальне переміщення U [2]

$$U = \frac{1-\mu}{E} \cdot \frac{r_1^2 p_1 - r_2^2 p_2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot r + \frac{1+\mu}{E} \cdot \frac{r_1^2 r_2^2 (p_1 - p_2)}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{r}, \quad (1)$$

де: E – модуль Юнга;
 μ – коефіцієнт Пуассона;
 r_1, r_2 – внутрішній і зовнішній радіуси труб відповідно, м;
 r – радіус точки, в якій визначається переміщення, м;
 p_1, p_2 – внутрішній і зовнішній тиск відповідно, МПа.

У даному випадку труба навантажена тільки внутрішнім тиском, а зовнішній тиск відсутній, тобто: $p_1 = p, p_2 = 0$. Тоді формула (1) набуває такого вигляду:

$$U = \frac{1-\mu}{E} \frac{r_1^2 p_1}{r_2^2 - r_1^2} r + \frac{1+\mu}{E} \frac{r_1^2 r_2^2 p_1}{r_2^2 - r_1^2} \frac{1}{r}. \quad (2)$$

На основі формули (2) визначимо радіальне переміщення внутрішнього U_1 і зовнішнього U_2 шарів (рис. 2).

Для внутрішнього шару ($r = r_1$)

$$U_1 = \frac{r_1 p ((r_1^2 + r_2^2) + \mu(r_2^2 - r_1^2))}{E(r_2^2 - r_1^2)}, \quad (3)$$

Для зовнішнього шару ($r = r_2$)

$$U_2 = \frac{2r_1^2 r_2 p}{E(r_2^2 - r_1^2)}. \quad (4)$$

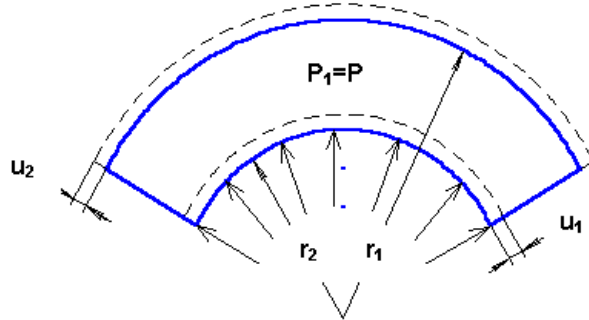


Рисунок 2 — Схема деформацій в трубі під дією внутрішнього тиску

Труба з пошкодженням. Далі розглядаємо пошкоджену трубу у випадку прокородованої внутрішньої поверхні на величину δ (рис.3).

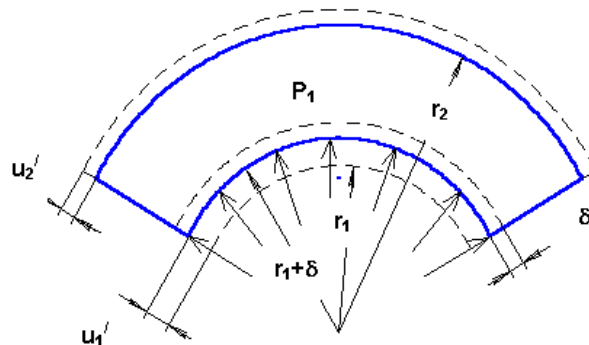


Рисунок 3 — Схема деформацій в трубі у випадку прокородованої внутрішньої поверхні на величину δ

Величина не може перевищувати значень, які не відповідають умові

$$U_1' = \frac{1-\mu}{E} \frac{(r_1 + \delta)^3 p}{r_2^2 - (r_1 + \delta)^2} + \frac{1+\mu}{E} \frac{(r_1 + \delta)^2 r_2 p}{r_2^2 - (r_1 + \delta)^2} \quad U_1' \leq [U_1'] ; \quad (5)$$

$$U_2' = \frac{(1-\mu)(r_1 + \delta)^2 r_2 + (1+\mu)(r_1 + \delta)^2 r_2 p}{E(r_2^2 - (r_1 + \delta)^2)} \quad U_2' \leq [U_2'] , \quad (6)$$

де: U_1', U_2' – внутрішнє і зовнішнє радіальні переміщення відповідно;

$[U_1'], [U_2']$ – допустиме внутрішнє і зовнішнє радіальні переміщення відповідно;

δ – величина прокородованого радіуса труби, м.

Величину δ можна визначити одним з методів неруйнівного контролю.

Рівноцінною умовам (5), (6) є виконання умови

$$[\sigma] \leq \varepsilon E, \quad (7)$$

де: $[\sigma]$ – допустиме напруження, МПа;
 ε – відносне видовження.

У даному випадку деформація елемента симетрична відносно осі і тому викличе радіальне переміщення всіх точок циліндра (рис. 4).

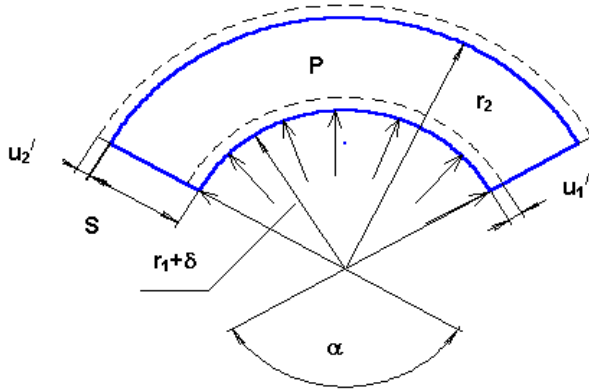


Рисунок 4 — Схема для розрахунку відносного видовження ε

Позначимо радіальне переміщення циліндричної поверхні радіуса $r_1 + \delta$ через U_1' , тоді переміщення циліндричної поверхні радіуса $r_1 + \delta + s$ буде $U_1' + U_2'$, де s – товщина стінки труби, яка рівна $r_1 + \delta - r_2$. Абсолютне радіальне видовження s буде дорівнювати U_2' , а відносне видовження

$$\varepsilon = \frac{U_2'}{s} = \frac{U_2'}{r_2 + \delta - r_1}. \quad (8)$$

Відносне видовження в тангенційному (коловому) напрямі на радіусі r знайдемо так. Довжина елемента по колу циліндричної поверхні радіуса $r_1 + \delta$ після приросту на величину U_1' рівна $(r_1 + \delta + U_1')\alpha$. Віднявши з кінцевої початкову довжину $r\alpha$, отримаємо абсолютний приріст довжини елемента на радіусі $r_1 + \delta$ в коловому напрямі

$$(r_1 + \delta + U_1')\alpha - (r_1 + \delta)\alpha = U_1'\alpha. \quad (9)$$

Поділимо абсолютне видовження на початкову довжину $(r_1 + \delta)\alpha$ і отримаємо колове відносне видовження

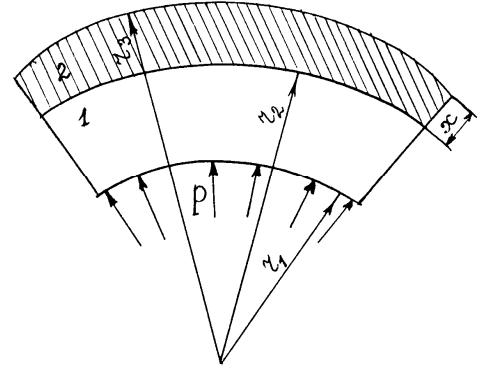
$$\varepsilon_\theta = \frac{U_1'\alpha}{(r_1 + \delta)\alpha} = \frac{U_1'}{r_1 + \delta}. \quad (10)$$

Отже, умову (7) можна записати так:

$$\frac{U_2'}{r_2 + \delta - r_1} \leq [\sigma] \geq \frac{U_1'}{r_1 + \delta}. \quad (11)$$

Якщо дана умова не виконуватиметься, то труба буде руйнуватись.

Двошарова труба. Розглядається конструкція труби з бандажем, що моделюється двошаровою оболонкою (рис. 5). У разі пошкодженого матеріалу труби на зовнішній її поверхні утворюють зміцнювальний шар. Припускаємо, що забезпечується ідеальний контакт його із силовим (внутрішнім) сталевим шаром.



1 – сталевая оболонка; 2 – зміцнювальний шар із композитного матеріалу (бандаж)

Рисунок 5 — Схема конструкції труби з бандажем

Використовуючи дискретний підхід до опису напружено-деформованого стану конструкції шаруватої будови, на підставі (1), (2) записуємо розв'язок для кожного шару труби окремо (далі для спрощення написання формул позначимо $r_1 = r_1 + \delta$, $\mu = \nu$).

Для основного шару ($r_1 \leq r \leq r_2$) маємо

$$\sigma_{rr}^{(1)} = A_1 + B_1 \frac{1}{r^2}; \quad (12)$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(1)} = A_1 - B_1 \frac{1}{r^2}; \quad (13)$$

$$u_r^{(1)} = \frac{1}{E_1} \left[A_1(1 - \nu_1)r - B_1(1 + \nu_1)\frac{1}{r} \right]. \quad (14)$$

Аналогічно записуємо розв'язок для зміцнювального шару ($r_2 \leq r \leq r_3$)

$$\sigma_{rr}^{(2)} = A_2 + B_2 \frac{1}{r^2}; \quad (15)$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(2)} = A_2 - B_2 \frac{1}{r^2}; \quad (16)$$

$$u_r^{(2)} = \frac{1}{E_2} \left[A_2(1 - \nu_2)r - B_2(1 + \nu_2)\frac{1}{r} \right]. \quad (17)$$

Величини з індексами 1,2 стосуються основного та зміцнювального шару труби відповідно.

Невідомі сталі A_1, B_1, A_2, B_2 в (12)-(16) та невідомий міжшаровий контактний тиск q знаходимо з таких умов навантаження на зовнішній ($r = r_3$) і внутрішній ($r = r_1$) поверхнях двошарової циліндричної оболонки:

$$\sigma_{rr}^{(2)} = 0 \text{ при } r = r_3, \quad (18)$$

$$\sigma_{rr}^{(1)} = -P \text{ при } r = r_1 \quad (19)$$

та умов контактної взаємодії шарів

$$\sigma_{rr}^{(1)} = -\sigma_{rr}^{(2)}; \quad (20)$$

$$\sigma_{rr}^{(2)} = -q; \quad (21)$$

$$u_r^{(1)} = u_r^{(2)} \text{ при } r = r_2. \quad (22)$$

Внаслідок задоволення цих умов отримуємо

$$A_1 = -P - B_1 \frac{1}{r_1^2}; \quad A_2 = -B_2 \frac{1}{r_3^2};$$

$$B_1 = Pr_2^2 C; \quad (23)$$

$$B_2 = P \frac{r_2^2}{1 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2} + B_1 \frac{\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 - 1}{1 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2},$$

де:

$$C = \frac{E_f - (1 - \nu_1) \left(1 - \frac{r_2^2}{r_3^2}\right)}{\left[\frac{r_2^2}{r_1^2} (1 - \nu_1) + (1 + \nu_2)\right] \left[\left(1 - \frac{r_2^2}{r_3^2}\right) - E_f \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} - 1\right)\right]},$$

$$E_f = \frac{E_1}{E_2} \left[(1 - \nu_2) \frac{r_2^2}{r_3^2} + (1 + \nu_2) \right].$$

На підставі (16)-(23) встановлюємо розрахункову формулу для контактної тиску

$$q = -P \left[1 + C \left(\frac{r_2^2}{r_1^2} - 1 \right) \right]. \quad (24)$$

Підставляємо значення $q = p_2$ у формулу (1) і отримуємо (далі повертаємось до попередніх значень $r_1 = r_1 + \delta$, $\mu = \nu$):

для внутрішнього шару

$$U_1'' = \left\{ (1 - \mu_1)(r_1 + \delta)^3 p_1 - r_2^2 q + (1 + \mu_1)(r_1 + \delta) r_2^2 (p_1 - q) \right\} \times$$

$$\times \left\{ E_1 \left(r_2^2 - (r_1 + \delta)^2 \right) \right\}^{-1}; \quad (25)$$

для зовнішнього шару

$$U_2'' = \left\{ (1 - \mu_1)(r_1 + \delta)^2 p_1 - r_2^2 q \right\} r_2 +$$

$$+ (1 + \mu_1)(r_1 + \delta)^2 r_2 (p_1 - q) \times$$

$$\times \left\{ E_1 \left(r_2^2 - (r_1 + \delta)^2 \right) \right\}^{-1}. \quad (26)$$

Тоді умову (11) слід записати так:

$$\frac{U_2''}{r_2 + \delta - r_1} \leq [\sigma] \geq \frac{U_1''}{r_1 + \delta}. \quad (27)$$

Оскільки $r_3 = r_2 + x$, де x – товщина зміцнювального шару, то її величину слід підбирати такою, щоб виконувалась умова (27).

Урахування пошкодженості матеріалу труби. Експлуатаційні характеристики (міцність, деформативність) труби залежать не лише від їхніх конструктивних параметрів, але й від пошкодженості матеріалу. Пошкодженість визначається як процес утворення і накопичення мікрodefektів. У більш широкому розумінні пошкодженість тлумачиться як зміна структури матеріалу, що зумовлює зміну його фізико-механічних властивостей. Причинами пошкодженості може бути як навантаження конструкції, так і технологічні недосконалості.

Використовуємо наближений спосіб оцінки впливу пошкоджень матеріалу типу мікротріщин на міцність двохшарової труби (рис. 5). Пружні характеристики пошкодженого матеріалу сталевий труби відповідно до континуальної теорії першого порядку у випадку середовища з пошкодженими обчислюємо за формулою [3]

$$E_1^n = E_1 \left[1 - \frac{16}{45} (10 - 3\nu_1) \frac{1 - \nu_1^2}{2 - \nu_1} \omega \right], \quad (28)$$

$$\nu_1^n = \nu_1 \left[1 - \frac{16}{45} (3 - \nu_1) \frac{1 - \nu_1^2}{2 - \nu_1} \omega \right],$$

де: E_1^n , ν_1^n ($\nu_1^n = \mu_1^n$) – ефективні модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона для пошкодженого середовища;

E_1, ν_1 ($\nu_1 = \mu_1$) – пружні характеристики суцільного матеріалу;

ω – параметр, що характеризує рівень пошкодження, $0 \leq \omega \leq 1$ (при $\omega = 0$ – непошкоджений матеріал, при $\omega = 1$ – зруйнований матеріал).

Зазначимо, що у випадку контактної взаємодії пошкодженої сталевий труби з композитним бандажем розрахунок контактної тиску (позначатимемо його через q_n) виконуємо за формулою (24). Але при цьому у формулі (24) для C потрібно замінити E_1, ν_1 на E_1^n, ν_1^n відповідно до (28).

Аналіз числових результатів

Розрахунок виконували для таких вхідних даних конструкції.

Геометричні параметри: $r_1 = 675 \text{ мм}$, $r_2 = 710 \text{ мм}$, $r_3 = r_2 + x$, x – товщина зміцнювального шару труби, що знаходиться шляхом її варіювання з умови рівномірності (27).

Пружні характеристики сталевий труби: $E_1 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $\nu_1 = 0,3$.

Допустиме напруження сталі $[\sigma] = 150$ МПа, робочий тиск $P = 50$ МПа, параметр пошкодженості матеріалу.

Пружні характеристики композитного бандажа приймали такими: $\frac{E_1}{E_2} = 4$; $\nu_2 = 0,2$.

Залежність товщини зміцнювального шару. У табл. 1 показано вплив відношення модулів пружності сталеві труби і композитного бандажа $\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$ на мінімальну товщину зміцнювального шару для $\omega = 0,35$.

Таблиця 1

E_1/E_2	10	4	2
x	69	27	13

Результати дослідження впливу рівня пошкодженості труби (параметри ω) на мінімальну товщину зміцнювального шару подані у табл. 2. Обчислення виконали для варіанта $\frac{E_1}{E_2} = 4$.

Таблиця 2

ω	0,2	0,35	0,5
x	8	27	51

Таблиця 3

δ	3	7	10
x	4	9	13

Як бачимо з табл. 2, 3, зі збільшенням пошкодженості сталеві труби потрібно використовувати товстіший бандаж.

УДК 550.834.5

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ НЕПОЗДОВЖНЬОГО СЕЙСМІЧНОГО ПРОФІЛЮВАННЯ СГТ

В.В.Гневуш, Д.Н.Ляшук

*Західно-Українська геофізична розвідувальна експедиція,
79040, м. Львів, вул. Данила Апостола, 9А*

Статья посвящена вопросам изучения эффекта группирования сейсмоприемников и источников возбуждения на непродольных профилях. Путем использования НП ОГТ удалось расширить возможности сейсморазведки в сложных поверхностных условиях, где прокладывания продольных профилей усложнено или невозможно.

Методику непоздовжнього багатократного сейсмічного профілювання з обробкою даних

способом спільної глибинної точки (НП СГТ) геофізики ЗУГРЕ почали застосовувати в Карпатському регіоні в 70-х роках минулого століття. Причиною цього є деякі переваги даної

Висновки

1. Запропоновано методику обчислення міцності сталевих руб з пошкодженням від дії внутрішнього тиску за наявності композитного бандажа.

2. Досліджено вплив пружних характеристик композитного матеріалу, з якого виготовлено бандаж, рівня пошкодженості труби, величини прокородованої ділянки труби на товщину зміцнювального шару.

3. Для заданих конструктивних і технологічних характеристик встановлено потрібну мінімальну товщину зміцнювального шару, за якої труба з пошкодженням є рівномірною звичайній сталевій трубі без пошкоджень.

Література

1. Аношкин А.Н., Ташкинов А.А., Ларионов А.Ф., Поспелов А.Б. Бипластмассовые трубы для внутрипромысловых нефтепроводов высокого давления // Механика композитных материалов. – 2002. – № 3. – Т. 36. – С. 407-418.
2. Писаренко Г.С., Квітна О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів / За ред. Г.С. Писаренка. – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
3. Салганик Р.Л. Механика тел с большим числом трещин // Изв. АН СССР: Механика твердого тела. – 1973. – № 4. – С. 149-158.
4. Копей Б.В., Розгонюк В.В., Максимук О.В., Щербина Н.В., Найда А.М. Зміцнення пошкоджені сталеві труби композитним бандажем: модель і розрахунок // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2003. – №5(5). – С.31-36.

Paper is devoted to questions of studying effect of grouping seismic receivers and sources of excitation of fluctuations on not longitudinal lines. By way of using methodic of not longitudinal profiling of the CDP it is possible to increase opportunities of seismic prospecting in difficult superficial conditions where to laying longitudinal sections (profiles) is difficultly or it is impossible.

методику порівняно з методикою поздовжнього профілювання. Основною з них є можливість