

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ЭДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Сарычев В.А. Исследование динамики системы гравитационной стабилизации // Искусственные спутники Земли. М.: Изд. АН СССР, 1963. №16. С.10-33.
2. Цыпкин Я.З., Бромберг П.В. О степени устойчивости линейных систем // Изв. АН СССР. Отделение технич. наук. 1945. №12. С.1163-1168.
3. Borelli R.L., Leliakov I.P. An optimization technique for the transient response of passively stable satellites // J. of Optimization Theory and Applications. 1972. V.10. №6. P.344-361.
4. Сарычев В.А., Сазонов В.В. Оптимальные параметры пассивных систем ориентации спутников // Космич. исслед. 1976. Т.14. №2. С.198-208.
5. Сарычев В.А., Мирер С.А. Оптимальные параметры гравитационной системы спутник-стабилизатор // Космич. исслед. 1976. Т.14. №2. С.209-219.

6. Sarychev V.A., Mirer S.A., Sazonov V.V. Plane oscillations of a gravitational system satellite-stabilizer with maximal speed of response // Acta Astronautica. 1976. V.3. №9-10. P.651-669.
7. Сарычев В. А. Вопросы ориентации искусственных спутников // Итоги науки и техники: Исследование космического пространства. Т. 11. — М.: ВИНТИ, 1978. — 223 с.
8. Охочимский Д.Е., Сарычев В.А. Система гравитационной стабилизации искусственных спутников // Искусственные спутники Земли. № 16 — М.: Изд. АН СССР, 1963. — С. 5–9.
9. E.E. Zajac. ARS J., 32, No. 12, 1871, 1962.
10. Sarychev V.A., Proc. of the Sec. Intern. Conf. on Space Engng, Venice, 1969, p. 574.
11. Сарычев В.А., Сеабра А.М., Сантуш Л.Ф., Динамика гравитационной системы спутник-стабилизатор на круговой и эллиптических орбитах. Космич. Исслед., 2006, Т.44. №1. 93-69.

Deineha R.O.

Assistant Department of Oil and Gas Field Machinery and Equipment
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Ivasiv V.M.

DSc, Professor Department of Construction and Civil Engineering
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Mykhailiuk V.V.

Associate Professor, PhD (in engineering)
Department of Oil and Gas Field Machinery and Equipment
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Faflei O.Y.

Assistant Department of Construction and Energy Efficient Structures
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

RESEARCH OF THE EFFECT OF THE BANDAGE ON THE DEFECT PIPELINE

Дейнега Р.О.

Асистент кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Івасів В.М.

Професор кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Михайлюк В.В.

Доцент кафедри нафтогазових машин та обладнання
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Фафлей О.Я.

Асистент кафедри будівництва та енергоефективних споруд
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАНДАЖУ НА ДЕФЕКТНУ ДІЛЯНКУ ТРУБОПРОВОДУ

Summary. Thousands of kilometers of steel pipelines are operated in Ukraine to transport oil, gas, petroleum products, water, ammonia and the like. The aggressive effects of transportation products, external short-term and prolonged force effects in combination with the environment often cause defects such as metal loss on the surface of pipelines, dents, scratches, caverns and the like. All these defects in the process of operation will lead to the formation and growth of fatigue cracks that cause the pipeline to collapse. This inevitably requires repairing their defective areas or transferring the pipeline to a new, more moderate mode of operation.

Today, many different methods of repairing damaged sections of pipelines are used, which are aimed at extending its service life.

In the work the analysis of modern domestic and world technologies of repair of pipelines with use of couplings (bandages) is carried out. Depending on the type of defect, its dangers and geometrical parameters, different clutches can be applied, which have both advantages and disadvantages.

Therefore, the influence of the bandage, which is installed on the defective section of the pipeline by using simulation modeling, is investigated.

It is established that the application of a bandage to a defective section of the pipeline reduces the magnitudes of stresses that occur both in the defect zone and in the wall, almost twice. In terms of the number of cycles to fracture (taking into account the effect of the pressure ripple during the year), they increase from 12230 to 371530 when applying the bandage.

Анотація. Для транспортування нафти, газу, нафтопродуктів, води, аміаку тощо, в Україні експлуатується тисячі кілометрів сталевих трубопроводів. Агресивний вплив продуктів транспортування, зовнішні короточасні та тривалі силові впливи у поєднанні з навколишнім середовищем часто спричиняють утворення дефектів, таких як втрата металу на поверхні магістральних трубопроводів, вм'ятини, подряпини, каверни та тощо. Всі ці дефекти у процесі експлуатації приведуть до зародження та росту втомних тріщин, що спричиняють руйнування трубопроводу. Це неминуче вимагає ремонту їх дефектних ділянок або перевodu трубопроводу на новий, більш помірний режим роботи.

Сьогодні застосовують багато різноманітних способів ремонту пошкоджених ділянок трубопроводів, які спрямовані на подовження його терміну експлуатації.

У роботі проведено аналіз сучасних вітчизняних та світових технологій ремонту трубопроводів із використання муфт (бандажів). Залежно від типу дефекту, його небезпеки та геометричних параметрів можуть застосовуватися різні за конструкцією муфти, які мають як ряд переваг так і недоліків.

Тому досліджено впливу бандажу, який встановлюється на дефектну ділянку трубопроводу за допомогою використання імітаційного моделювання.

Встановлено, що застосування бандажу на дефектну ділянку трубопроводу знижує величини напружень, що виникають як у зоні дефекту, так і у стінці, майже у два рази. Щодо кількості циклів до руйнування (із врахуванням впливу пульсації тиску протягом року), то при застосуванні бандажу вони збільшуються із 12230 до 371530.

Keywords: *pipeline, bandage, simulation, defect, fatigue cracks*

Ключові слова: *трубопровід, бандаж, імітаційне моделювання, дефект, втомні тріщини*

Постановка проблеми

Сьогодні в Україні експлуатується тисячі кілометрів сталевих трубопроводів (магістральних, промислових, міських, міжміських, внутрішньозаводських). Вони призначені для транспортування нафти, газу, нафтопродуктів, води, аміаку тощо. Багато з них відпрацювали більше 40 років.

Агресивний вплив продуктів транспортування, зовнішні короточасні та тривалі силові впливи у поєднанні з навколишнім середовищем часто спричиняють утворення дефектів, таких як втрата металу на поверхні магістральних трубопроводів, вм'ятини, подряпини, каверни та тощо. Всі ці дефекти у процесі експлуатації приведуть до зародження та росту втомних тріщин, що спричиняють руйнування трубопроводу. Це неминуче вимагає ремонту їх дефектних ділянок або перевodu трубопроводу на новий, більш помірний режим роботи.

Сьогодні застосовують багато різноманітних способів ремонту пошкоджених ділянок трубопроводів, які спрямовані на подовження його терміну експлуатації.

В певній мірі будь-який спосіб ремонту дефектної ділянки трубопроводу повинен зменшити вплив на неї робочих навантажень та середовищ. Тому у статті розглядаються способи ремонту трубопроводу та вплив на дефектну ділянку, що містить тріщини, зовнішнього ремонтного покриття та режиму роботи трубопроводу протягом одного року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Технології ремонту з встановленням сталевих муфт. Аналіз вітчизняних і закордонних технологій ремонту трубопроводів показує, що сьогодні у світовій практиці існує ряд методів, які дозволяють проводити їх ремонт без зупинки. Одними з перспективних є технології ремонту, що передбачають встановлення на їх поверхні муфт (бандажів). Залежно від типу дефекту, його небезпеки та геометричних параметрів можуть застосовуватися різні за конструкцією муфти:

- без герметизації (обтискні): короткі та довгі;
- герметизуючі (приварні): герметичні (короткі та довгі, із заповненням і без заповнення), галтельні, посилені [1], пляшкові.

Кожна із цих муфт призначена для ремонту дефектів певного типу та певної довжини. За допомогою набору конструкцій таких муфт можуть бути відремонтовані такі дефекти, як корозія, подряпини, розшарування, дефекти зварних швів, вм'ятини, гофри, комбіновані дефекти (типу вм'ятини з ризикою).

Дані технології мають наступні основні недоліки [2]:

- необхідність застосування зварювання на поверхні нафтопроводу, заповненого нафтою (для приварних муфт);
- відсутність універсальності конструкції, застосовної для будь-яких типів дефектів;
- відсутність можливості ремонту тріщин в основному металі та зварних швах;

- проблема ремонту труб з овальностями (навіть із невеликими до 1%);
- складність здійснення повного контакту муфти з дефектною трубою по всій ремонтваній поверхні;
- можливість виникнення корозійних процесів у просторі між трубою та муфтою (для приварних муфт), що викликає необхідність заповнення цього простору антикорозійними матеріалами.

Технології ремонту із застосуванням пластикових муфт. Розроблені способи ремонту, що поєднують холодне зварювання та кільцеві муфти [3]. Для виготовлення муфт використовують багатшарове намотування високоміцної пластикової стрічки на трубу. На відміну від металевих, пластикові муфти швидко встановлюють на трубі без використання відкритого полум'я та електричної дуги і не вимагають припинення транспортування продукції трубопроводом. Щоб забезпечити можливість перерозподілу навантаження між трубою та муфтою при наступному підвищенні робочого тиску, потрібно створити умови, за яких матеріал муфти надійно зчеплений з металом труби, деформується разом з ним і не проковзує по її поверхні. Для цього формування муфти здійснюють шляхом щільного огортання пластикової стрічки навколо труби та розміщення між шарами стрічки, а також між стрічкою та металом, тонкого проміжного шару з матеріалу, що володіє адгезією до пластику та металу. Роль сполучного наповнювача в цьому випадку така ж, як і при холодному зварюванні. Однак у цьому випадку за рахунок ефективнішого застосування сполучного наповнювача вдається частково або повністю відновити несучу здатність дефектної ділянки трубопроводу.

Зниження внутрішнього тиску в трубопроводі (розвантаження) може викликати відшарування муфт, встановлених на трубі при робочому або близькому до робочому тиску. Це може призвести до часткової або повної втрати муфтою несучих властивостей.

Технологія фірми Clock Spring (США). В 1993 році американська фірма "Clock Spring CO." одержала ліцензію на розробку та використання методу ремонту, заснованого на застосуванні муфт із пружної композиційної стрічки, так званої "Годинникової пружини" (Clock Spring) [4].

Стрічка зі скловолокна шириною 12 дюймів (305 мм) намотується на дефектну ділянку в 8 шарів, кожний товщиною в 0,06 дюймів (1,5 мм) (рис. 1). На спеціально підготовлену поверхню труби та між шарами стрічки наноситься адгезія (клеючий склад - ізофталева смола). Дана технологія використовується для трубопроводів діаметром від 6 до 56 дюймів (152-1422 мм). Термін виконання такого ремонту трубопроводу зазвичай складає біля 2-х годин.

Технологія фірми "Clock Spring CO" використовується для ремонту нафтопроводів, що мають втрату товщини стінки до 80% за умови плавного обрису профілю дефекту [5]. Довжина муфти повинна не менш ніж на 50 мм із кожної сторони перекривати дефект, тобто однією муфтою можна ремонтувати дефекти довжиною не більше 180 мм. Для ремонту більше довгих дефектів потрібно встановлювати встик необхідну кількість муфт.

При своїй простоті дана технологія має такі недоліки:

- неможливість ремонту тріщин у поздовжньому та кільцевому зварному швах, дефектів втрати металу з гострим профілем (подряпини, задири);
- неможливість ремонту дефектів втрати металу на внутрішній поверхні труби;
- при наявності довгих дефектів необхідно робити установку декількох поруч розташованих муфт (шириною по 305 мм), заробляти стики між ними адгезивом: це в кілька разів підвищує трудомісткість і вартість ремонту та приводить до додаткових проблем із забезпечення герметичності кільцевих стиків.



Рисунок 1 – Монтаж муфти Clock Spring

Проте цей спосіб не виключає участі техніки в проведенні ремонту, тому що для намотування стрічки потрібно мати вільний (співрозмірний діаметру труби) навколотрубний простір у зоні проведення ремонту.

Технології ремонту із застосуванням склопластикової муфти. Наприкінці 1990-х російські розробники запропонували конструкцію обтискової склопластикової муфти РСМ (ЗАТ «Нові Технології») (рис. 2).



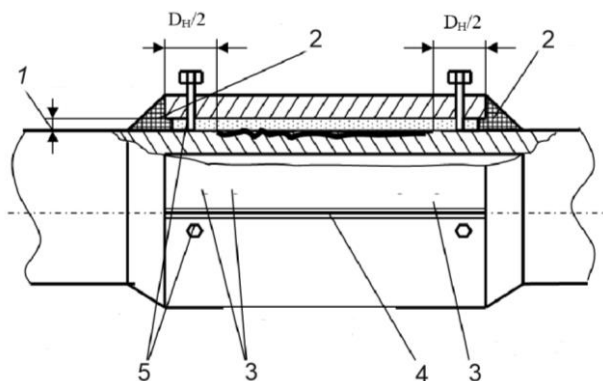
Рисунок 2 – Муфта PCM

Взявши за основу застосування склопластику з однонаправленого склоровінга, аналогічно Clock Spring, виготовили дві напівмуфти із заставними металевими деталями замість фланців. Напівмуфти стягаються між собою шляхом поперемінного згвинчування восьми шпильок. За рахунок прикладання моменту затягування різьбових з'єднань створюється зовнішній тиск на ремонтвану ділянку трубопроводу, що розвантажує її стінки. Для цієї конструкції властиві наступні недоліки:

- обмеження ремонту за типорозмірами труб (720...1420 мм);
- неможливість повного перекриття по периметру через конструкцію вузла затягування;
- розгвинчування при тривалих вібраційних навантаженнях, як наслідок застосування шпильок

з різнобічними різьбами і неможливості установки граверних шайб.

Композитно-муфтова технологія фірми British Gas. Композитно-муфтова технологія (КМТ) ремонту фірми British Gas заснована на використанні сталевих муфт, у яких кільцевий зазор між муфтою та трубою заповнюється композитним матеріалом (епоксидною або поліестеровою смолою), що повністю затвердіває протягом доби (рис. 3). Згідно [6], ця технологія протягом 15 років успішно застосовується на трубопроводах компанії British Gas в усьому світі при ремонті трубопроводів різного призначення: для перекачування газу, нафти, нафтопродуктів, хімічних продуктів.



1 – кільцевий зазор; 2 – торцевий герметик; 3 – контрольні отвори;
4 – зварний шов; 5 – центрувальні болти

Рисунок 3 – Композитна муфта British Gas

Метод ремонту за технологією British Gas дозволяє ремонтувати практично всі типи дефектів нафтопроводів у широкому діапазоні зміни їхніх геометричних параметрів [7], призначена для постійного ремонту різних типів дефектів: корозія, вм'ятини, тріщини, розшарування, rischi і їх комбінації.

Муфти можуть встановлюватися як на прямих так і на криволінійних ділянках трубопроводу.

За допомогою КМТ можуть ремонтуватися дефекти довільної довжини (для цього застосовуються муфти стандартної довжини від 1

до 3 м), у тому числі та дуже довгі дефекти (до 20 м) - за допомогою муфт складеної конструкції, що зварюються з декількох муфт стандартної довжини.

Однак при всіх зазначених перевагах КМТ їй властиві такі недоліки:

- збільшення трудомісткості ремонту в зимовий період (пов'язане з необхідністю забезпечення температури застигання композитного матеріалу не нижче +3°C; для місцевого підігріву навколишнього повітря в зоні ремонту використовуються дизель-генераторні установки);

- необхідність зниження тиску в нафтопроводі на час установки муфти на 15-30 % від фактичного тиску.

Підсилююча композиційна муфта трубопроводів (ПКМТ). Використання муфт ПКМТ

дозволяє здійснювати швидкий, недорогий, порівняно простий і разом з тим надійний ремонт трубопроводів.



Рисунок 6 – Муфта ПКМТ

Принцип роботи ПКМТ – це компенсація внутрішнього тиску в трубопроводі за рахунок створення контактного тиску зовні при значній величині моменту затягування болтових з'єднань, що дозволяє проводити монтаж при робочих тисках у трубопроводі з гарантованою якістю, на відміну від муфт установлюваних без створення попереднього натягу. Муфта складається із двох напівоболонки, з'єднаних між собою з однієї сторони шарніром, а з іншої – чотирма болтовими з'єднаннями. Її відмінність від існуючих сьогоднішні типів ремонтних муфт – широкий спектр типорозмірів ремонттованих труб (89...1420 мм), повне перекриття ремонттованої ділянки, простота монтажу, висока швидкість проведення ремонту та малий об'єм підготовчих робіт. Для ремонту труб малого діаметра з метою встановлення ПКМТ досить вручну викопати невеликий шурф і за 15-20 хвилин відремонтувати дефектну ділянку. Це досить важливо, якщо, наприклад, у цей час доводяться ще й відкачувати ґрунтові води.

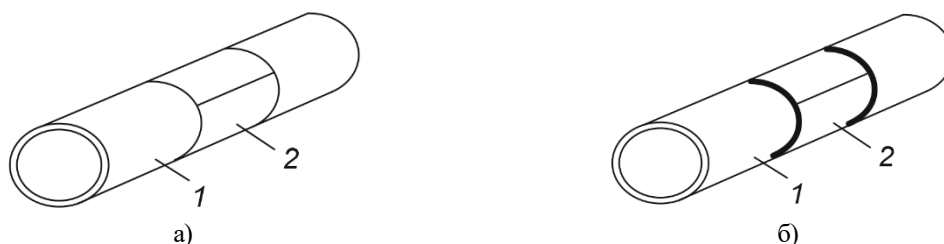
Ремонт магістральних газопроводів з використанням зварювальних і споріднених технологій без зупинки перекачування газу. Існуючі способи відновлення працездатності робочих трубопроводів, що перебувають під тиском газу, можна розділити на дві групи: безвогнєві та вогнєві.

Безвогнєві способи відновлення трубопроводів засновані на застосуванні

склопластикових оболонок, бандажуванні труб за допомогою сталевих кілець, дротів або стрічки. Застосування даних способів утруднено через громіздкість обладнання та дороговизни матеріалів (склопластиків, епоксидних смол), а також високими вимогами до підготовки поверхні труби. Проблематичним є питання забезпечення довговічності трубопроводів, відновлених безвогнєвими способами, при значних циклічних навантаженнях. Використання даних способів можливо тільки там, де гарантується відсутність ерозійного зношування та корозії внутрішньої поверхні стінки трубопроводу. У іншому випадку трубопровід може бути виведений з експлуатації за короткий строк після ремонту внаслідок утворення наскрізних корозійних пошкоджень. Застосування склопластикової оболонки може також не забезпечити необхідної довговічності трубопроводів через швидке старіння використовуваних матеріалів.

До вогнєвих способів належать ті, у яких застосовується дугове зварювання або наплавлення металу. За допомогою зварювання проводиться приварка муфт, латок. Наплавленням металу відновлюється стінка трубопроводу.

У закордонній і вітчизняній практиці найбільше застосовуються для відновлення міцності ділянок з поверхневими дефектами великої площі охоплюючі зварні муфти двох типів "А" і "В" (Рис. 4).



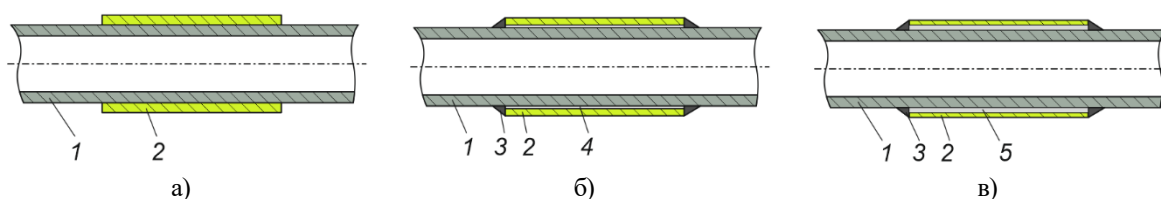
а – муфта типу А (кінці бандажу не зварені); б – муфта типу В (кінці бандажу приварені);
1 – труба; 2 – бандаж

Рисунок 4 – Охоплюючі зварні муфти

Муфта типу "А" зручна тим, що встановлюється на трубопроводі без приварювання до труби й виконує роль силового елемента, що збільшує міцність пошкодженої частини труби. Проте вона не призначена для сприйняття навантаження від внутрішнього тиску у трубопроводі і може використовуватися тільки для усунення ненаскрізних дефектів.

Для того, щоб муфта могла зменшити кільцеві напруження, що виникають у місці пошкодження труби, вона повинна бути встановлюватись на ній без зазору. Перевагою застосування муфти типу "А" перед іншими типами є її ефективна робота на коротких дефектних ділянках, що полягає в запобіганні випучування стінок труби в зоні дефекту. Оскільки при короткій довжині у муфті не виникає значних кільцевих напружень, товщину її стінки варто брати рівною товщині стінки труби. Для надійного запобігання руйнуванню стінки труби необхідно збільшити довжину муфти орієнтовно на 100 мм за межі дефектної зони. Очевидно, що цей тип муфти не повинен застосовуватися для посилення ділянки з кільцевими дефектами, тому що муфта не сприймає поздовжніх навантажень.

Муфта типу "В" відрізняється від муфти типу "А" тим, що краї муфти приварюються кутовим швом до труби трубопроводу. Муфти типу "В" використовуються для посилення ділянок трубопроводу з наскрізними дефектами та дефектами кільцевої орієнтації. Звідси випливає, що муфта типу "В" повинна витримувати робочий тиск ремонтного трубопроводу та досить значні поздовжні зусилля від поперечних навантажень, що діють на нього. Отже муфта типу "В" повинна бути високоміцним конструктивним елементом, що підвищує вимоги до технології виготовлення таких муфт. Зокрема, через необхідність витримувати робочий тиск, з'єднання двох половин сегмента труби повинне виконуватися якісним стиковим зварюванням на повну товщину, тому що зварювання внахлест із підкладкою є менш міцним. Чим довшою є муфта, тим важче забезпечити щільне її прилягання до трубопроводу. Оскільки нещільне прилягання негативно позначається на міцності поздовжнього шва, що з'єднує напівмуфти, довжину таких муфт намагаються обмежити трьома метрами. Муфти типу "А" і "В" прилягають до труби по периметрі в декількох точках, а в інших місцях виникає технологічний зазор (рис. 5, а, б, в).



а) повноохоплююча ремонтна муфта типу "А"; б) ремонтна муфта типу "В" (з технологічним зазором); в) ремонтна муфта типу "В" з порожниною, заповненою антикорозійною рідиною; 1 – труба; 2 – муфта; 3 – зварний шов; 4 – технологічний зазор; 5 – антикорозійна рідина

Рисунок 5 – Посилюючі муфтові конструкції

Розрізняють наступні види таких муфт: якщо зазор нічим не заповнений - це незаповнена муфта, якщо зазор заповнений яким-небудь полімерним матеріалом (звичайно застосовують епоксидний заповнювач) - це заповнений тип муфти, а для муфт типу "В" ще існує герметизований вид [1, 8] (рис. 5, в). Герметичні муфти типу "В" у випадку їх приварки до труби без врахування термічних деформацій, коли зварювання виконане електродами з недостатньо пластичними властивостями, можуть виявитися менш міцними, ніж муфти типу "А". Разом з тим, муфти типу "В", при якісному виконанні зварних швів здатні забезпечити надійну роботу при напруженнях у стінці труби на рівні границі текучості сталі, тобто при внутрішніх тисках які в 1,3-1,4 рази перевищують робочий тиск.

Найбільшу небезпеку для трубопроводів створюють комбіновані дефекти типу глибоких вм'ятин і гофр з надрізами, тріщинами, корозійними пошкодженнями наскрізного або поверхневого характеру. Для посилення ділянок трубопроводу із такими дефектами є досить ефективними оболонкові конструкції типу "труба в

трубі", коли відстань між трубопроводом і посилюючим кожухом значно перевищує технологічний зазор у муфтах типу "В" і ця порожнина використовується для заповнення спеціальними складом (не корозійно-активна рідина, бетон, цементно-піщаний заповнювач, епоксидно-утримуючі розчини). Посилююча конструкція з не корозійно-активним заповнювачем дозволяє зупинити ріст корозійних пошкоджень металу й разом із цим, за рахунок перерозподілу тиску між основною трубою й захисною оболонкою відбувається зниження величини напружень у стінках трубопроводу.

При пошкодженні трубопроводу з порушеннями геометрії труби застосовують посилюючу оболонкову конструкцію із заповненням міжтрубного простору бетоном або піщано-цементним заповнювачем, оскільки затверділі розчини перешкоджають вільним переміщенням стінок труби в зоні, наприклад у вм'ятині. При виборі технології монтажу такої конструкції варто враховувати можливі усадки бетону або піщано-цементного заповнювача під час

його затвердіння, що приводять до виникнення зазорів між стінками труби й захисної оболонки.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Яким би із вище розглянутих способів не відбувався ремонт трубопроводу, в процесі його подальшої експлуатації відбуватимуться перерозподіл напружень як у дефектній частині так і у бандажі. Залежно від того, як працюватиме бандаж разом із дефектною ділянкою трубопроводу при зміні внутрішнього робочого тиску трубопроводу (циклічного навантаження), буде визначатися і термін його експлуатації.

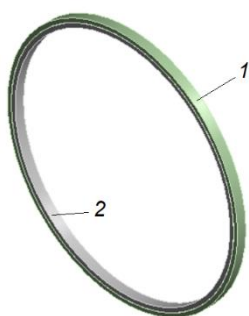
Метою роботи є дослідження впливу бандажу, який встановлюється на дефектну ділянку трубопроводу за допомогою використання імітаційного моделювання.

Викладення основного матеріалу

Для дослідження напружено-деформованого стану дефектної ділянки трубопроводу побудовано її тримірну модель (рис. 1). Розглядалася труба діаметром 530 мм з товщиною стінки 9 мм та бандаж товщиною також 9 мм. Для спрощення розрахунку довжину труби та бандажу взято рівними 30 мм.

Граничними умовами при моделюванні прийнято тиск на внутрішню стінку труби (5 МПа) та застосування спеціальних умовних пружин для підтримання моделі (Weak Springs).

Для імітації дефекту (тріщини) труби застосовано функцію програми Ansys «Fracture». Побудовано у стінці труби напівеліптичну тріщину, зображену на рис. 2.



1 – трубопровід; 2 – бандаж

Рисунок 1 – Модель для дослідження

Побудовано сітку кінцевих елементів, особливістю якої є використання елементу «Sphere of Influence», що дало змогу у виділеній зоні (рис. 3) згустити елементи сітки.

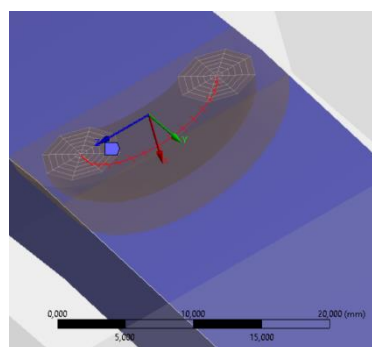
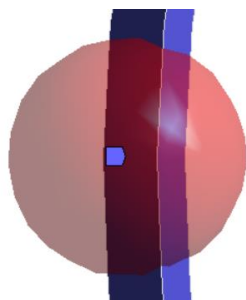
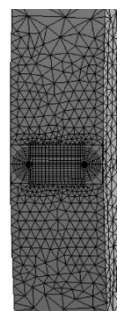


Рисунок 2 – Модель тріщини на зовнішній поверхні трубопроводу

Body Sizing
17.02.2020 13:14
Body Sizing



а)



б)

а – об'єм, у якому параметри сітки кінцевих елементів відмінні від іншої частини моделі; б – згущена сітка та сітка тріщини

Рисунок 4 – Сітка кінцевих елементів

Оскільки робота трубопроводу супроводжується зміною у ньому робочого тиску, то для дослідження втоми задано зміну тиску протягом року.

Залежність, що описує цю зміну, наведена на рис. 5.

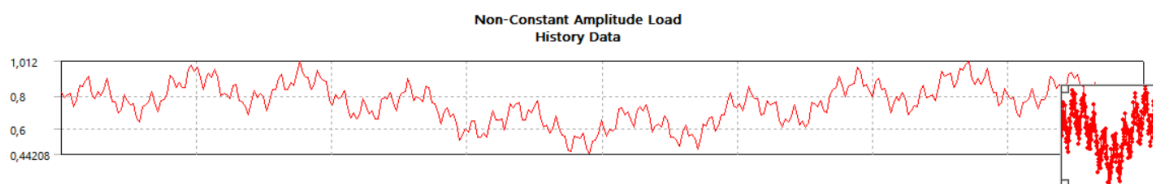


Рисунок 5 – Апроксимована залежність тиску газу у газопроводі протягом року (пульсації внутрішнього тиску)

Спочатку імітаційне моделювання проводилось для моделі трубопроводу без бандажу. При цьому отримані величини еквівалентних напружень та кількість циклів до руйнування (рис. 6-7).

Слід зауважити, що для зручності перегляду отриманих результатів відображення деформацій збільшено в 170 разів порівняно із реальними.

На рис. 8 зображено розподіл еквівалентних напружень у стінці труби.

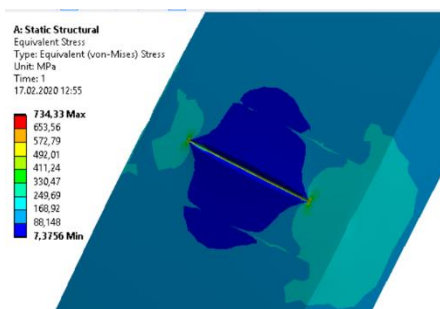


Рисунок 6 – Розподіл еквівалентних напружень у тріщині стінки трубопроводу

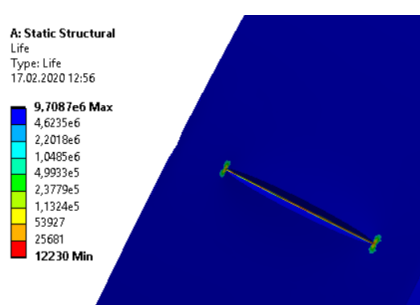


Рисунок 7 – Кількість циклів до руйнування

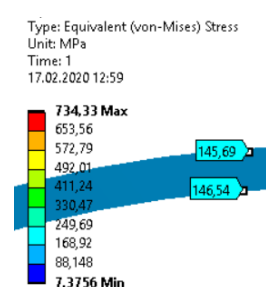


Рисунок 8 – Розподіл еквівалентних напружень у стінці труби

Далі наведені результати імітаційного моделювання моделі трубопроводу із

встановленим бандажем. Для зручності перегляду результатів бандаж зроблено невидимим.

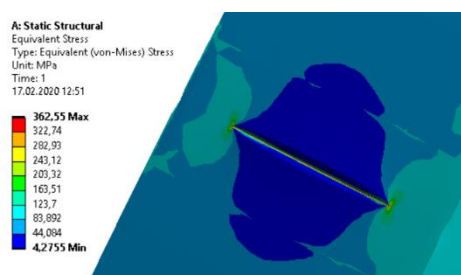


Рисунок 9 – Розподіл еквівалентних напружень у тріщині стінки трубопроводу (з врахуванням дії бандажу)

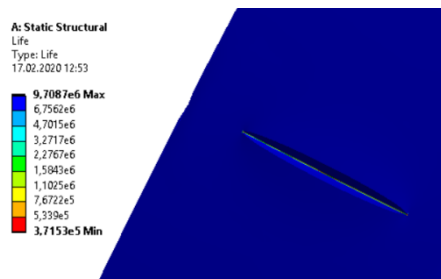


Рисунок 10 – Кількість циклів до руйнування (з врахуванням дії бандажу)

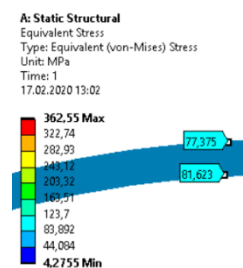


Рисунок 11 – Розподіл еквівалентних напружень у стінці труби (з врахуванням дії бандажу)

Отже, використання бандажу, для подовження експлуатації трубопроводу, на якому є дефекти має позитивний вплив. Встановлено, що значення еквівалентних напружень як у стінці труби так і у зоні дефекту (із врахуванням впливу пульсації тиску протягом року) при встановленні бандажу знижується майже у 2 рази, кількість циклів навантаження до руйнування без бандажу становить 12230, а із бандажем – 371530.

Висновки

Аналіз способів ремонту трубопроводів показав, що сьогодні у світі застосовується їх значна кількість. В загальному, вони відрізняються між собою різними параметрами, хоча у всіх є одна мета – подовжити термін експлуатації трубопроводу.

Оскільки найбільшого поширення здобули способи ремонту трубопроводів за допомогою бандажів, що встановлюються на його зовнішню поверхню, то у статті проведено імітаційне

дослідження напружено-деформованого стану дефектної ділянки труби.

Встановлено, що застосування бандажу на дефектну ділянку трубопроводу знижує величини напружень, що виникають як у зоні дефекту, так і у стінці, майже у два рази. Щодо кількості циклів до руйнування (із врахуванням впливу пульсації тиску протягом року), то при застосуванні бандажу вони збільшуються із 12230 до 371530.

Список літератури:

1. Мазель А.Г., Гобарев Л.А. и др. Работоспособность сварных муфт для ремонта дефектов трубопроводов под давлением// Строительство трубопроводов. - 1996. - №1. - С. 16-22.
2. Черняев К.В. Разработка системы предупреждения отказов и продление срока службы магистральных нефтепроводов России. Дис... д.т.н. -М., 1988. 348 с.

3. Зандберг А.С., Тарлинский В.Д. Механизм перераспределения нагрузок при ремонте трубопроводов с применением пластиковых муфт // Сварочное производство. -2000. -№ 12. - С.11-18.

4. Reissner E. Note on the effect of transverse shear deformation in laminated anisotropic plate // Comput. Meth. Appl. Mech. and Eng., 1979. 20, №2. p.203-209.

5. Хачалов Г.Б. Расчет ортотропных составных пластинок // Изв. вузов. Строительство. - 1992. - №4. - С.29-32.

6. Кордер И. Ремонт магистральных нефтепроводов муфтами, заполненными

эпоксидной смолой, как надежный, наилучший и дешевый метод (В.Г.Е.858). 58-ой осенний симпозиум IGE 24-25 ноября 1992г., Лондон.

7. Эксплуатация магистральных нефтепроводов. Справочное издание / Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. С. 18-19.

8. Мазель А.Г., Гобарев Л.А., Нагорнов К.М., Рыбаков А.И. Сварные муфты для ремонта трубопроводов. // Газовая промышленность, 1996, №9-10, с.55-57.

Kuchynskyi K.A.¹

*doctor of sciences (engineering),
leading research worker*

Kramarskyi V.A.¹

*candidate of sciences (engineering),
senior research worker*

Hvalin D.I.²

*candidate of sciences (engineering),
acting scientific secretary*

Mystetskyi V.A.^{1,2}
engineer

¹*Institute of Electrodynamics, NAS of Ukraine*

²*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine*

RESIDUAL LIFE AND HEAT CONTROL OF A TURBOGENERATOR STATOR WINDING INSULATION

Abstract. Residual life and heat control method of a turbogenerator stator winding insulation based on the regular heat control data and the temperature excess regressive dependences for load conditions parameters is presented. It is shown, that the reliability for insulation residual life definition of a generator stator windings is higher when the calculated value of maximum temperature is taken for the insulation temperature, rather than the resistance thermometers readings installed in the slots.

Keywords: *powerful turbogenerator, end zone, control, diagnostics, stator core, stator winding insulation, temperature.*

Continuous state control of electrical machines windings insulation and the possibility of ensuring the parameters reliable prediction characterized its condition allow significantly improves the reliability and the safety of machine. Dependence of insulation defects development speed on the load conditions, structural and technological features, operating time of an electrical machine determines the probability of damage and excessive wear windings. The probability of winding insulation damage can be reliably estimated in case of analysis in three directions: continuous and periodic control data, trend of parameters, resource characteristics («life history» analysis).

The definition and prediction state of electrical machines windings insulation can be made with help the heuristic and statistical analysis based on deterministic methods. The heuristic analysis is mostly associated with the use of expert systems, when experts determines the insulation state based on intuitive knowledge with help the insulation parameters and according to the developed rules. Dependencies of residual life on the parameters of these processes, in

particular, the so-called «life formulas» can be constructed on the basis of physical processes studies. The prediction state of electrical machines windings is also performed according to the trend of parameters. Moreover, the diagnosis is made at an arbitrary time interval.

The insulation life can also be determined by «life history» data, which determines the change tendency of diagnostic parameters and load characteristics in the presence of technological characteristics information, load and operating conditions of an electrical machine.

For powerful turbogenerators the most important parameter determines the winding insulation life is, first of all, temperature. Electrophysical and mechanical parameters significantly affect the windings insulation life. If the influence of the latter parameters is less studied and their control is practically not carried out, then the windings temperature control is carried out continuously with the installation of temperature sensors depending on a turbogenerator type at almost every winding bar.