



Ю.М. Дьомін, пошукувач, Національний
технічний університет України (НТУУ «КПІ»)

ОЦІНКА КОНСТРУКТИВНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

АННОТАЦІЯ. Розглянуто існуючі методи нанесення захисного покриття на магістральні трубопроводи. Проаналізовано вплив швидкості нанесення захисного покриття на якість проведення роботи.

АННОТАЦИЯ. Рассмотрены существующие методы нанесения защитного покрытия на магистральные трубопроводы. Проанализировано влияние скорости нанесения защитного покрытия на качество проведения работы.

ANNOTATION. The existent methods of causing of sheeting are considered on main pipelines. Influence of speed of causing of sheeting is analysed on quality of lead through of work.

Актуальність проблеми. Одним із основних факторів, що впливають на стан магістральних трубопроводів, є корозія металу. Діагностування трубопроводів показує, що найбільш значні пошкодження матеріалу труб виникають внаслідок невідповідного стану ізоляційного покриття. Тому рішення проблеми розробки ефективного обладнання для нанесення ізоляційного покриття є задачею актуальною.

Огляд та аналіз результатів досліджень. Наприкінці минулого століття розпочалася заміна трасового метода нанесення бітумно-мастичних захисних покриттів нафтогазових трубопроводів [1,2] на заводський [3]. При цьому технологія нанесення передбачала: обезжирення зовнішньої поверхні труби, нагрівання її до 50-70 градусів Цельсія, дробоструминну (дробометну) обробку, нанесення хроматного шару, індукційне нагрівання до 190-220 градусів Цельсія, нанесення епоксидного покриття, нанесення адгезиву і поліетилену за допомогою екструдерів. В подальшому і по сьогоднішній день проводиться удосконалення зазначеної технології шляхом застосування нових типів ізолюючих, в тому числі рулонних, матеріалів, арміруючих стрічок, тощо. Це дозволило спростити технологію, а також підвищити продуктивність і ефективність обладнання. Отриманий досвід при заводському нанесенні захисних покриттів труб був перенесений на технологію з відновлення застарілої ізоляції існуючих магістральних трубопроводів [4], що дозволило підвищити продуктивність, а також виконувати роботи при низьких, до -20 градусів Цельсія, температурах [5]. Останнім часом широкого використання набули технологічні процеси капітального ремонту трубопроводів із застосуванням полімерних ізоляційних матеріалів прискореного затвердіння (поліуретанових сумішей) [6], що наносяться безповітряним розпилюванням. Поліуретанові покриття мають ряд переваг перед бітумними і стрічковими покриттями: високу адгезію, суцільність, міцність при ударі, тривалий термін експлуатації без зниження ізолюючих властивостей. Нанесення покриттів шляхом безповітряного розпилювання потребує простішого обладнання, яке при цьому забезпечує вищу продуктивність і може використовуватись для очищення трубопроводів [1].

Агрегати [7] для виконання операцій з відновлення бітумних покриттів, які у випадку очищення трубопроводу мають раму з розміщеним на ній ходовим механізмом, у передній частині якої (по ходу пересування агрегату вздовж трубопроводу) встановлені ротори з елементами очищення, при цьому ротори обертаються навколо трубопроводу у протилежні сторони з можливістю створення курсової стійкості руху агрегату і забезпечення гвинтового руху елементів очищення по поверхні трубопроводу, а у випадку ізоляції трубопроводу - використовується кільце, яке «одягається» на трубу та виконане у вигляді гіперболоїда і занурене нижньою частиною в ємність з рідким ізоляційним матеріалом з можливістю подання рідини на поверхню труби. Така конструкція кільця

дозволяє йому самовстановлюватися під деяким кутом до поздовжньої осі трубопроводу, що, в свою чергу, забезпечує збіг прямолінійної твірної кільця з твірної трубопроводу, тобто збіг ліній прилягання цих поверхонь у процесі нанесення ізоляційного матеріалу на поверхню трубопроводу. При цьому даний процес використовується шляхом перекошування кільця по зовнішній поверхні трубопроводу, що дозволяє йому описувати гвинтову лінію і наносити своєю внутрішньою поверхнею матеріал покриття по всій довжині лінії прилягання.

Нанесення рулонних захисних покриттів виконується за допомогою агрегатів [8], які, в порівнянні з попередніми, мають простішу кінематичну схему робочого органу (рис.1), вищу продуктивність і кращу якість захисного покриття. Загальна конструктивна особливість розглянутих вище агрегатів [7,8] – обертання робочого органу в одному напрямку. Найближчим по технічній суті до сучасного агрегату, який було створено в Україні, є запатентований в США [9] і виготовлений на фірмі CRC-Evans агрегат моделі CRCO 2636, який складається з механізму поздовжнього переміщення і механізму осциляції розпилювачів з їх поворотом на заданий кут і з поверненням у початкове положення, причому механізм осциляції виконаний у вигляді ротора з розпилювачами і системи ланцюгових передач та має пристрій переведення тримачів розпилювачів з ведучої ланки ланцюгової передачі до веденої, що забезпечує переведення механізму на



Рисунок 1. Агрегат ізоляційний роторний типу МИР для нанесення на зовнішню поверхню трубопроводу захисних стрічкових полімерних матеріалів з одночасним прикочуванням внутрішніх шарів покриття.

реверсивний рух. Конструктивні особливості цього пристрою обумовлюють значні ударні навантаження на ланцюгову передачу та значний час реверсу розпилювачів, а відтак - зайві витрати поліуретанової суміші.

Необхідно відмітити, що з 2003-2004 рр. в Україні, в Інституті транспортно-енергетичних систем України (ІТЕСУ) «Нафтогазбудізоляція», розпочались роботи по заміні згаданого вище приводу робочого органу (розпилювача) на електричний з частотним регулятором швидкості. Така заміна дозволила частково зменшити коливання кутової швидкості обертової частини агрегату, а також ударні навантаження на її ланцюгову передачу при реверсі. При цьому непродуктивні втрати поліуретанової суміші, пов'язані з нерівномірністю нанесення захисного покриття, зменшились до 22–23% від їх загальних втрат.

За даними розробника агрегатів МТУ витрати на поліуретанову суміш складають в середньому 26% від вартості відновленого покриття. Так, на відновлення 1 кілометру трубопроводу діаметром 1220 мм з гарантованою товщиною покриття 1,5 мм витрачається 17500 кілограмів поліуретанової суміші вартістю 10-12 \$/кг, при цьому загальні непродуктивні втрати поліуретану сягають 37%. Частина втрат (близько 11%) обумовлена нерівномірністю товщини захисного покриття, при цьому її мінімально-



допустима величина в Україні і Росії дорівнює 0,7-2,0 мм, а максимальна – залежить від якості обладнання по відновленню покриття і сягає 1,2-2,8 мм.

Важливим елементом аналізу є оцінка роботи приводів робочих органів та процесів формоутворення захисного покриття, нанесеного шляхом безповітряного розпилювання

В загальному випадку нанесення покриттів шляхом розпилювання рідких матеріалів виконується кількома способами: повітряним, безповітряним (гідравлічним), комбінованим (гідравлічним з повітряною підтримкою факела), а також електростатичним та ультразвуковим. Вибір способу розпилювання залежить від вимог до зовнішнього вигляду покриття, складності форми поверхні, на яку воно наноситься, типу матеріалу покриття, необхідної продуктивності та вартості всього технологічного процесу підготовки поверхні і нанесення покриття.

Найбільш придатним для нанесення поліуретанових покриттів при переізоляції магістральних трубопроводів виявився безповітряний спосіб розпилювання, оскільки він характеризується найбільшим масопереносом, різкоокресленим відбитком факела розпилювача, а невисока естетична якість поверхні покриття при цьому не вимагається.

Застосування технології безповітряного розпилювання поліуретанових сумішей з однієї сторони підвищує продуктивність всього Комплексу з відновлення захисних покриттів магістральних трубопроводів, а з другої, внаслідок значної вартості сировини, підштовхує розробників обладнання до подальшого його удосконалення, з метою зменшення нерівномірності нанесення захисного покриття. Ефективність використання агрегатів для безповітряного розпилювання поліуретанових сумішей залежить від якості робочого органу та динамічних характеристик двох його приводів. Зменшення нерівномірності покриття вимагає підтримання постійної швидкості пересування і стабільності відбитка факела розпилювача на поверхні трубопроводу, тобто стабільності взаємодії робочого органу агрегату з будівельною конструкцією. Така вимога ускладнена тією обставиною, що пересування робочого органу навкруги трубопроводу виконується в зворотньо-обертovому режимі, з причини використання високоенергетичних струменів, які надходять до розпилювача по гнучких трубопроводах обмеженої довжини [10]. Використання в приводі обертovої частини агрегату асинхронного двигуна [11] з короткозамкненим ротором та частотного регулятора швидкості [12] дозволило:

- відмовитись від механічного пристрою регулювання швидкості обертання робочого органу завдяки широкому діапазону регулювання частоти;
- встановлювати час реверсу, а відтак регулювати ударні навантаження на ланцюгову передачу між асинхронним двигуном та обертovим кільцем з робочим органом;
- підтримувати задану швидкість робочого органу з похибкою від 3-4% до 0,03-0,05% залежно від режиму керування: скалярне або векторне; із зовнішнім зворотним зв'язком або без нього.

Окрім цього необхідно зазначити, що найнижчу електромеханічну постійну часу мають асинхронні двигуни [13] з пустотілим короткозамкненим немагнітним ротором: від 0,05 до 0,5 с, - а оптимальний коефіцієнт передачі механічної частини може визначатись згідно [14] трьома способами.

В роботі [15] наведено методику синтезу виду та параметрів передаточної функції електричної частини асинхронного двигуна, щорегулюється напругою з боку статора, вказані кількісні значення параметрів цієї передаточної функції в робочій зоні електродвигуна.

В роботах [16-17] наведено математичний опис (в т.ч. у вигляді структурної схеми) електроприводу з асинхронним двигуном та перетворювачем частоти і розімкненою системою керування швидкістю електропривода змінного струму.

Методологія вибору асинхронних двигунів та їх характеристики представлені в роботі [18].

Коригування швидкості робочого органу агрегату для нанесення захисних покриттів потребує використання додаткового приводу, оскільки подальше удосконалення існуючого приводу обмежене загальною інерційністю обертової частини агрегату (кільця з розпилювачами) та якоря асинхронного двигуна. Технічні вимоги до такого приводу визначаються з технічних можливостей існуючих агрегатів:

- можливість реалізації прецизійних обертових коливань робочого органу з незначною амплітудою;
- збільшена швидкодія до максимальної, особливо при реалізації реверсу робочого органу;
- можливість зменшення робочого діапазону швидкостей без використання механічних пристроїв, наприклад, редукторів;
- можливість керування швидкістю і кутом повороту якоря двигуна без використання зовнішніх зв'язків;
- наявність мало інерційного гальма якоря двигуна;
- повторюваність заданого закону керування на значному протязі часу.

Такий привід, на нашу думку, може бути реалізований за допомогою крокового електричного двигуна (КЕД) з програмованим блоком керування. Найбільше розповсюдження в країнах СНД знайшла продукція компанії «НПФ Электропривод» (м. Санкт-Петербург) [19].

Висновки.

1. В зв'язку із закінченням терміну експлуатації захисних покриттів існуючих нафтогазових мереж країн СНД, близько 70% магістральних трубопроводів підлягають переізоляції.

2. Переізоляція магістральних трубопроводів виконується за допомогою комплексів агрегатів і машин, що послідовно виконують операції з відновлення захисних покриттів. При цьому найбільш довготривалою в часі є операція з нанесення нового покриття, яка визначає продуктивність всього Комплексу.

3. Незважаючи на різноманітність матеріалів покриттів, агрегати для їх нанесення мають майже однакову кінематичну схему і відрізняються типом робочого органу: для укладання стрічкової ізоляції, або для розпилювання рідких захисних матеріалів.

4. На сьогоднішній день найбільш ефективним способом нанесення покриттів при переізоляції магістральних трубопроводів виявився безповітряний спосіб розпилювання поліуретанових сумішей, проте його нанесення виконується за умов плюсових температур оточуючого середовища.

5. Подальше удосконалення динамічних характеристик робочого органу вимагає підвищення його швидкодії і стабілізації швидкості. Однак таке удосконалення обмежене загальною інерційністю обертової частини агрегату (кільця з розпилювачами) та якоря асинхронного двигуна. Подолання цього обмеження можливе шляхом збільшення кількості ступенів свободи робочого органу.

6. Додаткова ступінь свободи робочого органу може бути реалізована за допомогою додаткового приводу з кроковим електричним двигуном, який в порівнянні з іншими, для поставленої задачі, має такі переваги: не потребує гальма і редуктора, має можливість подрібнення основного кроку, може працювати без зворотного зв'язку, тощо.

7. Зменшення нерівномірності товщини захисних покриттів потребує не тільки покращення динамічних характеристик робочого органу (розпилювача), але і експериментального визначення розподілу розходу поліуретанової суміші по поперечному перерізу факела розпилювача, а також структури витрат суміші на формоутворення захисного покриття.

8. Метою досліджень є створення агрегату з підвищеною ефективністю нанесення поліуретанових покриттів на магістральні трубопроводи із розробкою алгоритму вибору і



відпрацьовування програмного забезпечення роботи додаткового приводу розпилювача у складі удосконаленого агрегату.

Література

1. Печенный Б.Г. Битумы и битумные композиции / Б.Г. Печенный. – М.: Химия, 1990. – 256 с..
2. Mulder E.A. Development of modified bitumen enamel pipe coating systems / E.A. Mulder, Soerensen M. // J. Prot. Coat and Linings. – 2001. – V. 18, № 7. – P. 50–54.
3. Семенченко В.К. Заводская изоляция труб [Электронный ресурс] / В.К. Семенченко, С.Г. Низьев, А.Л. Ронис., Ю.С. Низьева // Трубопроводный транспорт [Теория и практика]. – 2005. – № 2. – С. 59–65. – Режим доступа к журналу: http://www.vniist.ru/pipemag/2005_2%282%29.pdf
4. Волохов В.Я. Оборудование для ремонта магистральных трубопроводов / В.Я. Волохов, А.К. Зайцев // Сооружение и ремонт газонефтепроводов и газонефтехранилищ: сб. научн. тр. – Уфа, 2002. – С. 60–74.
5. Покрытие на основе термоусаживающейся ленты и мастики Асмол (покрытие ПАЛТ) [Электронный ресурс] / Исследовательский Центр «ПОИСК» // Каталог. – 2011. – С. 1. – Режим доступа: <http://www.srcpoisk.ru/gorhol.html>.
6. Власов С.В. Организация капитального ремонта изоляционных покрытий магистральных газопроводов с использованием терморезактивных материалов / С.В. Власов, И.И. Губанок, А.В. Хороших // Обслуживание и ремонт газонефтепроводов: материалы Третьей Международной конференции: (2–7 октября 2006 г., Сочи) / ООО «Геоинформмарк». – Москва, 2007. – Вып. 1 – С. 189–193.
7. А.с. 1814934 СССР, МКИ ³В 08 В 9/02. Устройство для очистки наружной поверхности трубопровода / опубл. 1993, Бюл. № 18. – 2 с.
8. А.с. 1717256 СССР, МКИ ³В 05 С 1/02. Устройство для нанесения покрытий на цилиндрические поверхности / опубл. 1992, Бюл. № 9. – 2 с.
9. Pat. 5,129,355 USA. High pressure water jet cleaner and coating applicator / Sidney A. Taylor. – Publ. United States Patent, Jul. 14, 1992.
10. Трассовая установка для нанесения многокомпонентной изоляции. Модель СРСО 2636 / С R C – Evans Pipeline International Inc. // Рекламный проспект. – [Houston](#).
11. Фираго Б.И. Регулируемые электроприводы переменного тока / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячек – Минск.: Техноперспектива, 2006. – 364 с.
12. Преобразователи частоты для управления двигателями переменного тока [Электронный ресурс] / Кабель Инвест // Каталог оборудования – 2011. – С. 1. – Режим доступа: <http://www.ci.kiev.ua/node/33>
13. Динамические свойства асинхронных исполнительных двигателей [Электронный ресурс] / TORUS // Теория. Электрические микромашины. Лекция 8 – 2011. – С. 1. – Режим доступа: <http://normalizator.com/manuals/lessons/shishkin/lecture18.html>.
14. Зарубежная методика выбора мотор-редуктора. [Электронный ресурс] / Приводная техника // Полезная информация. – 2011. – С. 1. – Режим доступа: http://www.privod.ru/products/motor_reducers/rd/choose.htm.
15. Мазур А.С. Синтез передаточной функции асинхронного двигателя [Электронный ресурс] / Электромашиностроение и электрооборудование // Межвед. Науч.-техн. сборник – Одесса: ОГПУ, 2008. – С. 1–4. – Режим доступа: http://www.library.ospu.odessa.ua/online/periodic/ee_55/3.html
16. Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 265 с.
17. Попович О.М. Моделі та методи для комплексного дослідження та проектування електромеханічних систем / О.М. Попович, О.В. Бібік, Ю.В. Шуруб, І.В. Головань // Пр. Інституту електродинаміки НАН України. – 2006. – № 2. – С. 68 – 71.
18. Войтех О.А. Вибір та адаптація серійних асинхронних двигунів для роботи від джерел регулюємої частоти / О.А. Войтех, О.М. Попович // Пр. Інституту електродинаміки НАН України. – 2003. – № 3. – С. 34 – 39.
19. Компания «НПФ Электропривод» - один из лидеров в области поставок промышленных электродвигателей и приводов [Электронный ресурс] / «НПФ Электропривод» // Публикации – 2002–2011. – С. 1 – Режим доступа: http://electroprivod.ru/about_us.htm