



УДК 622.692.4.07

*Ю.А.Карпачев, Зав. відділенням МНДІ ПМ "Ритм", НТУ (КПІ) д.т.н., проф.,
В.М.Павлюк, Зав. лабораторії МНДІ ПМ "Ритм", НТУ (КПІ) к.т.н.,
Ю.М.Дьомін, пошукувач НТУ (КПІ)*

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ АГРЕГАТУ ДЛЯ БЕЗПОВІТРЯНОГО РОЗПИЛЮВАННЯ ПОЛІУРЕТАНОВОЇ СУМІШІ ПРИ ЇЇ АВТОМАТИЧНОМУ НАНЕСЕННІ НА МАГІСТРАЛЬНІ ТРУБОПРОВОДИ

Вступ. В нафтогазовій промисловості широко використовуються технологічні процеси капітального ремонту трубопроводів із застосуванням полімерних ізоляційних матеріалів прискореного затвердіння (поліуретанових сумішей), що наносяться безповітряним розпилюванням. На прямих ділянках магістральних трубопроводів, знайшов застосування агрегат, який пересувається по їх поверхні, а розпилювачі виконують зворотно-обертові коливання навкруги осі трубопроводу за допомогою електричного приводу з кривошипним механізмом регулювання швидкості. В США застосовувався електричний муфтовий привід з можливістю переведення тримачів розпилювачів з ведучої ланки ланцюгової передачі до веденої [1]. Однак зазначені приводи мали невелику точність нанесення захисного покриття.

Мета та дослідження. Метою досліджень стало експериментальне визначення точності формоутворення захисного покриття, яка обумовлена характеристиками розпилювачів (HD629, HD519) агрегату МТУ-532 та агрегату УДН-3 для підготовки і подачі поліуретанової суміші.

Експериментальні дослідження безповітряного розпилювання поліуретану виконувались на дослідному стенді, а також на фрагменті трубопроводу після нанесення захисного покриття за допомогою агрегату МТУ-532 на випробувальному полігоні ІТЕСУ „Нафтогазбудізоляція” [5].

До складу дослідного стенда (рис.1) увійшли: агрегат 1 підготовки і подачі поліуретанової суміші до розпилювача 2, з'єднуючий трубопровід 3, заслінка 4, механізм 5 пересування заслінки 4, встановлений в підшипниках обертовий барабан 6, електричний двигун 7, редуктор 8, дві з'єднуючі муфти 9, регулятор швидкості 10, дослідний зразок 11 та механізм 12 установки та пересування дослідного зразка 11. Обертовий барабан 6 виконано з наскрізним прямокутним отвором (діафрагмою) 13.

Працює стенд таким чином. У вихідному положенні заслінка 4 перекриває поздовжню вісь «В» факела розпилювача 2, а дослідний зразок 11 знаходиться у внутрішній порожнині обертового барабана 6. На підготовчому етапі вмикається електричний двигун 7 і, за допомогою регулятора швидкості 10, встановлюється задана швидкість обертання барабана 6. Після чого вмикаються агрегат 1 підготовки і подачі поліуретанової суміші та розпилювач 2 поліуретану. Після виходу системи розпилювання на сталий режим, заслінку 4 встановлюють в крайнє ліве положення під час знаходження діафрагми 13 поза факелом розпилювача 2. Після виконання заданого числа обертів барабана 6, заслінка 4 встановлюється в крайнє праве (вихідне) положення, перекриваючи вісь В факела розпилювача 2, зупиняється електричний двигун 7, дослідний зразок 11 витягується з внутрішньої порожнини обертового барабана 6 і виконується промивка трубопроводу 3. При здійсненні кількох дослідів виконується заміна дослідних зразків 11, а частина обертового барабана 6, що не підлягає нанесенню покриття, закривається кожухом.

При обранні кінематичної схеми і режимів роботи дослідного стенда враховувались технологічні параметри формоутворення захисного покриття, яке наноситься за допомогою агрегату МТУ-532.

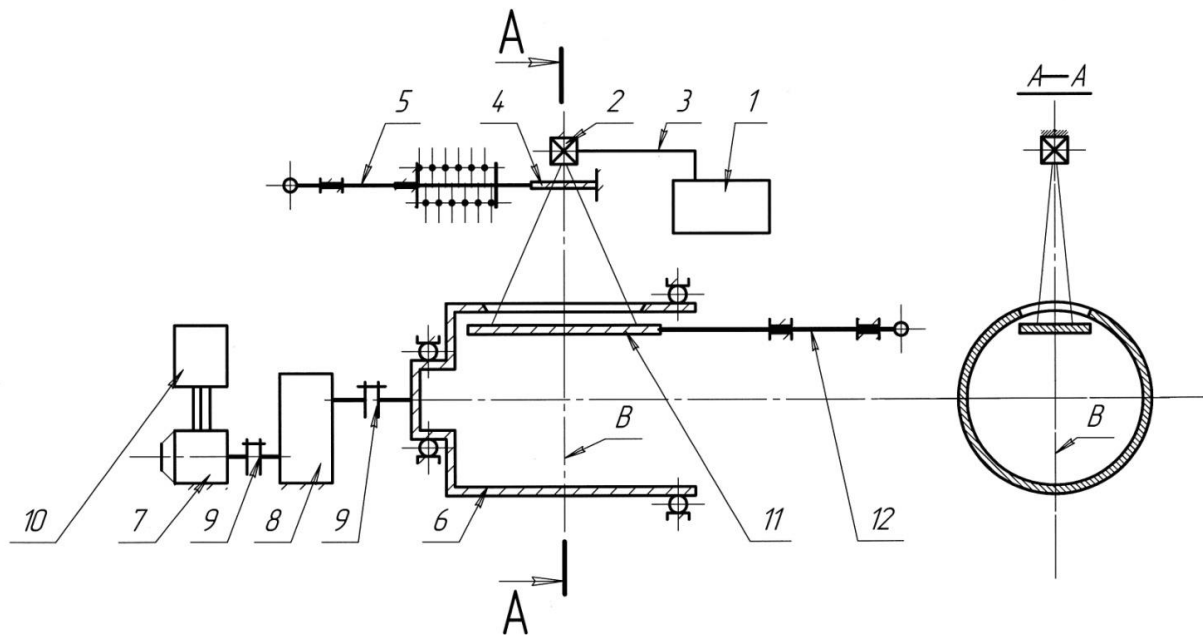


Рисунок 1. Кінематична схема дослідного пристрою для визначення розподілу товщини захисного покриття по відбитку факела розпилювача і по циліндричній поверхні барабана.

Відповідно до характеристик існуючого обладнання дослідного стенда: асинхронного двигуна, частотного регулятора швидкості та редуктора, – було обрано швидкість обертання барабана, $n_d = 37,4$ об/хв., яка при заданому розході поліуретанової суміші забезпечувала необхідну якість покриття.

Визначення розподілу розходу поліуретану по площі відбитка факела розпилювача виконувалось експериментально-розрахунковим способом. При цьому отриманий на дослідному зразку відбиток поділявся на рівні квадрати (прямокутники) з стороною, яка дещо більша за діаметр чутливого елемента приладу Elcometer-456, за допомогою якого виконувалось вимірювання товщини покриття в кожному квадраті (прямокутнику) відбитка факела. В подальшому розраховувався об'ємний розхід поліуретанової суміші згідно наступної залежності:

$$q_{ij} = \pi a b R_o K_{кор} \delta_{ij} / (30 N_o b_a), \quad (1)$$

де q_{ij} – елементарний об'ємний розхід поліуретанової суміші, $\text{см}^3/\text{с}$;

i, j – позначення, відповідно, стовпців і рядків при поділенні відбитка факела розпилювача на елементарні прямокутники (квадрати);

a, b – сторони елементарного прямокутника (квадрата), см ;

R_o – радіус барабана 22,5 см ;

$K_{кор}$ – коефіцієнт коригування розподілу товщини покриття по відбитку факела розпилювача;

δ_{ij} – товщина покриття в центрі елементарного прямокутника (квадрата), см ;

N_o – кількість шарів покриття;

b_o – ширина діафрагми барабана, 3,0 см .

Під час експериментів було з'ясовано, що при виконанні монтажних робіт значна різниця в розмірах діафрагми барабана та щільового вихідного отвору розпилювача призводить до їх непаральності. Окрім того існує часткове розсіювання факела поліуретанової суміші під час його перетинання кромками діафрагми барабана. Вищезазначене призводить до похибок при визначенні розподілу товщини

покриття по площі відбитка факела розпилювача. Тому було запропоновано введення в залежність (1) коефіцієнта коригування товщини покриття, який визначається згідно формули:

$$\hat{E}_{\text{від}} = Q_{\text{а}} / Q_{\text{а}}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{с}}$ – сумарна витрата поліуретанової суміші, розрахований за розподілом товщини покриття по відбитку факела розпилювача;

$Q_{\text{а}}$ – сумарна витрата поліуретанової суміші, розрахований за розподілом товщини покриття по поверхні барабана.

Співвідношення ефективного, що полімеризувався на поверхні барабану, і загального розходів поліуретанової суміші визначалось за залежністю:

$$\eta_Q = V_{\text{а}} t_x / (2tV_M), \quad (3)$$

де η_Q – співвідношення ефективного і загального розходів;

$V_{\text{с}}$ – об'єм покриття, що полімеризувалася на поверхні барабану і визначався як добуток його середньої товщини на площу досліджуваної ділянки, см^3 ;

t_x – час подвійного ходу мультиплікатора агрегату УДН-3 для підготовки і подачі поліуретанової суміші, с;

t – час формоутворення покриття на досліджуваній ділянці, с;

V_M – робочий об'єм поршневої порожнини мультиплікатора агрегату УДН-3, $212,4 \text{ см}^3$.

В ході досліджень використовувалась поліуретанова суміш БАЙСИТ виробництва ІТЕСУ “Нафтогазбудізоляція”. Результати вимірювань розподілу товщини 10-ти шарового покриття по відбитку факела з розмірами $90 \times 375 \text{ мм}$, який було поділено на 25 стовпців.

В ході досліджень, одночасно з формоутворенням відбитка факела розпилювача, виконувалось нанесення захисного покриття на барабан дослідного стенда з подальшим вимірюванням його товщини в центрах 11 відрізків, на які було поділено 8 прямих твірних циліндричної поверхні барабана.

Необхідно зазначити, що нанесення покриття на барабан виконувалось за умов його обертання в одному напрямку без переміщення розпилювача вздовж осі барабану, яке має місце в реальному агрегаті. Це дозволило стверджувати, що до складу загальних втрат поліуретанової суміші не входили такі, що пов'язані з недосконалістю динамічних характеристик агрегату. Проте, при використанні отриманих даних для аналізу ефективності агрегату, необхідно враховувати, що при нанесенні покриття в декілька шарів рівномірність його товщини збільшується, а відтак втрати від нестабільності системи розпилювання зменшуються. Аналіз експериментальних даних показав:

– якщо прийняти модель стрибкоподібного переходу від шару до шару при нанесенні багат шарового покриття, то мінімальна, серед середніх, приведених до твірних прямих, товщина покриття дорівнює мінімальній товщині покриття ($1,378 \text{ мм}$) на досліджуваній ділянці барабана;

– при лінійному переході розпилювача від шару до шару кожна середня, приведена до твірної прямої, товщина покриття перевищує мінімальну товщину на цій твірній на величину, яка розраховується за залежністю, що враховує кількість шарів покриття.

$$\delta_{\text{min}} = \delta_{\text{н\delta}} - (\delta_{\text{н\delta}} - \delta_{\text{min}}) / N_{\text{с}} = 1,378 - (1,378 - 1,04) / 20 = 1,3611 \text{ мм}. \quad (4)$$

Таким чином, максимальне відносне перевищення середньої товщини покриття над мінімальною товщиною на обраній ділянці поверхні барабану, в разі пересування розпилювача вздовж барабана і нанесенні покриття в 20 шарів, згідно (4) дорівнюватиме:

$$\delta_{\text{а,с}} = 100\%(1,4285 - 1,3611) / 1,4285 = 4,718\%, \quad (5)$$

де $\delta_{a,\theta}$ – максимальне відносне перевищення середньої товщини покриття над мінімальною товщиною, яке залежить від нестабільності системи розпилювання.

Відносна витрата $Q_{a,i,n}$ поліуретанової суміші, який потрапляє в оточуюче середовище при нанесенні покриття на барабан діаметром 450мм за допомогою розпилювача HD629, розраховувався з урахуванням залежності (3):

$$Q_{a,i,n} = (1 - \eta_Q)100\% = (1 - 0,61152)100\% = 38,848\%. \quad (6)$$

Відмітимо, що при збільшенні діаметра трубопроводу та зменшенні бокової швидкості повітря (в реальних умовах трубопровід знаходиться в прямку) ці втрати зменшуються.

Під час експериментальних досліджень виконувалось нанесення поліуретанового покриття за допомогою агрегату МТУ-532 (рис.2) на фрагмент трубопроводу діаметром 530 мм після його піскоструминної обчистки.



Рисунок 2. Нанесення поліуретанового покриття на фрагмент трубопроводу за допомогою агрегату МТУ 532.

Вимірювання товщини покриття виконувалось в 24-х точках, які було нанесено на 4 прямі твірні циліндричної поверхні трубопроводу з кроком 20мм та кутовим кроком твірних 30° відносно осі трубопроводу. Зазначені кути відраховувались від осі симетрії поздовжнього перекриття двох сусідніх шарів. Нанесення покриття виконувалось двома розпилювачами типу HD629 з середньою обертовою швидкістю 2,09 рад/с при поздовжній швидкості агрегату 1,66 см/с.

За розрахунком середньої товщини покриття, приведеної до виділеної поверхні трубопроводу, вона склала 1,46 мм, а її відносне перевищення над мінімальною товщиною, згідно залежності (4), склало:

$$\delta_{a,a} = 100\%(1,46 - 1,2)/1,46 = 17,81\%. \quad (7)$$

Зазначимо, що визначене відносне перевищення середньої товщини покриття $\delta_{\bar{a},\bar{a}}$ над мінімальною товщиною дорівнює відносним втратам поліуретанової суміші, що полімеризувалась на поверхні трубопроводу. Ці втрати залежать від точності підтримання заданих динамічних характеристик агрегату МТУ-532: швидкості обертання розпилювачів навколо трубопроводу та поздовжньої швидкості пересування агрегату, – а також від стабільності системи розпилювання поліуретанової суміші. Приймаючи до уваги (5) і (7), визначимо відносне перевищення середньої товщини покриття $\delta_{\bar{a},\bar{a}}$ над мінімальною товщиною, яке обумовлено неточністю динамічних характеристик агрегату і дорівнює відносним втратам поліуретанової суміші, що полімеризувалась на поверхні трубопроводу:

$$\delta_{\bar{a},\bar{a}} = \delta_{\bar{a},\bar{a}} - \delta_{\bar{a},\bar{a}} = 17,81 - 4,718 = 13,092\%. \quad (8)$$

Відмітимо, що точність підтримання заданих динамічних характеристик агрегату впливає на ширину та товщину поздовжніх і обертових перекриттів двох сусідніх шарів покриття, а також на товщину покриття під час коливань швидкості обертання розпилювачів навколо трубопроводу, в тому числі під час реверсу (зміни напрямку обертання) розпилювачів.

Висновки. Аналіз результатів експериментальних досліджень з точності автоматичного нанесення поліуретанового покриття магістральних трубопроводів показав, що значна частина втрат поліуретанової суміші (майже 18% від загального розходу) обумовлена неточністю формоутворення товщини покриття. Ці втрати залежать від досконалості динамічних характеристик агрегату МТУ-532 та системи розпилювання поліуретанової суміші.

Отримані дані з розподілу розходу поліуретанової суміші по факелу розпилювачів HD519 і HD629, за умови відомої траєкторії [5] пересування відбитка факела по поверхні трубопроводу, дозволяють числовим способом розраховувати товщину покриття: в зонах обертових і поздовжніх перекриттів двох сусідніх шарів покриття; на ділянках з мінімальною товщиною покриття (при максимальній швидкості обертання розпилювачів), а також в зонах реверсу розпилювачів. З огляду на значну вартість експериментальних досліджень із застосуванням поліуретану, це дозволяє скоротити час і витрати при виборі оптимальних режимів роботи агрегату МТУ-532. Необхідно також зазначити, що створений стенд і методика обробки експериментальних даних для визначення розподілу розходу поліуретанової суміші по факелу розпилювача можуть бути використані при паспортизації розпилювачів інших типорозмірів. Окрім того під час досліджень було з'ясовано:

– багатошарові покриття (в 10 та 20 шарів) зменшують нерівномірність товщини покриття, а відтак втрати поліуретанової суміші від нестабільності системи розпилювання до 2,9% від її загального розходу;

– полімеризація і адгезія поліуретанової суміші, що виникає в трубопроводах і арматурі, потребує не тільки їх періодичних промивок, але і удосконалення системи розпилювання поліуретанової суміші шляхом, наприклад, одночасного регулювання обертової швидкості розпилювачів, швидкості пересування агрегату вздовж трубопроводу, а також (або) тиску на виході з агрегату УДН-3;

– втрати сировини, з причини її розпилювання в оточуюче середовище, знаходяться в діапазоні 20 – 39% від загального розходу поліуретанової суміші і залежать від швидкості та напрямку вітру, а також від діаметра трубопроводу, тому пошук можливостей ефективного захисту розпилювачів від вітру є актуальною задачею.

Література

1. Patent 5,129,355 (USA). High pressure water jet cleaner and coating applicator / Sidney A. Taylor – United States Patent, Jul. 14, 1992.



2. Иткин А.Ф., Гольденберг А.М., Зайцев А.К., Волохов В.Я. Оборудование, технология и материалы для капитального ремонта магистральных газонефтепроводов // Потенциал: Производственно-технический журнал. – М.: Газоил пресс, 2003. – Вып. 1-2. С. – 114 – 119.
3. Розроблення технічних рішень з модернізації агрегата для відновлення захисних покриттів магістральних трубопроводів з метою зменшення витрат сировини та забруднення оточуючого середовища / Науково-технічний звіт, К., Національний технічний університет України «КПІ», 2008.
4. Патент на винахід 82397 (Україна). Машина для очищення і нанесення захисного покриття магістральних трубопроводів / Гольденберг А.М., Дьомін Ю.М., Іткін О.Ф., Карпачев Ю.А., Павлюк В.М., Ротачов Ю.В. – Опубл. в Бюл. № 7 від 10.04.2008.
5. Розроблення технічних рішень з модернізації агрегата для відновлення захисних покриттів магістральних трубопроводів з метою зменшення витрат сировини та забруднення оточуючого середовища / Науково-технічний звіт, К., Національний технічний університет України «КПІ», 2009.