

УДК 538.1

Ю.М. Дьомін, пошукувач НТУ «КПІ»

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РУХУ РОБОЧОГО ОРГАНА УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОЛІУРЕТАНОВИХ ПОКРИТТІВ НА МАГІСТРАЛЬНІ ТРУБОПРОВОДИ

АНОТАЦІЯ. *Запропонування моделей руху робочого органу установки для нанесення поліуретанових покриттів на магістральні трубопроводи.*

АННОТАЦИЯ. *Предложение моделей движения рабочего органа устройства для нанесения полиуретановых покрытий на магистральные трубопроводы.*

SUMMARY. *Suggestion models of motion of working platform of device for causing of poliuretanovykh coverages on main pipelines.*

Актуальність роботи. Для приводів робочих органів установок і агрегатів, які використовувались для нанесення поліуретанових покриттів на транспортні магістральні трубопроводи, раніше застосували електропневматичні та електрогідролічні приводи, однак їм були притаманні суттєві недоліки широкого використання. Перші - внаслідок невеликої жорсткості робочого тіла, а другі - внаслідок витоків масла. Найбільш прийнятними виявились електричні приводи, реалізовані на базі асинхронних двигунів з частотними регуляторами швидкості. Застосування таких приводів дає можливість частково зменшити час реверсу та коливання обертової швидкості розпилювачів. Проте подальше зменшення часу реверсу обмежувалось допустимими ударними навантаженнями на ланцюгову передачу між обертовою частиною агрегату та мотор-редуктором. Окрім того, обмеженість потужності привода обертової частини з встановленими на ній розпилювачами не дозволяла зменшити коливання її швидкості на протязі робочого циклу.

Тому подальші теоретичні дослідження робочого органу для нанесення поліуретанового покриття є задачею актуальною. Методика досліджень для визначення моделі руху робочого органу установки. Започаткували два етапи. На першому етапі проведення теоретичних досліджень вибору моделі коливань робочого органу, що здійснює поворотно-обертальні рухи, і визначення його раціональні параметри, що забезпечують мінімальні динамічні навантаження. На другому етапі провести дослідження з визначення раціональних параметрів установленого на обертовій частині робочого органу додаткового мало інерційного приводу з розпилювачем на вихідному валу його двигуна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Робочий орган установки для нанесення поліуретанового покриття (рис. 1) складається з несучого сталевго кільця 1, яке встановлене на одній з трубою 2 геометричній осі за допомогою підтримуючих роликів 3, закріплених на ходовому візку (на рисунку не показано). На сталевому кільці жорстко закріплена ведена зірочка 4, яка за допомогою ланцюга 5 сполучена із ведучою зірочкою 6, встановленою на вихідному валу мотор-редуктора 7. Мотор-редуктор 7 і обвідні зірочки 8 також закріплені на ходовому візку, встановленому на поверхні труби. На сталевому кільці 1 змонтовані форсунки 9 для розпилення поліуретанової суміші.

Робота робочого органу установки для нанесення поліуретанового покриття здійснюється таким чином.

Одночасно включаються механізм переміщення ходового візка в горизонтальному напрямі і мотор-редуктор 7, який через ланцюгову передачу надає сталевому кільцю 1 (ротору), а отже і форсункам 9, поворотно-обертальний рух відносно осі труби. Поворот в кожному напрямі здійснюється на кут 180° . При прямому обертанні від нульового положення спочатку вихідний вал мотор-редуктора обертається з постійним кутовим прискоренням і розганяє сталеве кільце до певної кутової швидкості, потім обертається з

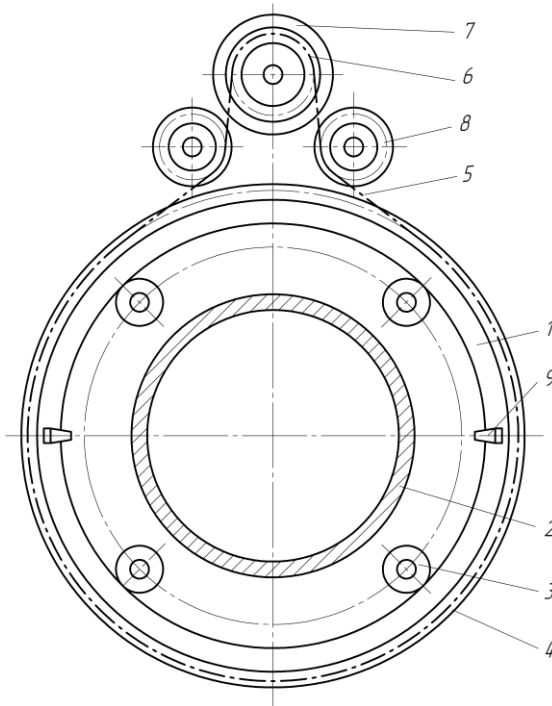


Рис. 1 – Конструктивна схема робочого органа установки для нанесення поліуретанового покриття.

постійною кутовою швидкістю і далі гальмує обертання сталевго кільця також з постійним прискоренням. При зворотному обертанні закон руху повторюється.

В першому наближенні момент рушійних сил, що розвиваються приводом, можна представити у вигляді графіка, зображеного на рис. 2.

При прямому обертанні сталевго кільця (ротора) від нульового положення (положення кута повороту $\varphi = -\pi$) привод розвиває момент рушійних сил рівний $-M_1$ і потім при положенні ротора $\varphi = -\pi + \alpha$ привід вимикається (момент рушійних сил рівний нулю і рух здійснюється за рахунок сил інерції) і далі при $\varphi = 0$ включається у зворотному напрямі, при якому діє момент M_1 до положення $\varphi = \pi - \alpha$. На ділянці від $\varphi = \pi - \alpha$ до π момент рушійних сил рівний нулю. Далі цикл повторюється.

При цьому період одного циклу буде рівний

$$t_1 + t_2 = T, \quad (1)$$

де T – період одного циклу;

t_1 – час, протягом якого відбувається поворот ротора в одному напрямі на 180° ;

t_2 – час, протягом якого відбувається поворот ротора у зворотному напрямі на 180° .

Закон зміни моменту рушійних сил, зображений на рис. 2 може бути представлений наступною системою рівнянь:

$$M(\varphi) = \begin{cases} -M_1 & \text{при } -\pi \leq \varphi \leq -\pi + \alpha; \\ 0 & \text{при } -\pi + \alpha \leq \varphi \leq 0; \\ M_1 & \text{при } 0 \leq \varphi \leq \pi - \alpha; \\ 0 & \text{при } \pi - \alpha \leq \varphi \leq \pi, \end{cases} \quad (2)$$

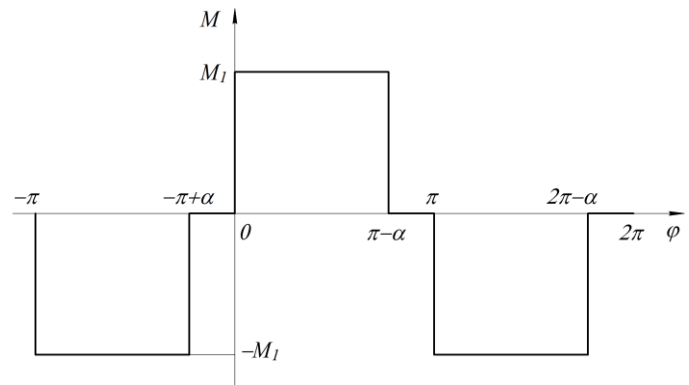


Рис. 2 – Графік зміни моменту рушійних сил

де $M(\varphi)$ – зміна моменту рушійних сил в залежності від кута повороту ротора;

φ – кут повороту кулачка.

Функція $M(\varphi)$ кусочно-монотонна і обмежена на відрізку $-\pi \leq \varphi \leq \pi$. Розкладемо цю функцію в ряд Фур'є:

$$M(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\varphi) + b_n \sin(n\varphi)], \quad (3)$$

де a_0, a_n, b_n – коефіцієнти розкладання в ряд Фур'є ($n=1, 2, 3 \dots$).

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} M(\varphi) d\varphi = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^{-\pi+\alpha} -M_1 \cdot d\varphi + \int_{-\pi+\alpha}^0 0 \cdot d\varphi + \int_0^{\pi-\alpha} M_1 \cdot d\varphi + \int_{\pi-\alpha}^{\pi} 0 \cdot d\varphi \right] = \frac{M_1(\pi - 2\alpha)}{\pi}; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} M(\varphi) \cos n\varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^{-\pi+\alpha} -M_1 \cos n\varphi \cdot d\varphi + \int_{-\pi+\alpha}^0 0 \cdot \cos n\varphi \cdot d\varphi + \int_0^{\pi-\alpha} M_1 \cos n\varphi \cdot d\varphi + \int_{\pi-\alpha}^{\pi} 0 \cdot \cos n\varphi \cdot d\varphi \right] \\ &= -\frac{M_1}{\pi \cdot n} \sin n\varphi \Big|_{-\pi}^{-\pi+\alpha} + \frac{M_1}{\pi \cdot n} \sin n\varphi \Big|_0^{\pi-\alpha} = -\frac{M_1}{\pi \cdot n} \sin n\alpha \cos n\pi = \\ &= \frac{M_1}{\pi} \cdot \frac{\sin n\alpha}{n} (-1)^{n-1}; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} M(\varphi) \sin n\varphi \cdot d\varphi = \frac{1}{\pi} \left[\int_{-\pi}^{-\pi+\alpha} -M_1 \sin n\varphi \cdot d\varphi + \int_{-\pi+\alpha}^0 0 \cdot \sin n\varphi \cdot d\varphi + \int_0^{\pi-\alpha} M_1 \sin n\varphi \cdot d\varphi + \int_{\pi-\alpha}^{\pi} 0 \cdot \sin n\varphi \cdot d\varphi \right] \\ &= \frac{M_1}{\pi \cdot n} \cos n\varphi \Big|_{-\pi}^{-\pi+\alpha} + \frac{M_1}{\pi \cdot n} \cos n\varphi \Big|_0^{\pi-\alpha} = \frac{M_1}{\pi \cdot n} (1 - \cos n\pi) = \frac{M_1}{\pi \cdot n} [1 - (-1)^n]. \end{aligned} \quad (6)$$

З отриманого виразу (6) знайдемо:

$$b_n = \begin{cases} \frac{2M_1}{\pi \cdot n} & \text{при } n \text{ непарному,} \\ 0 & \text{при } n \text{ парному.} \end{cases} \quad (7)$$

З урахуванням знайдених коефіцієнтів Фур'є a_0 , a_n і b_n функція $M(\varphi)$ буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} M(\varphi) &= \frac{M_1(\pi - 2\alpha)}{\pi} + \frac{M_1}{\pi} \left[\frac{\sin \alpha \cos \varphi}{1} - \frac{\sin 2\alpha \cos 2\varphi}{2} + \frac{\sin 3\alpha \cos 3\varphi}{3} - \frac{\sin 4\alpha \cos 4\varphi}{4} + \dots + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sin n\alpha \cos n\varphi}{n} (-1)^{n-1} \right] + \frac{2M_1}{\pi} \left[\frac{\sin \varphi}{1} + \frac{\sin 3\varphi}{3} + \frac{\sin 5\varphi}{5} + \dots + \frac{\sin n\varphi}{2n} [1 - (-1)^n] \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Кут повороту ротора φ залежить від кутової частоти коливань і може бути визначений з наступної залежності:

$$\varphi = \omega \cdot t. \quad (9)$$

Підставляючи (9) у вираз (8), отримаємо функціональну залежність моменту рушійних сил у функції часу в наступному вигляді:

$$M(t) = \frac{M_1(\pi - 2\alpha)}{\pi} + \frac{M_1}{\pi} \left[\frac{\sin \alpha \cos \omega t}{1} - \frac{\sin 2\alpha \cos 2\omega t}{2} + \frac{\sin 3\alpha \cos 3\omega t}{3} - \dots \right]$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{\sin 4\alpha \cos 4\omega t}{4} + \dots + \frac{\sin n\alpha \cos n\varphi (-1)^{n-1}}{n} \Big] + \\
 & + \frac{2M_1}{\pi} \left[\frac{\sin \omega t}{1} + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \dots + \frac{\sin n\omega t}{2n} [1 - (-1)^n] \right]. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Динамічну систему робочого органу досліджуваної установки для нанесення поліуретанового покриття можна представити у вигляді двох масної моделі (рис. 3), що здійснює крутильні коливання.

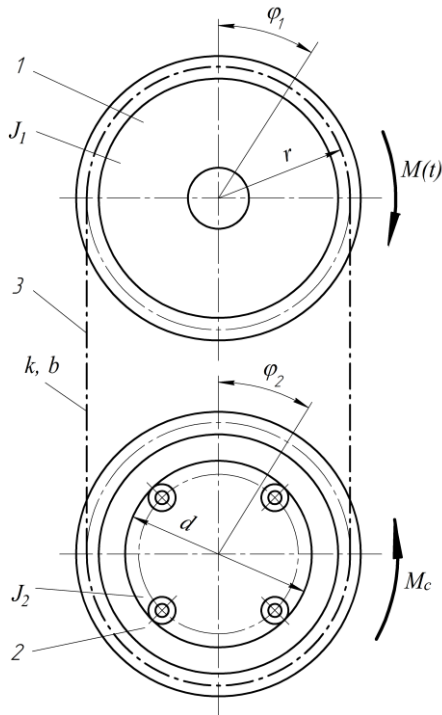


Рис. 3 – Динамічна модель робочого органу установки для нанесення поліуретанового покриття.

Динамічна модель складається з еквівалентної ведучої 1 і веденою 2 зірочок, сполучених ланцюгом 3 з передавальним відношенням 1. При цьому кутові швидкості обертання ведучої 1 і веденою 2 зірочок рівні кутовій швидкості обертання ротора робочого органу установки. В динамічній моделі робочого органу установки для нанесення поліуретанового покриття прийняти наступні позначення:

J_1 – наведений момент інерції еквівалентної зірочки 1;

J_2 – момент інерції ротора робочого органу установки;

$M(t)$ – момент рушійних сил, наведений до еквівалентної зірочки;

M_c – момент сил опору обертанню ротора установки;

k, b – жорсткість і коефіцієнт непружного опору приводного ланцюга.

Наведений момент інерції еквівалентної зірочки визначається відомими методами теоретичної механіки [1]:

$$J_1 = \sum_{i=1}^n \frac{J_i \omega_i^2}{\omega^2}, \quad (11)$$

де J_i – момент інерції i -го елемента приводу, що обертається;

ω_i – кутова швидкість i -го елемента приводу, що обертається;

Висновки.

1. Запропонована динамічна модель руху робочого органу установки для нанесення поліуретанових покриттів на магістралі трубопроводу та визначені основні параметри.

2. Аналіз отриманих залежностей засвідчує, що, при зміні моменту рушійних сил за прийнятим законом руху, на основну кутову частоту ω коливань силової дії на ротор накладаються більш високі гармоніки, внаслідок чого виникає супергармонійна дія.

Література

1. Яблонський А.А. Курс теоретичної механіки. Часть II. Динамика «Высшая школа», М. – 1966. – 411 с.