

Д.В. Руденко (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ПОЗИЦІЮВАННЯ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНОГО ПОЖЕЖНОГО УСТАТКУВАННЯ

Розглянуто вплив кількості ланок дистанційно керованого пожежного устаткування на точність його позиціювання з врахуванням відхилень цих ланок, визначено довжину ланок, на основі мінімальних допусків на орієнтування гасіння пожежі і максимальних відхилень довжин ланок, визначено оптимальну кількість ланок дистанційно керованого пожежного устаткування, визначено положення пожежного ствола та пов'язаної з ним сферичної системи координат, визначено для переміщення дистанційно керованого устаткування у будь-яку точку робочої зони необхідну кількість ступенів вільності

Ключові слова: дистанційно керовані пожежні устаткування, похибки позиціювання ланки, покращення гасіння

Постановка проблеми. Одним з небагатьох показників якості роботи дистанційно керованого ствола є точність позиціювання водо-пінного ствола. Такі похибки з'являються внаслідок різних причин і в кінцевому результаті зводяться до похибок кінематичних пар. Ці первинні похибки обумовлюють, в свою чергу, похибки в координатах полюса дистанційно керованого ствола і в його позиціюванні.

Аналіз останніх досліджень. При розробленні дистанційно керованого пожежного устаткування однією з основних задач є забезпечення такої точності складових модулів, щоб похибка позиціювання, приведена до дистанційно керованого ствола, з одного боку, не перевищувала заданого значення допустимої похибки, а з іншого, максимально до неї наближалась [1,4].

Мета. Для вирішення цієї задачі необхідно встановити вплив кількості ланок дистанційно керованого пожежного устаткування на точність його позиціювання з врахуванням відхилень цих ланок.

Основна частина. Основний механізм дистанційно керованого пожежного устаткування складається з двох рухомих елементів – 1, 2 (рис.1). Механізм даної установки відповідає циліндричній системі координат. У цій системі пожежний ствол 2 може обертатися відносно базового шасі 1 (відносно кутового переміщення ϕ), базове шасі 1 переміщується в горизонтальній площині разом з пожежним стволом 2 (відносно лінійне переміщення S). Для приведення в дію кожного з двох рухомих частин, механізм повинен бути оснащений приводами. Оскільки рух об'єкта здійснюється за заданим законом руху, то в системі дистанційно керованої установки повинні бути пристрої, які забезпечують та задають рухи, тобто, так звані програмні засоби.

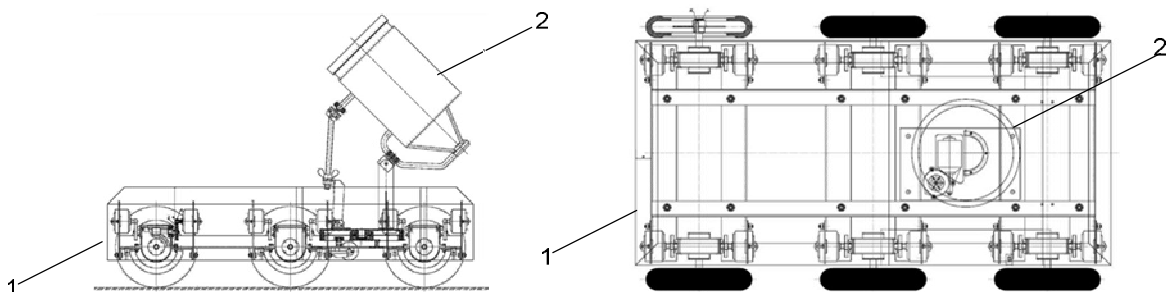


Рис.1. Основний механізм дистанційно керованого пожежного устаткування

Розглянемо вплив кількості ланок дистанційно керованого пожежного устаткування на точність його позиціювання з врахуванням відхилень цих ланок.

Для спрощення розв'язання цієї задачі вважаємо, що довжини всіх ланок l_n , а також їх лінійні відхилення від номінальних розмірів Δl_n будуть рівні між собою, тобто:

$$\begin{aligned} l_1 = l_2 = \dots = l_n = l \\ \Delta l_1 = \Delta l_2 = \dots = \Delta l_n = \Delta l \end{aligned} \quad (1)$$

Тоді довжину ланок l можна визначити, виходячи із заданого об'єму робочої зони, який забезпечується дистанційно керованим устаткуванням

$$l = f(V_p)$$

Згідно з рекомендаціями [3], приймаємо такі об'єми робочої зони робіт:

- для дистанційно керованого пожежного устаткування, яке працює у декартовій СК: $V_p = l^3$;
- для дистанційно керованого пожежного устаткування, яке працює у циліндричній СК: $V_p = 5 \cdot l^3$;
- для дистанційно керованого пожежного устаткування, яке працює у сферичній СК: $V_p = 17 \cdot l^3$.

Маючи довжини усіх ланок механізму, призначаємо їх максимальні відхилення, які, в загальному випадку, будуть залежати від труднощів виготовлення деталей дистанційно керованого пожежного устаткування та їх монтажу.

На основі мінімальних допусків на орієнтування гасіння пожежі TX , TY і максимальних відхилень довжин ланок Δl , визначимо оптимальну кількість ланок дистанційно керованого пожежного устаткування. Згідно з теорією розмірних ланцюгів,

$$TL_{\Delta} \geq \sum_{n=1}^k TL_n \quad (2)$$

де TL_{Δ} – допуск на замикаючу ланку;

TL_n – допуск на складову ланку розмірного ланцюга.

Прийmemo, що допуск замикаючої ланки ΔL_{Δ} дорівнює загальному допуску на суміщення осей спряжуваних деталей ТХУ в площині ХОУ:

$$TL_{\Delta} = TXY \quad (3)$$

Допуск ТХУ є функцією від допусків суміщення осей по осях Х і Y (відповідно ТХ і ТУ) і визначається як їх середньоквадратичне значення:

$$TXY = \sqrt{TX^2 + TY^2} \quad (4)$$

Крім цього, допуск на замикаючу ланку (і, відповідно, сумарний допуск на складові ланки ланцюга $\sum_{n=1}^k TL_n$ можна записати як

$$\sum_{n=1}^k TL_n = TL_1 + TL_2 + \dots + TL_n \quad (5)$$

Складовими ланками ланцюга у цьому випадку будемо вважати ланки довжиною l з відхиленнями Δl_n . Приймаючи, що

$$TL_n = \Delta l_n \quad (6)$$

отримаємо:

$$\sum_{n=1}^k TL_n = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots + \Delta l_n \quad (7)$$

На підставі прийнятого допущення (1), де

$$\Delta l_1 = \Delta l_2 = \dots = \Delta l_n = \Delta l,$$

можна записати, що

$$\sum_{n=1}^k L_n = n \cdot \Delta l \quad (8)$$

Враховуючи (2), (3), (8),

$$TXY = n \cdot \Delta l.$$

З цієї залежності визначаємо кількість ланок n :

$$n = \frac{TXY}{\Delta l} \quad (9)$$

або, враховуючи (4),

$$n = \frac{\sqrt{TX^2 + TY^2}}{\Delta l} \quad (10)$$

Відкидаючи попередньо прийняті допущення (4) і враховуючи (5), (6), кінцево отримаємо:

$$n = \frac{\sqrt{TX^2 + TY^2}}{\sum_{n=1}^k L_{\Delta}} \quad (11)$$

Структурну формулу кінематичного ланцюга дистанційно керованого пожежного устаткування виберемо на основі рекомендацій, наведених у [3].

Для переміщення дистанційно керованого устаткування у будь-яку точку робочої зони, його базове шасі повинно і достатньо мати дві ступені вільності: одна - лінійні переміщення вздовж перпендикулярних осей (рухи тільки для зміни напрямку руху вперед і назад) і одна - кутові переміщення відносно цих же осей (рухи тільки для розвороту, орієнтування). За наявності в нашому випадку пожежного ствола, який закріплений на поворотній башті, то поворот його забезпечуються ще одним ступенем вільності, який, проте, не враховується, оскільки ці рухи дублюються рухами орієнтування.

Кінематику дистанційно керованого устаткування можна поділити на дві частини з різним функціональним навантаженням: кінематику самого шасі, яка визначає розміри і форму робочого простору дистанційно керованого устаткування і його маневреність, і кінематику пожежного ствола, від якої залежить ступінь орієнтування дистанційно керованого устаткування.

Кількість ступенів вільності виконавчого пристрою (пожежного ствола) дистанційно керованого устаткування як сума всіх можливих рухів, які сумуються відносно нерухомого елемента конструкції дистанційно керованого устаткування (базове шасі), може бути будь-якою, але мінімально необхідною для забезпечення необхідних функцій дистанційно керованого устаткування. Залежності від призначення, дистанційно кероване устаткування може мати від одного до семи ступенів вільності виконавчого пристрою. Послідовність обертових і поступових пар ланок (як і їх кількість) може бути будь-якою. Ця послідовність визначає систему координат, у якій здійснюються основні рухи виконавчого пристрою. Від послідовності пар суттєво залежить як конструкція і компоновка робота, так і складність його системи керування та труднощі програмування.

Вибір кількості ланок проводимо на основі отриманої нами залежності (11).

Приймаючи позиціонування пожежного ствола, згідно з (10), можна зробити висновок про те, що похибка позиціонування пожежного ствола безпосередньо залежить від кількості ланок, а також від їх лінійних відхилень, тобто

$$\sqrt{TX^2 + TY^2} = TXY = \sum_{n=1}^k (n \cdot \Delta l_n) \quad (12)$$

Розглянемо з кінематичної точки зору механізм маніпулятора дистанційно керованого пожежного устаткування. Перша і основна задача кінематики – визначення функції положення. Для просторових механізмів найбільш ефективними методами рішення цієї задачі є векторний метод та метод перетворення координат. Для розв'язку прямої задачі щодо положення пожежного ствола можна використати метод перетворення координат Денавіта та Хартенберга.

Розглянемо два види матриць:

- матриці M , які визначають відношення між системами координат сусідніх ланок;
- матриці T , які визначають положення та орієнтацію кожної ланки механізму в нерухомій або базовій системі координат.

Скористаємося однорідними координатами двовимірного простору PR^2 , в яких рух евклідового простору R^2 представлено лінійним перетворенням

$$\bar{r}_i = M_{ij} \cdot \bar{r}_j,$$

де M_{ij} – матриця 4x4 виду $\begin{vmatrix} U_{ij} & b \\ 000 & 1 \end{vmatrix}$.

Ці перетворення еквівалентні перетворенню в евклідовому просторі

$$r_i = U_{ij} \cdot r_j + b,$$

де $\bar{r}_i, \bar{r}_j \in R^2$

тобто перетворенню, яке пов'язане з поворотом та визначається матрицею U_{ij} розмірністю 2×2 , та паралельний перенос, який задається вектором \bar{b} розмірністю 2. В однорідному просторі розташування точки будуть визначати не дві x , і y , а три величини x' , y' і t' , які відповідають такому співвідношенню:

$$x = x'/t', y = y'/t'.$$

Приймаємо $t'=1$. У матриці повороту U_{ij} елементами u_{ij} є косинуси кутів нової вісі i і старої вісі j . Вектор $\bar{b} = (x, y)$ – двовимірний вектор, який визначає положення початку нової системи координат i в старій системі j .

В прямій задачі необхідно визначити положення пожежного ствола та пов'язаної з ним сферичної системи координат $Mx_n y_n$ по відношенню до нерухомої або базової системи координат $Kx_0 y_0$. Це здійснюється послідовними переходами з системи координат ланки i в систему координат ланки $i-1$. Згідно з прийнятим методом, кожний перехід включає в себе послідовність чотирьох рухів: двох обертів та двох паралельних переносів, які здійснюються у вказаній послідовності (рис. 2.):

- поворот i -ої системи навколо осі x_i на кут $-\theta_i$ (додатній напрямок повороту при спостереженні з кінця вектора x_i проти ходу годинникової стрілки);
- перенос вздовж осі x_i на величину $-a_i$ до суміщення початку системи координат O_i з точкою перетину осей x_i (відлік по осі x_i від точки перетину осей x_i).

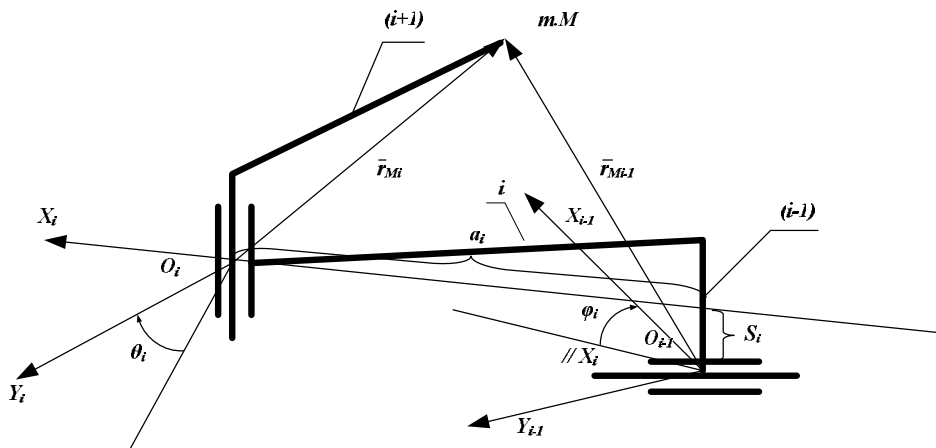


Рис. 2. Кінематична схема послідовності рухів пожежного дистанційно керованого устаткування

В маніпуляторах зазвичай використовуються однорухомі кінематичні пари обертальні, або поступальні. Обидва відносні рухи як обертальний, так і поступальний, реалізуються в циліндричні пари. Матриці переходу їх системи O_i в систему O_{i-1} можна записати так:

$$M_i = M_i^\theta \cdot M_i^a,$$

де

$$M_i^\theta = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ – матриця повороту навколо осі } x_i \text{ на кут } \theta_i,$$

$$M_i^a = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ – матриця переносу вздовж осі } x_i \text{ на } -a_i,$$

Змінні a_i і θ_i визначаються конструктивним виконанням ланок маніпулятора, в процесі руху вони залишаються незмінними.

Положення довільної точки M в системі координат ланки i визначається вектором r_{Mi} , а в системі координат ланки $(i-1)$ – вектором $r_{M(i-1)}$. Ці радіуси пов'язані між собою матрицею перетворення координат M_i таким рівнянням:

$$\bar{r}_i M_{i-1} = M_i \cdot \bar{r} M_i,$$

де

$$M_i = \begin{pmatrix} \cos \varphi_i & -\cos \theta_i \cdot \sin \varphi_i & \sin \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \cos \phi_i \\ \sin \varphi_i & \cos \theta_i \cdot \cos \varphi_i & -\cos \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \sin \phi_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \text{ – матриця переходу з } i\text{-ої системи коор-}$$

динат в $(i-1)$ -у.

Висновки. Кількість ланок та їх відхилення є взаємозалежними: при збільшенні кількості ланок необхідно зменшувати їх допуски і навпаки - при жорстких допусках на виготовлення ланок та їх монтаж кількість ланок у структурі дистанційно керованого пожежного устаткування можна зменшувати. Час виконання пожежним стволем циклу переміщень визначає продуктивність пожежного дистанційно керованого устаткування. Тому вимоги до швидкодії поворотної башти зазвичай достатньо високі.

Список літератури:

1. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. – М.: Высшая школа, 1986. – 264с.
2. Дашенко А.И., Золотаревский Ю.М., Ламин И.И. и др. Технологические основы агрегатирования сборочного оборудования. – М.: Машиностроение, 1991. – 263 с.
3. Механика промышленных роботов: В 3 кн./ Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Бербюк В.Е., Демидюк М.В., Ивах Г.Ф. Задачи оптимизации конструкций и законов управления движения электромеханических манипуляторов // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1987. - №3-С. 113-123.

Д.В. Руденко (Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности)

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМОГО ПОЖАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрено влияние количества звеньев дистанционно управляемого пожарного оборудования на точность его позиционирования с учетом отклонений этих звеньев, определено длину звена, на основе минимальных допусков на ориентирование тушения пожара и максимальных отклонений длин звеньев, определено оптимальное количество звеньев дистанционно управляемого пожарного оборудования, определено положение пожарного ствола и связанной с ним сферической системы координат, определено для перемещения дистанционно управляемого оборудования в любую точку рабочей зоны необходимое количество степеней вольности.

Ключевые слова: дистанционно управляемое пожарное оборудование, погрешности позиционирования звена, улучшение тушения

D. V. Rudenko (Lviv State University of Vital Activity Safety)

POSITION OF THE REMOTEDLY CONTROLLED FIREFIGHTING EQUIPMENT

The article deals with the influence of links quantity in remotely controlled fire equipment on the exactness of its keeping taking into account the rejections of these links. Certainly length of link is determined. On the basis of minimum admittances on the fire extinguishing orientation and maximal rejections of links lengths, the optimum amount of links in the remotely controlled fire equipment is shown. Position of fire barrel and related spherical coordinates system is certain. Necessary quantity for liberty degrees is declared.

Key words: remotely controlled firefighting equipments, link keeping errors, extinguishing improvement

