

2. Кириченко А.Ф., Бережной В.А. Перспективы улучшения работы эвольвентных передач // *Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2004. – Вип. 31. – С. 82-88.
3. Шишов В.П., Ткач П.Н., Ревякина О.А., Муховатый А.А. Синтез цилиндрических зубчатых передач с высокой нагрузочной способностью // *Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля*. – №10(56). – Луганськ: ВНУ ім. В. Даля. – 2002. – С. 247-254.
4. Шишов В.П., Ткач П.Н. Дифференциальные уравнения для синтеза зубчатых передач с двояковыпукло-вогнутыми зубьями // *Подъемно-транспортная техника*. – №4. – 2003. – С. 25-32.
5. Гриневич Г.П., Каменская Е.А., Алферов А.К. *Надежность строительных машин*. – М.: Стройиздат, 1983. – 296 с.
6. Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 3. – 5-е изд., перераб. и доп.* – М.: Машиностроение, 1980. – 557 с.
7. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. *Надежность машин*. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.
8. Пуш В.Э., Беляев В.Г., Гаврюшин А.А. и др. *Металлорежущие станки*. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
9. Гулида Э.Н. *Управление надежностью цилиндрических зубчатых колес*. – Львов: Вища школа, 1983. – 136 с.
10. *Временные типовые нормы (нормативы) времени на замену и текущий ремонт техники*. – М.: ГОСНИТИ, 1972. – 96 с.

УДК 621.833.1/001-2

Д.В. Руденко, О.Е. Васильєва, к.т.н., доцент (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ АВТОНОМНОЇ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

В статті розроблено кінематичну схему та конструкцію маніпулятора автономної дистанційно керованої установки на основі кінематичного аналізу, з урахуванням його геометричних та кінематичних характеристик.

Сучасний стан. Робота особового складу пожежно-рятувальних підрозділів під час гасіння пожеж завжди пов'язана з великим ризиком. Часто особовий склад отримує опіки, травми і виникає небезпека загибелі при обваленні будівельних конструкцій. У багатьох випадках для збереження їх життя потрібно здійснювати дистанційне керування гасінням пожежі. Такими інтелектуальними засобами боротьби з вогненною стихією стали останнім часом дистанційно керовані мобільні протипожежні роботи.

Галузь використання мобільного робота для гасіння пожеж практично не обмежена. Такі роботи можна застосовувати на об'єктах різного призначення як усередині будівель і споруд, так і зовні [1].

Покращення якостей і ефективності експлуатації роботизованої пожежної техніки значною мірою дозволить знизити збитки від пожеж. Засіб, який зменшує ризик ураження людей, мобільні робототехнічні установки, є цінним доповненням в будь-якій ситуації до особового складу під час гасіння пожеж. Мобільні роботи для гасіння пожеж добре

обладнані для використання в надзвичайних умовах при високих (від 400 до 900 °С) температурах і небезпечних шкідливих діях речовин, що виділяються в процесі горіння. Окрім функції захисту від дії відкритого вогню, мобільні роботи оснащуються дешевими тепловізорами і іншими бортовими давачами, що дозволяє їм досліджувати навколишній простір, знижуючи при цьому ризик вогняного ураження людей, забезпечувати статистичний контроль за обстановкою відповідно до поставленого завдання [2].

Постановка проблеми. Важливою та необхідною проблемою є розробка автономної дистанційно керованої установки комбінованого гасіння (надалі АДКУ), яку можна було б застосовувати на базі підрозділів МНС для гасіння пожеж класу «В». АДКУ повинна забезпечувати роботу рятувальників на безпечній відстані, ефективну подачу вогнегасних засобів в осередок пожежі. При цьому можливе дистанційне керування установкою та створення відповідних струменів на безпечній відстані, використовуючи безпечні для людей джерела живлення системи. Разом з тим, необхідно забезпечити найменшу порівняно з існуючими аналогами вартість розробленого в ЛДУ БЖД АДКУ за оптимальних технічних характеристик.

Мета роботи. Розроблення кінематичної схеми та конструкції маніпулятора установки на основі кінематичного аналізу, з урахуванням його геометро-кінематичних характеристик.

Основний механізм маніпулятора АДКУ складається з однієї нерухої ланки 0 і трьох рухомих - 1, 2 і 3 (рис.1).

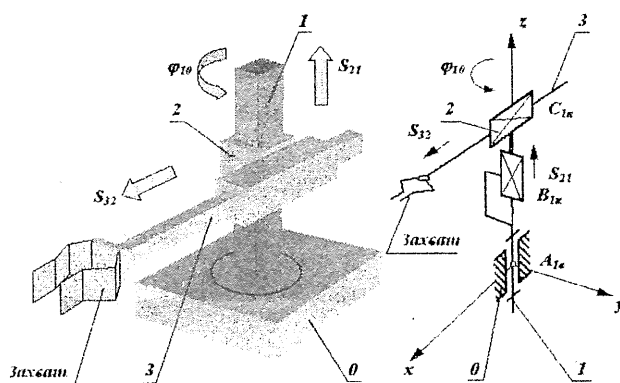


Рис.1. Основний механізм маніпулятора

Механізм даного маніпулятора відповідає циліндричній системі координат. У цій системі ланка 1 може обертатися відносно основи 0 (відносно кутового переміщення φ_{10}), ланка 2 переміщується по вертикалі відносно ланки 1 (відносно лінійне переміщення S_{21}) і ланка 3 переміщується в горизонтальній площині відносно ланки 2 (відносно лінійне переміщення S_{32}). На кінці ланки 3 закріплений робочий орган або захват, призначений для захоплення і утримання об'єкта маніпулювання під час роботи маніпулятора. Для приведення в дію кожного з трьох рухомих частин, маніпулятор повинен бути оснащений приводами. Оскільки рух об'єкта здійснюється за заданим законом руху, то в системі маніпуляторної установки повинні бути пристрої, які забезпечують та задають рухи, тобто, так звані програмні носії. При управлінні маніпулятором від ЕОМ, такими носіями можуть бути дискети, диски CD, магнітні стрічки і ін. Перетворення заданої програми руху в сигнали управління двигунами здійснюється системою управління. Ця система включає ЕОМ, з відповідним програмним забезпеченням, цифрові перетворювачі і підсилювачі. Система управління, відповідно до заданої програми, формує і видає на виконавчі пристрої приводів (двигуни) необхідні дії u_i . За необхідності система коректує ці дії по сигналах Δx_i , які поступають до неї з давачів зворотного зв'язку. Функціональна схема маніпулятора представлена на рис. 2.

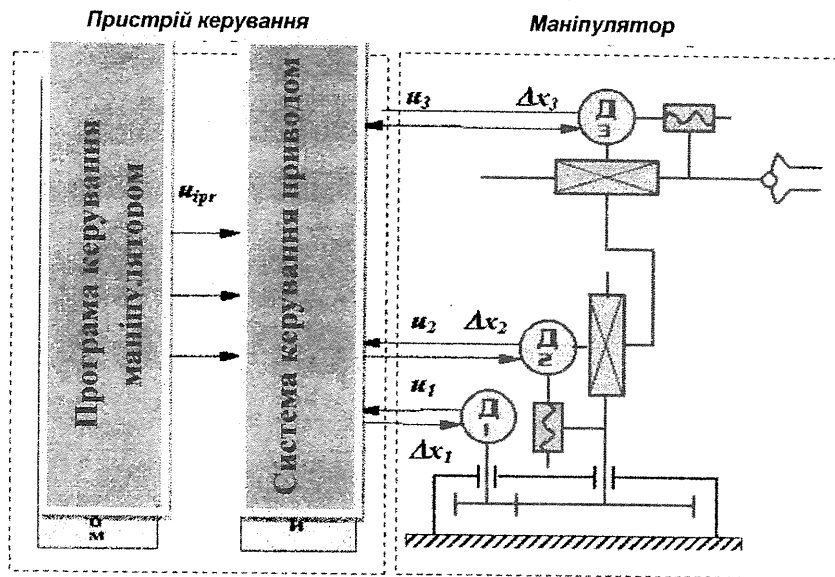


Рис.2. Функціональна схема маніпулятора

Розглянемо з кінематичної точки зору механізм маніпулятора АДКУ. 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 захвата маніпулятора можна використати метод перетворення координат Денавіта та Хартенберга[3]. 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 тривимірного простору PR^3 , в яких рух евклідового простору R^3 представлено лінійним перетворенням

$$\bar{r}_i = M_{ij} \cdot \bar{r}_j, \text{ де } M_{ij} - \text{матриця } 4 \times 4 \text{ виду } \begin{vmatrix} U_{ij} & b \\ 000 & 1 \end{vmatrix}.$$

Ці перетворення еквівалентні перетворенню в евклідовому просторі

$$\bar{r}_i = U_{ij} \cdot \bar{r}_j + b, \text{ де } \left| \bar{r}_i, \bar{r}_j \right| \in R^3.$$

тобто перетворенню, яке пов'язане з поворотом та визначається матрицею U_{ij} розмірністю 3×3 , та паралельний перенос, який задається вектором \bar{b} розмірністю 3. В однорідному просторі розташування точки будуть визначати не три x, y і z , а чотири величини x', y', z' і t' , які відповідають такому співвідношенню:

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

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

1. Для ланки i вісь z_i спрямована по осі кінематичної пари, яка створюється з ланкою $(i+1)$. Початок координат слід розмістити в геометричному центрі цієї пари.

2. Вісь x_i спрямована по загальному перпендикуляру до осей z_{i-1} і z_i з напрямком від z_{i-1} до z_i . Якщо вісі z_{i-1} та z_i збігаються, то x_i перпендикулярна до них і спрямована довільно.

Якщо вони перетинаються в центрі кінематичної пари, то початок координат розташовується в точці перетину, а вісь x_i прямує за правилом векторного добутку $\bar{X}_i = \bar{Z}_i \times \bar{Z}_{i-1}$ (мінімальний поворот осі z_i до суміщення з z_{i-1} при спостереженні з кінця x_i повинен відбуватися проти ходу годинникової стрілки).

3. Вісь y_i спрямовується так, щоб система координат була правою.

В прямій задачі необхідно визначити положення захвата маніпулятора та пов'язаної з ним сферичної системи координат $Mx_n y_n z_n$ по відношенню до нерухомої або базової системи координат $Kx_0 y_0 z_0$. 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. 3):

- поворот i -ої системи навколо осі x_i на кут $-\theta_i$ до паралельності осей z_i і z_{i-1} (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 і z_{i-1} (відлік по осі x_i від точки перетину осі x_i і осі z_{i-1});
- перенос вздовж осі z_{i-1} на величину $-s_i$, після якого початок системи координат O_i виявляється в початку координат O_{i-1} системи $(i-1)$ (відлік відбувається по осі z_{i-1} від її початку координат O_{i-1} до точки її перетину з віссю x_i);
- поворот навколо осі z_{i-1} на кут $-\varphi_i$, до тих пір, поки вісь x_i не стане паралельною до осі x_{i-1} (додатній напрямок повороту при спостереженні з кінця вектора z_{i-1} проти ходу годинникової стрілки).

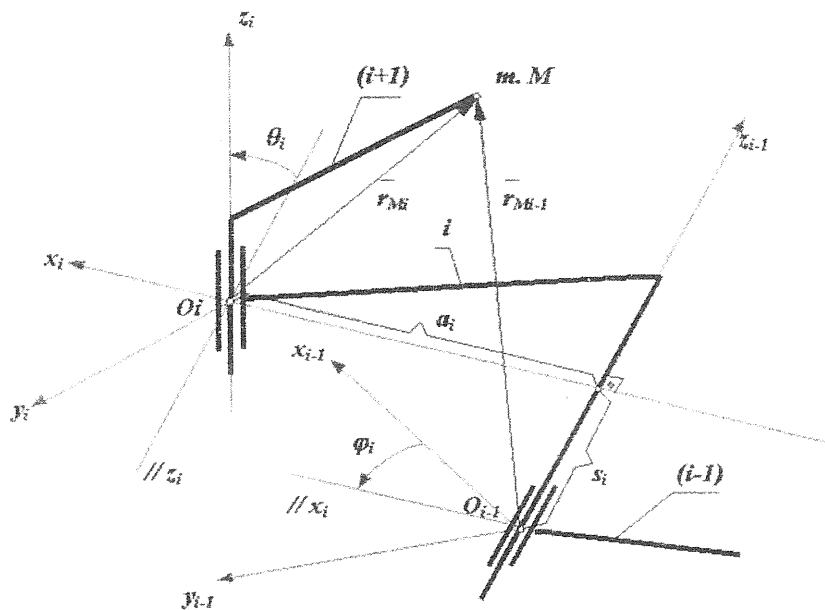


Рис. 3. Кінематична схема послідовності рухів маніпулятора

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

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

де

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

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

$$M_i^s = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad - \text{ матриця переносу вздовж осі } z_{i-1} \text{ на } -S_i,$$

$$M_i^\varphi = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\sin \varphi_i & 0 & 0 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad - \text{ матриця повороту навколо осі } z_{i-1} \text{ на кут } -\varphi_i.$$

В цих матрицях змінні s_i і φ_i відповідають відносним переміщенням ланок в кінематичних парах і являють собою узагальнені координати маніпулятора, які визначають конфігурацію механізму в положенні, яке розглядається. 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_{Mi-1} . Ці радіуси пов'язані між собою матрицею перетворення координат M_i таким рівнянням:

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

$$\text{де } M_i = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i - \cos \theta_i \cdot \sin \varphi_i & \sin \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i & \cos \theta_i \cdot \cos \varphi_i & -\cos \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \sin \varphi_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & S_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad - \text{ матриця переходу з } i\text{-ої системи координат в } (i-1)\text{-у.}$$

Час виконання маніпулятором циклу переміщень визначає продуктивність всього роботизованого комплексу. Тому вимоги до швидкодії маніпулятора зазвичай достатньо високі. Час виконання маніпулятором технологічної операції обумовлений законами зміни зовнішніх сил і інертністю ланок механізму.

На рис. 4 зображена кінематична схема запропонованого маніпулятора (1,2,3 - рухомі ланки, 0 - нерухома ланка). Загальний час робочого циклу $T_{\text{ц}}$ складається з часу вистою в заданих положеннях (на циклограмі вистій зображена прямими паралельними до горизонтальної осі t) і часу відносних переміщень ланок з одного заданого положення в інше $t_{\text{пк}}$ і назад $t_{\text{ок}}$. Час вистою зазвичай заданий умовами технологічного процесу. Час виконання роботом рухів визначається динамічними характеристиками приводів і маніпулятора – рушійними силами і силами опору, масами і моментами інерції ланок.

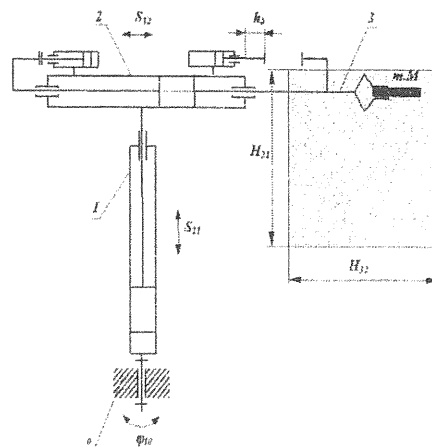
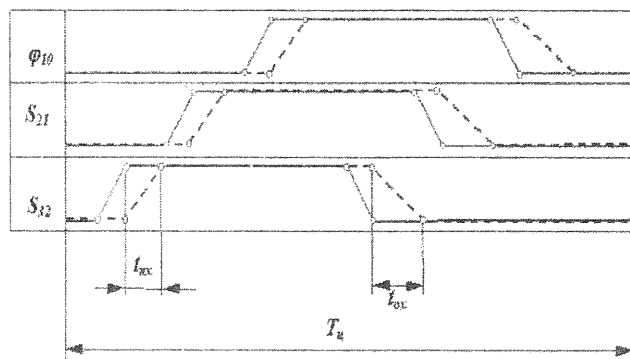


Рис. 4. Кінематична схема маніпулятора з трьома рухомими елементами

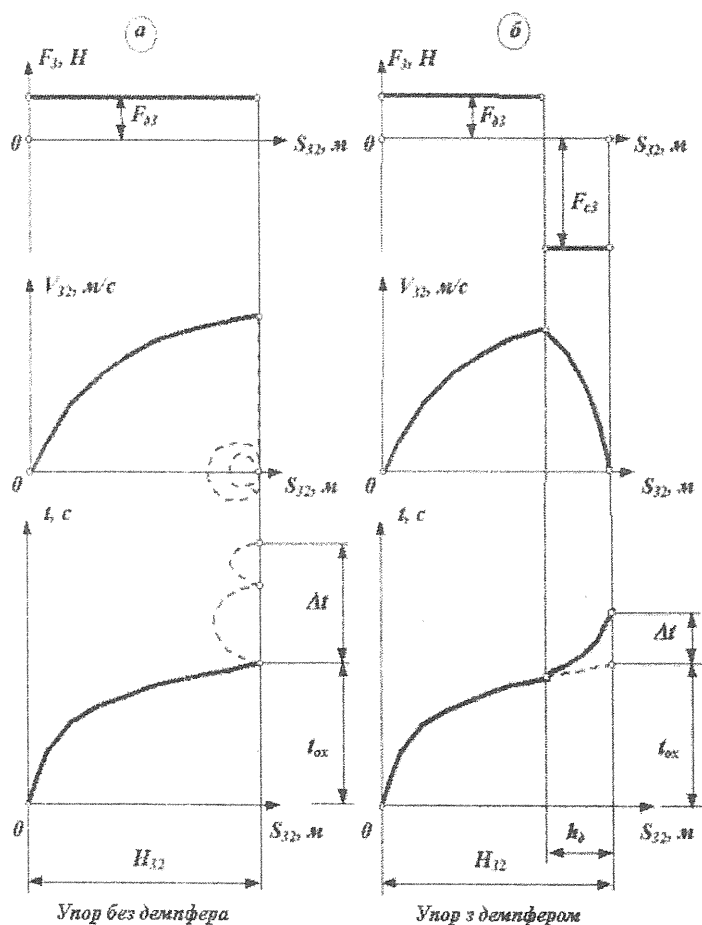


Рис. 5. Схема обмеження ходу току

Розглянемо роботу пневмопривода переміщення руки маніпулятора. По сигналу від командного апарата в праву порожнину циліндра подається стиснене повітря, яке діє на шток з силою $F_{\text{д3}} = p * S_{\text{п}}$, де p - тиск повітря, $S_{\text{п}}$ - активна площа поршня. Під дією цієї сили шток і рука 3 переміщуються вліво з постійним прискоренням і з зростаючою швидкістю V_{32} (рис.5а.). Обмеження ходу штока може здійснюватися або жорстким упором без демпфера, або упором з демпфером [4].

При зупинці на упорі без демпфера, швидкість ланки 3 повинна миттєво зменшитися з певного кінцевого значення до нуля. При такій зміні швидкості прискорення a_{32} прагне до нескінченності. Така зупинка ланки називається жорстким ударом. Вона супроводжується великими динамічними навантаженнями на ланки механізму. Оскільки реальний маніпулятор є пружно-інерційною системою, то ці навантаження викличуть відскок ланки 3 від упора, а також коливання всього механізму.

Захват здійснюватиме коливання щодо заданого кінцевого положення. Час згасання цього процесу Δt (рис.5а) значно знижує швидкодію.

Зменшити ці коливання або взагалі виключити їх можна, забезпечивши безударну зупинку

$$V_{32n} = 0, \quad a_{32n} = 0;$$

де V_{32n} , a_{32n} – відносна швидкість і відносне прискорення ланок у момент зупинки. Проте це здійснюється тільки в регульованому приводі при контурному управлінні. Крім того, при безударній зупинці в кінці ходу відносна швидкість близька до нуля, тому час переміщення захвата в необхідне положення значно зростає. Компромiсним рішенням є зупинка з м'яким ударом, при якому відносна швидкість в кінці ходу $V_{32n} = 0$, а прискорення обмежене деяким допустимим значенням $a_{32n} \leq [a]$. У механізмах з цикловим управлінням режим руху з м'яким ударом забезпечується установкою упорів з демпферами, що гасять кінетичну енергію руки. Розрахунок демпфера ведеться з умови $A_{\partial 3} = 0$, яка забезпечується рівністю за цикл руху роботи рушійної сили $A_{\partial 3}$ і роботи сили опору демпфера A_{Fc} (рис.5б.):

$$A_{\partial 3} = -A_{Fc} \quad \text{або} \quad F_{\partial 3} * (H_{32} - h_{\partial}) = -F_c * h_{\partial}.$$

У цьому виразі невідомі дві величини F_c і h_{∂} , одна з них задається, інша розраховується.

Точність маніпуляторів визначається похибками позиціонування характеристичної точки кріплення ствола (точка М) і похибками кутової орієнтації захвата. Похибки позиціонування визначаються технологічними відхиленнями розмірів ланок маніпулятора, зазорами в кінематичних парах маніпулятора і механізмах приводів, деформаціями ланок, а також похибками системи управління і датчиків зворотного зв'язку.

Висновки. На підставі аналізу механізму автономної дистанційно-керованої установки було встановлено:

1. Вантажопідйомність, швидкість переміщення виконавчого органу, похибка позиціонування, розміри робочої зони, тип системи програмного керування повинні відповідати функціональному призначенню установки і вимогам конкретного технологічного процесу складання;

2. Структурна схема установки і його компоновка повинні забезпечувати мінімальний обсяг маніпуляційних дій необхідних для гасіння пожеж класу «В»;

3. Кількості ступенів вільності модульної установки не повинна перевищувати мінімально необхідної для виконання потрібних маніпуляційних дій, а технічні показники системи програмного керування повинні максимально відповідати вимогам, які задовольняють вирішення конкретних задач (принцип мінімізації конструкторського рішення);

4. В процесі експлуатації модульної установки виникають навантаження від сил ваги ланок, що потребує збільшення потужності двигуна привода і моментів гальмівних пристроїв.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Журнал «Мир и безопасность».– №3, 2007.
2. Гавриш А.П., Ямпольский Л.С. «Гибкие робототехнические системы». – К.: Вища школа. Головное издательство, 1989. – 407 с.
3. Крутько П.Д. «Управление исполнительными системами роботов». – М.: Наука, 1991. – 336 с.
4. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов: основы устройства, элементы теории. – М.: Наука, 1985. – 344 с.