

УДК 681.5

Діктерук М.Г., Човнюк Ю.В.¹

ПЛАНУВАННЯ ЗГЛАДЖЕНИХ ТРАЄКТОРІЙ РУХУ БУДІВЕЛЬНИХ/ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ (МАНІПУЛЯТОРІВ) У ПРОСТОРІ ПРИЄДНАНИХ ЗМІННИХ

АННОТАЦІЯ. Запропонований і обґрунтований спосіб (алгоритм) планування згладжених траєкторій руху будівельних/промислових роботів (маніпуляторів) у просторі приєднаних змінних, який базується на поліномах сьомого степеню по часовій координаті (t) й дозволяє уникати ефектів "биття" вказаних траєкторій (процесу руху).

Ключові слова: планування, згладжені траєкторії, будівельні (промислові) роботи, маніпулятори, приєднані змінні.

АННОТАЦИЯ. Предложен и обоснован способ (алгоритм) планирования сглаженных траекторий движения строительных/промышленных роботов (манипуляторов) в пространстве присоединенных переменных, который базируется на полиномах седьмой степени по временной координате (t) и позволяет избежать эффектов «биений» указанных траекторий (процесса движения).

Keywords: planning, smoothed out trajectories, (industrial) construction-works, manipulators, added variables.

SUMMARY. The method (algorithm) of planning of the smoothed out trajectories of motion of building/industrial robots (manipulators) is offered. It's based on the polynomials of seventh degree for a temporal coordinate. One may use then in the spase of the added variables. Such apporoach allows to avoid the effects of "beatings" for the indicated trajectories (process of motion).

Key words: planning, smoothed out trajectories, building (industrial) robots (manipulators) added variables.

Постановка проблеми. Відомо [1-10], що у задачі вибору закону управління, який забезпечує рух будівельних/промислових роботів (маніпуляторів) вповдовж деякої заданої траєкторії, перед початком руху вказаного маніпулятора важливо знати:

1) чи існують на його шляху які-небудь перепони?

маніпулятором розпадається на дві взаємно пов'язані підзадачі – вибір (планування) траєкторії та реалізація руху маніпулятора вповдовж обраної траєкторії. Зазвичай спочатку розглядають різні способи планування траєкторій руху маніпулятора при відсутності перешкод на шляху руху. Вводять формалізм опису заданої траєкторії руху

Таблиця 1.

Типи управління будівельним/промисловим роботом (маніпулятором)

Наявність/відсутність обмежень на траєкторію руху маніпулятора	Перепони на шляху руху маніпулятора	
	Присутні	Відсутні
Наявні обмеження	Автономне планування траєкторії, що забезпечує обхід перепон, плюс регулювання руху вповдовж обраної траєкторії у процесі роботи маніпулятора	Автономне планування траєкторії плюс регулювання руху вповдовж обраної траєкторії у процесі роботи маніпулятора
Відсутність обмежень	Позиційне управління плюс виявлення та обхід перепон (перешкод) у процесі руху	Позиційне управління

2) чи накладаються будь-які обмеження на траєкторію захоплення.

У залежності від відповідей на ці два питання закон управління маніпулятором належить до одного з чотирьох типів, вказаних у таблиці 1.

З таблиці 1 видно, що задача управління

маніпулятора у вигляді послідовності точок простору, у яких задані положення маніпулятора, й просторової кривої, яка з'єднує ці точки. Криву, в подовж котрої захоплювач маніпулятора рухається з початкового положення у кінцеве, називають траєкторією захоплювача маніпулятора (ЗМ) .

¹ Діктерук М.Г., к.т.н., доцент, Київ. нац. ун-т буд. і арх.; Човнюк Ю.В., к.т.н., доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

Проблема полягає у розробці математичного апарату для вибору й опису бажаного руху маніпулятора між початковою й кінцевою точками траєкторії.

Сутність різних способів планування траєкторій руху маніпулятора зводиться до апроксимації чи інтерполяції обраної траєкторії поліномами деякого класу й до вибору деякої послідовності опорних точок, у яких здійснюють корекцію параметрів руху маніпулятора на шляху від початкової до кінцевої точки траєкторії. Початкова й кінцева точки траєкторії можуть бути задані у приєднаних, так і у декартових координатах [10]. Найчастіше використовують для цього декартові координати, оскільки у них зручніше задавати правильне положення ЗМ. Крім того, приєднані координати непридатні у якості робочої системи координат ще й тому, що вісі зчленувань більшої будівельних/промислових роботів (маніпуляторів) не ортогональні, внаслідок чого неможливий незалежний опис положення й орієнтації ЗМ. Якщо ж у початковій та кінцевій точках траєкторії необхідно знати приєднані координати, їх значення можна отримати за допомогою програми розв'язку зворотної (оберненої) задачі кінематики.

Як правило, траєкторія, яка з'єднує початкове положення ЗМ, не єдина. Можливе, наприклад, переміщення маніпулятора як вздовж прямої, що з'єднує початкову й кінцеву точки (прямолінійна траєкторія), так і вдовж деякої кривої, яка задовольняє низці обмежень на положення й орієнтацію ЗМ на початковій та кінцевій ділянках траєкторії (згладжена траєкторія). Щоб врахувати обмеження динаміки руху маніпулятора, слід

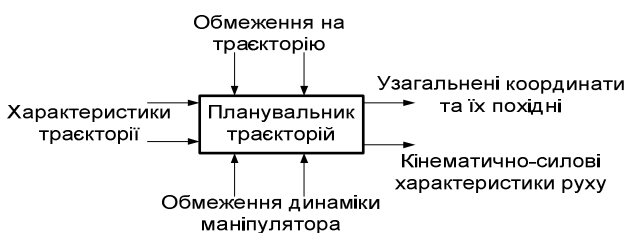


Рис 1. Блок-схема планувальника траєкторій руху ЗМ.

спочатку розглянути найбільш простий випадок планування траєкторій, які задовольняють деяким обмеженням на характер руху ЗМ.

За своїм змістом (сутністю) планувальник траєкторій можна розглядати як «чорний ящик» (рис.1). На вхід планувальника траєкторій подають деякі змінні, що характеризують накладені на траєкторію руху обмеження. Вихід – це задана у часі послідовність проміжних точок, у яких визначені у декартових чи приєднаних координатах положення, орієнтація, швидкість та прискорення ЗМ й через котрі маніпулятор повинен пройти на

шляху з початкової до кінцевої точки траєкторії. При плануванні траєкторій зазвичай застосовується один з двох наступних підходів.

Перший полягає у тому, що дослідник задає точний набір обмежень (наприклад, неперервність та гладкість) на положення, швидкість й прискорення узагальнених координат маніпулятора у деяких точках траєкторії (вказані точки зазвичай називають вузловими). Планувальник траєкторій після цього обирає з деякого класу функцій (як правило, серед багаточленів, степінь котрих не перевищує деяке задане число n) функцію, яка проходить через вузлові точки й задовольняє у них заданим обмеженням.

Другий підхід полягає у тому, що дослідник задає бажану траєкторію ЗМ у вигляді деякої аналітично описуваної функції, як, наприклад, прямолінійну траєкторію у декартових координатах. Планувальник потім здійснює апроксимацію заданої траєкторії у приєднаних чи декартових координатах.

У першому підході визначення обмежень і планування траєкторії здійснюють у приєднаних координатах. Оскільки на рух ЗМ ніяких обмежень не накладають, досліднику важко уявити траєкторію ЗМ, яка реалізується, і тому виникає можливість зіткнення з перешкодами, інформація про наявність котрих на шляху ЗМ відсутня. При другому підході обмеження задаються у декартових координатах, у той час як силові приводи реалізують зміну приєднаних координат. Тому для знаходження траєкторії, що досить точно апроксимує задану, за допомогою наближених функціональних перетворень переходять від обмежень, заданих у декартових координатах, до обмежень, заданих у приєднаних координатах, тільки після цього відшукують серед функцій заданого класу траєкторію, яка задовольняє обмеженням, що виражаються у приєднаних координатах.

Вказані вище два підходи до планування траєкторій маніпулятора можна було б використати для ефективного (практично у реальному часі) конструювання (побудови) послідовностей вузлових точок траєкторій ЗМ. Однак задана у часі послідовність векторів $\{\vec{q}(t), \dot{\vec{q}}(t), \ddot{\vec{q}}(t)\}$ у просторі приєднаних змінних формується без врахування обмежень динаміки маніпулятора, що може призвести до виникнення значних помилок відслідковування при управлінні маніпулятором. (Тут $\vec{q}(t)$ – вектор узагальнених координат, що залежать від часу t ; $\dot{\vec{q}}(t)$ – вектор швидкостей узагальнених координат; $\ddot{\vec{q}}(t)$ – вектор прискорень узагальнених координат).

Аналіз публікацій по темі дослідження. Планування траєкторій руху маніпуляторів (промислових, будівельних роботів) розглянуто у роботах [1-10]. Методи опису прямолінійного руху між послідовними вузловими точками викладені у [11-13].

У загальному випадку планування траєкторій у декартових координатах полягає у реалізації двох послідовних кроків: 1) формування послідовності вузлових точок у декартовому просторі, розміщених вдовж запланованої траєкторії ЗМ; 2) вибір деякого класу функцій, що описують (апроксимують) ділянки траєкторії між вузловими точками у відповідності з деяким критерієм. Критерій, який використовується на другому кроці, обирається, як правило, із врахуванням алгоритмів, котрі застосовуються потім для управління задля того, щоб гарантувати можливість руху вздовж обраної траєкторії. Існує два основних підходи до планування траєкторії у декартовому просторі. У першому з них більшість обчислень, оптимізація траєкторій і наступне регулювання руху здійснюються у декартових координатах. Зокрема, керуючий сигнал, який подається на привод, обчислюється за розбіжністю між поточним й заданим положеннями ЗМ у декартовому просторі. Вузлові точки на заданій прямолінійній траєкторії у декартовому просторі обчислюються через фіксовані інтервали часу. Обчислення значень приєднаних координат у цих точках здійснюють у процесі управління рухом ЗМ. Другий підхід полягає у апроксимації проміжних ділянок траєкторії у декартовому просторі приєднаних змінних, отриманими у результаті інтерполяції траєкторії між сусідніми вузловими точками поліномами низького степеня. Регулювання руху у цьому підході здійснюється на рівні приєднаних змінних. Керуючий сигнал, який подається на привод, обчислюється за розбіжністю між поточним й заданим положеннями маніпулятора у просторі приєднаних координат. Запропонований Тейлором [13] метод побудови траєкторій з обмеженими відхиленнями й розроблений Ліном метод опису траєкторій кубічними сплайнами [14] використовують апроксимацію прямолінійної траєкторії поліномами низького степеня у просторі приєднаних змінних.

Перший з наведених вище підходів до планування траєкторій у декартовому просторі дозволяє забезпечити високу точність руху вдовж заданої траєкторії. Однак усі відомі алгоритми управління рухом будуються із врахуванням відсутності датчиків, що вимірюють положення ЗМ у декартовому просторі, у просторі приєднаних змінних. Це призводить до необхідності здійснювати перетворення декартових координат ЗМ у вектор приєднаних координат маніпулятора у процесі руху – задача, яка вимагає великої кількості обчислень й до того ж нерідко така, що збільшує термін управління маніпулятором. Крім того, перехід від декартових до приєднаних координат погано обумовлений завдяки відсутності взаємно-однозначної відповідності між цими координатами. У подальшому щодо траєкторії (неперервність, гладкість, граничні умови) формулюються у декартових координатах, у той час як обмеження динаміки, які необхідно враховувати на етапі планування траєкторії, задаються у про-

сторі приєднаних змінних. У результаті необхідно вирішувати задачу оптимізації з обмеженнями, заданими у різних системах координат.

Перераховані вище недоліки першого підходу призводять до того, що більш широко використовується другий підхід, заснований на перетворенні декартових координат вузлових точок у відповідні приєднані координати з наступним проведенням інтерполяції у просторі приєднаних змінних поліномами низького степеня. Цей підхід забезпечує менші (у порівнянні з першим) обчислювальні витрати часу й полегшує врахування обмежень динаміки маніпулятора. Однак точність руху вздовж заданої у декартовому просторі траєкторії при цьому знижується.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні алгоритму планування згладжених траєкторій руху ЗМ у просторі приєднаних змінних, який для опису руху його i -го зчленування використовує поліном високого степеня (сьомого).

Виклад основного змісту дослідження.
Планування згладжених траєкторій руху будівельного/промислового робота (маніпулятора) у просторі приєднаних змінних.

При управлінні маніпулятором (цей термін буде у подальшому вживатись у тексті роботи як узагальнюючий), перш ніж почати планувати траєкторію руху, необхідно визначити конфігурації маніпулятора у початковій та кінцевій точках траєкторії. Планування згладжених траєкторій у просторі приєднаних змінних слід здійснювати із врахуванням наступних міркувань [15]:

1. У момент підйому об'єкту маніпулювання рух ЗМ повинен бути спрямований від об'єкту; у протилежному випадку може відбутись зіткнення ЗМ з поверхнею, на якій розміщений об'єкт.
2. Якщо задати точку відходу на нормалі до поверхні, яка проходить через початкове положення ЗМ, на котрій розміщений об'єкт, й вимагати, щоб траєкторія руху ЗМ проходила через цю точку, тоді буде заданий припустимий рух відходу. Задаючи час, за який ЗМ попадає у цю точку, можна керувати швидкістю руху ЗМ на початковій ділянці (ділянка відходу).
3. Аналогічні умови можна сформулювати для ділянки підходу до заданого кінцевого положення: ЗМ повинен пройти через точку підходу, яка розміщена на нормалі до поверхні, що проходить через кінцеве положення ЗМ, й на котру повинен бути розміщений об'єкт маніпулювання. Це забезпечить правильний напрямок руху на кінцевій ділянці траєкторії (ділянка підходу).
4. З наведеного вище випливає, що будь-яка траєкторія руху маніпулятора повинна проходити через чотири задані точки: початкову точку, точку відходу, точку підходу й кінцеву точку (рис. 2).
5. На траєкторію руху накладаються умови:

- а) початкова точка: задані швидкість і прискорення (зазвичай нульові);
 - б) точка відходу: неперервність положення швидкості й прискорення;
 - в) точка підходу : те ж саме, що й для точки відходу;
 - г) кінцева точка: задані швидкість та прискорення (зазвичай нульові).
6. Значення приєднаних координат повинні знаходитись у межах фізичних та геометричних обмежень кожного із зчленувань маніпулятора.
 7. При визначенні часу руху необхідно враховувати наступне:
 - а) термін проходження початкового й кінцевого елементів (ділянок) шляху/траєкторії об-

рається із врахуванням необхідної швидкості підходу й відходу ЗМ й представляє собою деяку константу, яка залежить від характеристик силових приводів зчленувань;

б) час руху вповдовж ділянки траєкторії визначається максимальними значеннями приєднаних швидкостей і прискорень кожного із членувань. Для нормування використовується максимальний час, необхідний для проходження цієї ділянки траєкторії найбільш повільним зчленуванням.

Умови, яким повинна задовольняти типова згладжена траєкторія у просторі приєднаних змінних, перераховані у таблиці 2.

Таблиця 2.

Обмеження на траєкторію у просторі приєднаних змінних

Точка траєкторії руху маніпулятора	Задані граничні умови у точці
Початкова точка	1. Положення (задане). 2. Швидкість (задана; зазвичай нульова). 3. Прискорення (задане; зазвичай, нульове).
Проміжні точки	4. Положення у точці відходу (задане). 5. Положення у точці відходу (змінюється безперервно при переході між послідовними ділянками траєкторії). 6. Швидкість (змінюється безперервно при переході між послідовними ділянками траєкторії). 7. Прискорення (змінюється безперервно при переході між послідовними ділянками траєкторії). 8. Положення у точці підходу (задане). 9. Положення у точці підходу (змінюється безперервно при переході між послідовними ділянками траєкторії). 10. Швидкість (змінюється безперервно при переході між послідовними ділянками траєкторії). 11. Прискорення (змінюється безперервно при переході між послідовними ділянками траєкторії).
Кінцева точка	12. Положення (задане). 13. Швидкість (задана; зазвичай нульова). 14. Прискорення (задане; зазвичай, нульове).

Слід обрати деякий клас поліноміальних функцій степеня не вище n , які дозволяють здійснювати інтерполяцію траєкторії за заданими вузловими

Один із способів полягає у тому, щоб описати рух i -го зчленування поліномом сьомого степеня:

$$q_i(t) = a_7 t^7 + a_6 t^6 + a_5 t^5 + a_4 t^4 + a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0, \tag{1}$$

у якому наведені коефіцієнти $a_j, (0,1,\dots,7)$ визначаються із заданих граничних умов й умов неперервності.

Слід зазначити, що на думку авторів [10], використання поліному такого високого степеня (сьомого) (1) призводить до цілої низки недоліків. Зокрема, важко визначити його екстремальні значення. Крім того, інтерполяція поліномами високого степеня призводить до появи «биття» інтерполюючої функції, котре обумовлює непотрібні (i , навіть, шкідливі) рухи маніпулятора. Тому автори [10] пропонують альтернативний підхід, який полягає у тому, щоб розбити траєкторію руху на декілька ділянок й кожну з цих ділянок інтерполювати поліномом низького степеня. (Існує, до речі, багато різноманітних способів розбиття траєкторії на ділянки, кожний з котрих має переваги й недоліки. Найбільш розповсюджені наступні способи [10]: 4-3-4 – траєкторії; 3-5-3 – траєкторії; кубічні сплайни,

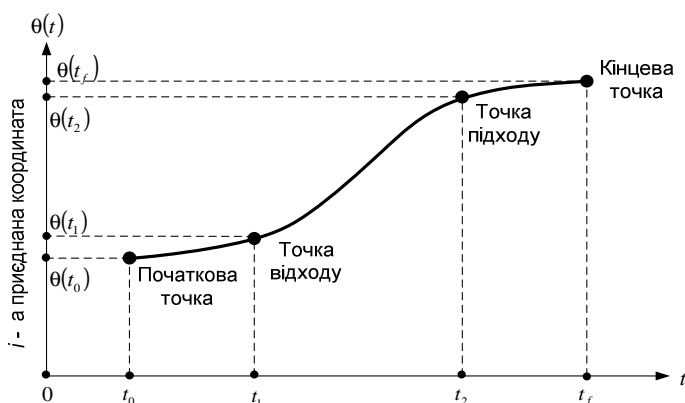


Рис. 2. Обмеження щодо положення траєкторії у просторі приєднаних змінних.

точками (початкова точка, точка відходу, точка підходу, кінцева точка), що забезпечує виконання умов неперервності положення, швидкості й прискорення на усьому інтервалі часу $[t_0, t_f]$.

які використовуються при розбитті траєкторії на п'ять ділянок).

Автори даної роботи обґрунтовують використання саме поліномів (1), які логічно впливають з необхідних умов (рівняння Ейлера-Пуассона) існування критерію мінімуму квадрату четвертої похідної від узагальненої q_j – ої координати по часу t :

$$J = \int_0^{t_f} \{q_j^{(IV)}\}^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Саме такий критерій руху маніпулятора забезпечує необхідну гладкість руху (траєкторії) у всіх точках (початковій, кінцевій, проміжних).

Константи a_i , $i = (0, 1, \dots, 7)$ у (1) визначаємо з наступних умов:

$$\begin{aligned} q_j|_{t=0} = \dot{q}_j|_{t=0} = \ddot{q}_j|_{t=0} = \ddot{\ddot{q}}_j|_{t=0} = 0; \\ q_j|_{t=t_f} = q_{jf}; \quad \dot{q}_j|_{t=t_f} = \ddot{q}_j|_{t=t_f} = \ddot{\ddot{q}}_j|_{t=t_f} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння Ейлера-Пуассона для умови (2) має вид:

$$q_j^{(VIII)} = 0. \quad (4)$$

Розв'язок (4) відшукуємо у вигляді (1) по t . З початкових/граничних (крайових) умов (3) легко знаходимо:

$$\begin{cases} a_0 = a_1 = a_2 = a_3 = 0; \quad a_4 = \left(\frac{427}{953}\right) \frac{q_{jf}}{t_f^4}; \\ a_5 = \left(-\frac{84}{953}\right) \frac{q_{jf}}{t_f^5}; \quad a_6 = \left(\frac{854}{953}\right) \frac{q_{jf}}{t_f^6}; \\ a_7 = \left(-\frac{244}{953}\right) \frac{q_{jf}}{t_f^7}. \end{cases} \quad (5)$$

Таким чином, закон руху $q_j(t)$, що задовольняє критерію якості руху (2) за заданих граничних умов (3) набуває такого виду:

$$q_i(t) = \frac{q_{jf}}{953} \left\{ \begin{aligned} & -244 \left(\frac{t}{t_f}\right)^7 + 854 \left(\frac{t}{t_f}\right)^6 - \\ & -84 \left(\frac{t}{t_f}\right)^5 + 427 \left(\frac{t}{t_f}\right)^4 \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Саме закон руху $q_j(t)$ – ої координати маніпулятора (6) забезпечує необхідну гладкість траєкторії у її точках (початковій, кінцевій, проміжних).

Висновки

1. Наведений опис руху j – го зчленування маніпулятора (робота) промислового/будівельного типу, який дозволяє запланувати необхідну траєкторію вказаного руху з певним (достатнім) ступенем її гладкості, а саме – поліномом сьомого степеню по t .
2. Екстремальні значення такого поліному легко знаходити за правилами вищої математики, а інтерполяція траєкторії руху маніпулятора таким чином дозволяє позбутися негативних ефектів «биття» інтерполюючої рух (траєкторію руху) функції (в усіх точках цього руху).
3. Отримані у роботі результати можуть у подальшому слугувати для вдосконалення й уточнення існуючих алгоритмів розрахунку планувальника траєкторій руху ЗМ, промислових/будівельних роботів як на стадіях їх конструювання/проектуювання, так і у режимах реальної експлуатації.

Література

1. Робототехника и гибкие производственные системы: Проблемы создания гибких автоматизированных производств./ Под ред. академиком И.М. Макарова, К.В. Фролова, чл.-корр. АН СССР П.Н. Беянина. – М.: Наука, 1987.
2. Научные основы робототехники. / Под ред. чл.-корр. АН СССР Д.Е. Охочимского и чл.-корр. АН СССР Е.М. Попова. – М.: Наука, 1987.
3. Попов Е.П. Манипуляционные роботы: Динамика и алгоритмы. / Е.П. Попов, А.Ф. Верещанин, С.Л. Зенкевич. – М.: Наука, 1978.
4. Медведев В.С. Системы управления манипуляционных роботов./ В.С. Медведев, А.Г. Лесков, А.С. Ющенко. – М.: Наука, 1978.
5. Кулешов В.С. Динамика систем управления манипуляторами. / В.С. Кулешов, Н.А. Лакота. – М.Ж Энергия, 1971.
6. Промышленная робототехника. / Под ред. Я. А. Шифрина. – М.: Машиностроение, 1983.
7. Пашков Е.В. Робототехнические системы в сборочном производстве. / Е.В. Пашков, Б.В. Погорелов, А.Г. Карлов и др. – К.: Вища школа, 1987.
8. Костюк В.И. Промышленные роботы: Конструирование, управление, эксплуатация. / В.И. Костюк, А.П., А.П. Гавриш, Л.С. Ямпольский, А.Г. Карлов. – К.: Вища школа, 1985.
9. Чернаусько Ф.Л. Манипуляционные роботы: Динамика, управление, оптимизация. / Ф.Л. Чернаусько, Н.Н. Болотник, В.Г. Градецкий. – М.: Наука, 1989.
10. Фу К. Робототехника. / К.Фу, Р.Гонсалес, К.Ли. – М.: Мир, 1989. – 624 с.

11. Luh J.Y.S. Optimum Path Planning for Mechanical Manipulators. / J.Y.S.Luh, C.S. Lin // Transactions of ASME. Dynamic Systems, Measurement and Control. – 1981. – V. 102. – P.142-151.
12. Paul R.P. Manipulator Cartesian Path Control. / R.P. Paul //IEEE Transactions. Systems, Manual Cybernetics/ SMC – 9.– 1979. – No. 11. – P.702 – 711.
13. Taylor R.H. Planning and Execution of Straight Line Manipulator Trajectories. / R.H. Taylor // IBM J. Res Devel. – 1973. – V.23. – No. 4. – P. 424 – 436.
14. Lin C.S. Formulation and Optimization of Cubic Polynomial Joint Trajectories for Industrial Robots. / C.S. Lin, P.R. Chang, J.Y.S. Luh //IEEE Transactions on Automatic Control. – 1983. – Vol. AC – 28. – No. 12. – P. 1066-1073.
15. Paul R.P. Modeling, Trajectory Calculation and Servoing of a Computer Controlled Arm./ R.P. Paul. – Memo AIM – 177; Stanford Artificial Intelligence Laboratory, Palo Alto, Calif. 1972.

УДК 621.3.07

Вітюк М.В., Матоліков Д.П., Немчук О.О.¹

МЕТОД АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРИВОДІВ ПЕРЕВАНТАЖУВАЧІВ НА ОСНОВІ МІР СХОЖОСТІ

Анотація. У статті досліджується вживаність мір схожості до рішення задач аналізу і оптимізації систем підйомно-транспортних машин на прикладі системи автоматизації приводу механізму пересування. Пропонується алгоритм обробки експериментальних даних, підібрані міри схожості, які дозволяють отримати найефективніші рішення поставлених задач. Міра схожості являє собою функцію, що ставить у відповідність кожній парі об'єктів деяке число, що характеризує ступінь їх схожості між собою. Таким чином, міра схожості виступає інструментом угрупування, вимірювання зв'язку і автоматичної класифікації.

Ключові слова: привід перевантажувачів, система автоматизації, міри схожості, коефіцієнти подібності, аналіз, оптимізація.

Аннотация. В статье исследуется применяемость мер сходства к решению задач анализа и оптимизации систем подъемно-транспортных машин на примере системы автоматизации привода механизма передвижения. Предлагается алгоритм обработки экспериментальных данных, подобраны меры сходства, позволяющие получить наиболее эффективные решения поставленных задач. Мера сходства представляет собой функцию, ставящую в соответствие каждой паре объектов некоторое число, характеризующее степень их сходства между собой. Таким образом, мера сходства выступает инструментом группировки, измерения связи и автоматической классификации.

Ключевые слова: привод перегружателей, система автоматизации, меры сходства, коэффициенты подобия, анализ, оптимизация.

Annotation. In this article we investigate the applicability of similarity measures to solving problems of analysis and optimization of lifting-transporting machines systems on the example of the movement mechanism drive automation system. We propose an algorithm data processing, chosen measure of similarity, which give the most effective solution of tasks. Similarity measure is a function associating with each pair of objects a certain number that characterizes the degree of similarity between them. Thus, similarity measure is the instrument of groupment, measuring of communication and automatic classification.

Keywords: drive of cranes, system of automation, similarity measures, similarity coefficients, analysis, optimization.

Вступ. Для рішення сучасних технічних завдань залучається велика кількість факторів: інженерних, технологічних, економічних, а також людський фактор. Для забезпечення комплексного підходу необхідно використовувати нові методи, що оперують багатоозначковим простором. Найбільш суттєвою в даному випадку є парадигма мір схожості: «подібні за структурою об'єкти

володіють подібними характеристиками». Міра схожості являє собою функцію, яка ставить у відповідність кожній парі об'єктів деяке число, що характеризує ступінь їх схожості між собою. Аналіз дослідів та публікацій показав, що міри схожості використовуються в дослідженні технічних систем, як інструмент угрупування, вимірювання зв'язку і автоматичної класифікації. Розробка ав-

¹ Вітюк М.В., к.ф.-м.н, професор; Матоліков Д.П., асистент; Немчук О.О., к.т.н., доцент Одеський національний морський університет.