

ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ МАНІПУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

Кирилович В.А., Мельничук П.П., Писарчук О.О., Черепанська І.Ю.

(ЖДТУ, м.Житомир, Україна)

Тел./факс: +38 093 77 030 77; E-mail: kiril_v@mail.ru, v.kirill.2010@gmail.com

Анотація: Представлена послідовність формування функціональних моделей маніпуляційних систем промислових роботів (ФМ МС ПР) в контексті пропонованих методологічних кроків. ФМ МС ПР базується на використанні теорії кватерніонів та її переваг, наслідком чого є нетрадиційний підхід до традиційних рішень проблем

Ключові слова: промисловий робот, функціональна модель, теорія кватерніонів, ланка

1. Вступ

Постановка проблеми. При синтезі роботизованих механообробних технологій (РМТ) в умовах гнучкого виробництва виникає ряд задач, розв'язок яких неможливий без інформації щодо функціональних можливостей промислових роботів (ПР). Дана вимога може бути забезпечена використанням так званих функціональних моделей (ФМ) ПР. Під ФМ ПР тут розуміється деякий аналітичний вираз, що відтворює аналог реального ПР, створений з використанням математичного апарату кватерніонів [1 – 3], а також лінгвістичних та логічних понять, що відображає його (ПР) певні функціональні можливості. В загальному випадку ФМ ПР (існуючі синоніми – формалізований опис (ФО), математичний опис) слід розглядати як інтеграцію (об'єднання) ФМ маніпуляційної системи (МС) ПР та ФМ схвата (символ G_r в наведеному нижче виразі (1)). Остання тут не розглядається і є предметом окремого дослідження.

Стан проблеми. Проведений аналіз існуючих ФО МС ПР [4 – 7] вказує на ряд недоліків, що суттєво впливають та в більшості випадків фактично унеможливають застосування ФО МС ПР для розв'язку ряду задач гнучкого механообробного виробництва [6 – 8]. Ці недоліки спричинені перш за все неможливістю визначення положення ланок МС ПР, що не співпадають з осями прийнятої системи координат (СК) ПР.

Одним із можливих підходів щодо запобігання вказаного є використання теорії кватерніонів як інформаційної складової при формуванні ФМ МС ПР. Це дає можливість описувати зміни взаємного переміщення ланок МС ПР в термінах узагальнених координат (УК) в положеннях, що не співпадають з осями базової попередньо прийнятої СК, що разом з геометричними примітивами, які ідентифікують геометричні параметри ланок МС, розглядається як інформаційна основа формування ФМ МС ПР.

Метою роботи є висвітлення запропонованої авторами покрокової методики формування ФМ МС стаціонарних ПР, що вільна від попередньо визначених недоліків і може бути використана при розв'язку ряду задач геометричного, кінематичного та в подальшому динамічного змісту при автоматизованому синтезі РМТ в ГВК.

2. Основна частина та результати роботи

Слід зазначити, що ФМ МС ПР як і люба інша модель, в тому числі і математична, не є точним відображенням абсолютно всіх властивостей ПР і деякі складові параметрів і характеристик реальних ПР в ній не розглядаються. Зокрема відсутні динамічні, управлінські, точнісні та інші складові [8].

Формування ФМ МС ПР виконується в розробленій методичній послідовності покроково. Змістовність кроків можна узагальнено подати ланцюгом дій: аналіз МС ПР→складання схеми заміщення (СЗ) МС→заміна ланок СЗ їх 3D-геометричними примітивами→формування ФМ МС ПР. Кроки, що є обов'язковими, далі в тексті пронумеровані, їх назви та номери виділені курсивом і є наступними.

Крок 1. Аналіз МС ПР.

На рис.1, а наведено схему МС аналізованого ПР мод. Fanuc M710iC/20L, на прикладі якого проілюстровано формування ФМ МС ПР.

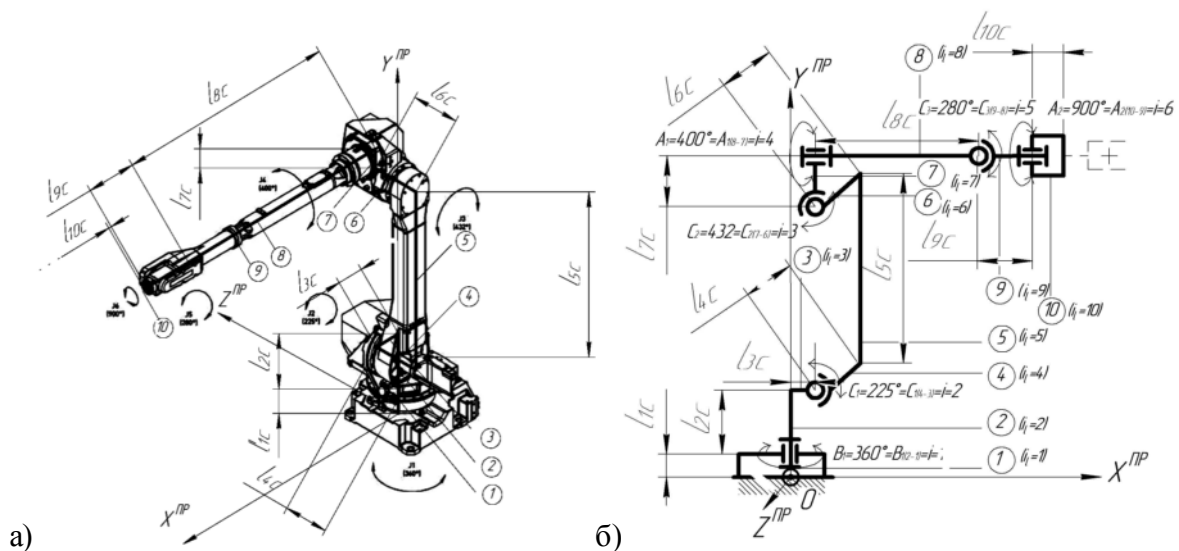


Рис.1. Спрощена схема МС ПР мод. Fanuc M710iC/20L:

а) загальний вигляд;

б) схема заміщення (СЗ) МС ПР

Аналіз МС даного ПР вказує на те, що МС має достатньо розвинену кінематичну структуру, працює в сферичній СК (всі ступені рухомості є обертальними) і складається із 10 ланок. Останні позначені в кружечках і пронумеровані в напрямку від нерухомої основи (ланка 1) до кінцевої ланки 10, до якої має кріпитись схват (на рис.1 не позначено). Кількість ступенів рухомості, що позначені взаємними переміщеннями відповідних ланок як B_1, C_1, C_2, A_1, C_3 та A_2 , дорівнює 6.

Крок 2. Правила фіксованого початкового положення (ФПП) МС.

ФПП є необхідним для початкового опису геометрично-кінематичних параметрів МС, що в свою чергу є необхідними для подальшого складання схеми заміщення МС.

При складанні ФМ МС ПР визначені правила (П), що прийняті за основу при формуванні ФМ інших моделей ПР, які є наступними.

П1. За базову прийнята права система координат ПР $X^{PP} Y^{PP} Z^{PP}$, початок якої зв'язаний з нерухомою ланкою 1 (основною) МС ПР; вісі X^{PP}, Z^{PP} розташовуються горизонтально, вісь Y^{PP} доповнює СК до правої.

П2. Ланки МС ПР (рис.1) розташовуються таким чином, щоб кожна i -та ланка по можливості співпадала або розміщувалась колінеарно осям прийнятої за П1 правої СК ПР $X^{PP} Y^{PP} Z^{PP}$; ланки МС ПР повинні розташовуватись відносно якнайменшої кількості вказаних осей, направлені в сторону позитивних напрямків осей, а "горизонтальні складові" ланок МС розміщуватись вздовж осі X^{PP} .

П3. Нумерація ланок здійснюється в напрямку від основи (1-ша ланка, $i_1=1$) до останньої n_1 -ої ланки (в даному випадку 10-ої ланки, $i_1=10$: $i_1 = \overline{1, n_1}$, де n_1 – загальна кількість ланок МС ПР) і повинна відповідати нумерації за П1.

П4. Кожну i_1 -ту ланку МС ПР доцільно віднести або до так званих активованих, які можуть безпосередньо переміщатись відносно попередньої (i_1-1)-ої ланки, або до неактивованих, що конструктивно не можуть переміщатися відносно попередньої ланки, а значить жорстко закріплені відносно неї і не утворюють кінематичну пару V-го класу [9]. Кількість активованих ланок визначає кількість ступенів рухомості n МС ПР: $i = \overline{1, n}$; $n \leq n_1$.

При цьому є очевидним, що при виконанні тих чи інших маніпуляційних дій кожна із активованих ланок може бути активною або неактивною, а кожна із неактивованих ланок є завжди неактивною (пасивною), що витікає із їх визначення.

Для ПР за рис.1 активованими є ланки 2, 4, 7, 8, 9 та 10, а неактивованими – 1, 3, 5 та 6, тобто $n=6$, $n_1=10$.

Доречно наголосити, що саме врахування активованих та неактивованих ланок є одним із принципово нових параметрів, що враховані в пропонованій тут ФМ МС аналізованого ПР.

П5. Позначення, види та величини переміщень кожної i_1 -ої ланки відносно попередньої (i_1-1)-ої виконується з врахуванням змісту П1 та наступного:

- якщо i_1 -та ланка в ФПП має можливість переміщуватись лінійно вздовж осей у прийнятій СК ПР, то величини переміщень позначаються як лінійний оператор координатних напрямків (ОКН) [7], тобто X , Y або Z ;

- якщо i_1 -та ланка в ФПП може переміщуватись обертально відносно (i_1-1)-ої в прийнятій СК ПР, тобто навколо осей X^{IP} , Y^{IP} або Z^{IP} , то обертальні переміщення позначаються відповідно A , B , C , тобто обертальними ОКН [7];

- позначення величин відносних переміщень неактивованих ланок, наприклад, 1-ої ланки відносно 0-ої (основи), є нульовими.

Крок 3. Складання СЗ МС.

СЗ являє собою графічне зображення спрощеної кінематичної структури МС ПР, створеної за результатами її аналізу (крок 1) та ФПП (крок 2) як упорядкована система ідеальних “ниткових” елементів-ланок, що з’єднані між собою у відповідності до реальної МС нерухомо (неактивовані ланки) або за допомогою кінематичних пар V-го класу (активовані ланки). Приклад СЗ для МС ПР мод. Fanuc M710iC/20L подано на рис.1, б.

Крок 4. Опис ланок МС геометричними примітивами.

Прийнято описувати просторові розміри i_1 -ої ланки типом геометричного примітиву t_{i_1} з відповідними геометричними параметрами H_{i_1} , $t_{i_1} \in \{Cr, Pd, Ce, Cd\}$, де Cr – циліндр, Pd – паралелепіпед, Ce – конус, Cd – комбінований геометричний примітив, що є комбінацією попередніх типів геометричних примітивів різного складу та поєднання, які розглядаються в напрямку від i_1 -ої до (i_1+1)-ої ланки. Примітиви Cr, Pd, Ce названо елементарними. Якщо:

- $t_{i_1} = Cr$, то $H_{i_1} \equiv [h_{i_1}U; d_{i_1}U]$, де $h_{i_1}U$ – висота циліндра, наприклад, з основним розміром i_1 -ої ланки; $d_{i_1}U$ – діаметр основи циліндра;

- $t_{i_1} = Pd$, то $H_{i_1} \equiv [h_{i_1}U; a_{i_1}U; b_{i_1}U]$, де $h_{i_1}U$ – висота паралелепіпеда; $a_{i_1}U$ та $b_{i_1}U$ – відповідні сторони основи; при $h_{i_1}U = a_{i_1}U = b_{i_1}U$ паралелепіпед є кубом;

– $t_{i_l} = Ce$, то $H_{i_l} \equiv [h_{i_l}U; d_{i_l1}U; d_{i_l2}U]$, де $h_{i_l}U$ – висота конуса; $d_{i_l1}U, d_{i_l2}U$ – його діаметри, розташовані в напрямку осі від (i_l-1) -ої до (i_l+1) -ої ланки МС ПР;

– $t_{i_l} = Cd$, то $t_{i_l} \in \{Cr, Pd, Ce\}$; $t_{i_l} \equiv \langle t_{i_lj} | H_{i_lj} | t_{i_l(j+1)} | H_{i_l(j+1)} | \dots; t_{i_l(j+n_j)} | H_{i_l(j+n_j)} | \rangle$, де $t_{i_lj} \in$ типом елементарного геометричного примітиву із подальшим зазначенням відповідних складових та їх параметрів; j – номер геометричного примітиву i_l -ої ланки, $j = \overline{1, n_j}$ (зазначається у випадку комбінованого опису).

Тут U позначено вісь, вдовж якої направлена відповідна складова геометричного примітиву при ФПП, $U \in \{X, Y, Z\}$.

Послідовність розташування елементарних геометричних примітивів у комбінованому описі визначається від i_l -ої до (i_l+1) -ої ланки МС ПР.

Основною умовою запису елементарних примітивів є розміщення складової, яка визначає постійний розмір ланки, першою, тобто $H_{i_l} \equiv [l_{i_l c}; a_{i_l}U; b_{i_l}U]$, де $l_{i_l c}$ – постійний (constant) розмір i_l -ої ланки; $a_{i_l}U, b_{i_l}U$ – величини, що відповідають раніше описаним у відповідних примітивах. У випадку, якщо наступна ланка входить до графічного примітиву попередньої, то H_{i_l} набуває вигляду $H_{i_l} \equiv H_{i_l-1}$. У випадку комбінованого опису постійний розмір i_l -ої ланки $l_{i_l c}$ є сумою перших складових параметрів комбінованих геометричних примітивів H_{i_lj} .

Відомі розміри геометричних примітивів певним чином ідентифікують геометричні форму та розміри кожної i_l -ої ланки МС ПР, визначають її (ланки) розміщення та взаємну орієнтацію у тривимірному просторі прийнятої СК із прийнятим центром для ФПП. На підставі викладеного для ФПП у прийнятій СК початкова $O_{i_lП}$ та кінцева $O_{i_lК}$ точки i_l -ої ланки визначаються як точки перетину діагоналей у паралельних площинах (для Pd) або центрів кіл (для Ce та Cr).

Аналіз конструктивних рішень різних моделей ПР [6, 10, 11] вказує на те, що розмір i_l -ої ланки $l_{i_l c}$ не завжди співпадає із розміром відповідної складової частини $O_{i_lП} O_{i_lК}$ геометричного примітиву. В цьому випадку відхилення від розміру i_l -ої ланки записується двома складовими: відхилення від початкової точки i_l -ої відносно (i_l-1) -ої ланки $\pm S_{i_l-1}$ та відхилення від кінцевої точки i_l -ої ланки відносно (i_l+1) -ої ланки $\pm S_{i_l+1}$, де $\pm$ – додатній чи від’ємний напрям відхилення відносно заданої осі. Причому символ “+” ставиться відповідно у напрямку до (i_l-1) -ої ланки для початкової точки $O_{i_lП}$ та у напрямку до (i_l+1) -ої ланки для кінцевої точки $O_{i_lК}$; символ “–” ставиться у напрямку від (i_l-1) -ої ланки для початкової точки $O_{i_lП}$ та у напрямку від (i_l+1) -ої ланки для кінцевої точки $O_{i_lК}$.

Тоді розмір i_l -ої ланки МС ПР з врахуванням можливих перетинів набуває вигляду:

$$l_{i_l c} = l_{i_l c_s} \pm S_{i_l-1} \pm S_{i_l+1},$$

де $l_{i_1 c_s}$ – частина постійного розміру i_1 -ої ланки, що вказує на її положення в ФПП, мм; $\pm S_{i_1-1}$ – відхилення від розміру i_1 -ої ланки щодо (i_1-1) -ої ланки із зазначенням напрямку відхилення, мм; $\pm S_{i_1+1}$ – відхилення від розміру i_1 -ої ланки щодо (i_1+1) -ої ланки із зазначенням напрямку відхилення, мм.

Крок 5. Кватерніонний опис граничних переміщень ланок МС.

Вид та напрямок конструктивно визначених переміщень кожної i_1 -ої ланки відносно попередньої (i_1-1) -ої ланки для прийнятого ФПП в термінах кватерніонів узагальнено позначається як $Q_{i_1-(i_1-1)}(v; s) \in (L_{i_1-(i_1-1)}, R_{i_1-(i_1-1)})$ і в залежності від виду переміщень (L – лінійних, R – кутових) набуває вигляду:

– при кутових переміщеннях (символ R) i_1 -ої ланки відносно попередньої (i_1-1) -ої (обертальна узагальнена координата – ОУК):

$$Q_{i_1-(i_1-1)}(v; w) = + [R(s; v)] ; - [R(s; v)] = + [(Rx) \cdot (Ry) \cdot (Rz)] ; - [(Rx) \cdot (Ry) \cdot (Rz)] = \\ = + \left[\left(\cos \frac{+A}{2} + i \cdot \sin \frac{+A}{2} \right) \cdot \left(\cos \frac{+B}{2} + j \cdot \sin \frac{+B}{2} \right) \cdot \left(\cos \frac{+C}{2} + k \cdot \sin \frac{+C}{2} \right) \right] ; - \left[\left(\cos \frac{-A}{2} + i \cdot \sin \frac{-A}{2} \right) \cdot \right. \\ \left. \cdot \left(\cos \frac{-B}{2} + j \cdot \sin \frac{-B}{2} \right) \cdot \left(\cos \frac{-C}{2} + k \cdot \sin \frac{-C}{2} \right) \right],$$

де $+ [R(v; s)]$ та $- [R(v; s)]$ визначає максимальну величину кутового переміщення i_1 -ої ланки відповідно проти та за годинниковою стрілкою (відповідна вісь вісь СК МС ПР направлена на спостерігача) відносно початкового положення в ФПП у вигляді кутового кватерніону; $+A, +B, +C$ і $-A, -B, -C$ означають обертання ланок навколо відповідних осей X^{PP} , Y^{PP} , Z^{PP} прийнятої СК проти і за годинниковою стрілкою відповідно і є обертальними ОКН (див. вище); причому $A = | +A | + | -A |$; $B = | +B | + | -B |$; $C = | +C | + | -C |$.

– при лінійних переміщеннях (символ L) i_1 -ої ланки відносно попередньої (i_1-1) -ої (лінійна узагальнена координата – ЛУК):

$Q_{i_1-(i_1-1)}(s; v) = [L(l; x; y; z)]$, де x, y, z є максимальними величинами переміщень i_1 -ої ланки вздовж відповідних осей X^{PP} , Y^{PP} , Z^{PP} прийнятої СК відносно її початкового “втягнутого” положення і є лінійними ОКН; $l = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ – довжина вектора, що відображає переміщення i_1 -ої ланки відносно її початкового положення. Для зручності початкове положення ланок за правилами ФПП прийняте із геометричними розмірами відповідно кожної i_1 -ої ланки МС ПР у “втягнутому” положенні, що описуються ЛУК;

– 0 – якщо i_1 -та ланка не є елементом кінематичної пари $(i_1-(i_1-1))$ V-го (з врахуванням можливостей теорії кватерніонів взагалі будь-якого) класу, тобто є неактивною.

Крок 6. Формування (складання) ФМ як такої.

ФМ МС ПР запропоновано виражати як упорядковану множину (кортеж) формалізовано описаних ланок МС, кожна ланка попередньо відтворена в ФПП, ідентифікована відповідним 3D-геометричним примітивом, а її (ланки) переміщення описані відповідними кватерніонами.

Нижче наведено універсальний вираз ФМ МС ПР, сформований відповідно до викладеного вище:

$$\begin{aligned} \text{ФМ МС ПР (модель)} &= (\pm O_1 t_1 [H_1] Q_{1-0} C_{1-2} \pm O_2 t_2 [H_2] Q_{2-1} C_{2-3} \dots \\ &\dots \pm O_{i_l} t_{i_l} [H_{i_l}] Q_{i_l-(i_l-1)} C_{i_l-(i_l+1)} \dots \pm O_{n_l} t_{n_l} [H_{n_l}] Q_{n_l-(n_l-1)} C_{n_l-(n_l+1)}) Gr = \\ &= \langle \pm O_{i_l} t_{i_l} [H_{i_l}] Q_{i_l-(i_l-1)} C_{i_l-(i_l+1)} | i_l = \overline{1, n_l} \rangle Gr. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут $\pm O_{i_l}$ – позначення осі в попередньо прийнятій правій системі координат ПР, вздовж якої розташовується i_l -та ланка МС ПР в ФПП, при цьому початок СК вибирається в нижній частині базової ланки (як правило стійки, що контактує з нерухомою основою); $\pm$ – додатний (при прямуванні i_l -ої ланки до додатного знаку певної осі СК) чи від’ємний (при прямуванні i_l -ої ланки до від’ємного знаку певної осі СК) напрямок розташування i_l -ої ланки вздовж відповідної осі прийнятої СК в напрямку від (i_l-1) -ої до (i_l+1) -ої ланки. Індеси для $t_{i_l} [H_{i_l}]$ у ФМ МС ПР опущені через їх інформаційну збитковість. Символ $C_{i_l-(i_l+1)} \in \{\wedge, \vee, \nabla\}$ в (1) означає оператор, що вказує на з’єднання ланок і можливість/неможливість одночасного переміщення i_l -ої із наступною (i_l+1) -ою ланкою МС ПР [7].

Інші складові виразу (1) подані вище.

Приклад ФМ МС для ПР мод. Fanuc M710iC/20L з врахуванням виразу (1) має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \text{ФМ МС ПР (Fanuc M710iC/20)} &= \langle \pm O_{i_l} t_{i_l} [H_{i_l}] Q_{i_l-(i_l-1)} C_{i_l-(i_l+1)} | i_l = \overline{1, n_l} \rangle Gr = \\ &\langle +Y1 Pd [200; 535 X; 445 Z] 0 \vee +Y2 Pd [365 + 50S3; 535 X; 700 Z] + [R(0; 0; 0; 1)] ; - [R(0; 0; 0; \\ &- 1)] \vee + X3 Pd [150; H2] 0 \vee - Z4 Cd [Cr1 | 120; 300 Y | ; Cr2 | 112 - 120 S5; 100 Y |] + [R(0,7071; 0; \\ &0; 0,7071)] - [R(0,3826; 0; 0; 0,9238)] \vee + Y5 Cr [1150 + 100S6; 300 X] 0 \vee + Z6 Cr [232 - 20S5 \\ &+ 20S7; 100Y] \vee + Y7 Pd [190 + 30S8; 445 Z; 300 X] + [R(-0,3090; 0; 0; 0,9510)] ; - [R \\ &(-0,3090; 0; 0; -0,9510)] \vee + X8 Cr [1800 - 150S7; 160 Y] + [R(-0,1736; 0,9848; 0; 0)] ; \\ &- [R(-0,1736; -0,9848; 0; 0)] \vee + X9 Cd [Pd1 | 60; 180Z; 180Y | ; Cr1 | 40; 100Y |] + [R(0,3420; \\ &0; 0; 0,9396)] ; - [R(0,3420; 0; 0; -0,9396)] \vee + X10 Cr [6; 50Y] + [R(-0,7071; -0,7071; 0; 0)] ; \\ &- [R(-0,7071; 0,7071; 0; 0)] \rangle Gr. \end{aligned}$$

3. Висновок

Вперше запропоновано ввести та формалізувати термін “функціональна модель” МС ПР. Послідовність її (моделі) формування (складання) зводиться до виконання запропонованої послідовності кроків і базується на врахуванні геометричних розмірів ланок та величин їх взаємних переміщень, що виражені в термінах теорії кватерніонів.

Напрямками подальших досліджень впливають із вказаного вище і передбачають розробку методики формування ФМ Сх ПР з використанням теорії кватерніонів. Інтегрований розгляд ФМ МС та Сх ПР та однакові змістові одиниці їх опису (кватерніони) дають змогу автоматично опрацьовувати вказану інформацію при вирішенні ряду раніше визначених задач функціональної реалізованості автоматизованого синтезу РМТ в ГВК.

Список літератури: 1. Ефремов А. П. Кватернионы: алгебра, геометрия, и физические теории. Гиперкомплексные числа в геометрии и физике. – №1. – С.119. <http://hypercomplex.ru>. 2. Кватернионы. –18.01.2011. – <http://algotlist.manual.ru/graphics/3dfaq/articles/77.php>. 3. Exploiting Quaternions to

Support Expressive Interactive Character Motion / Michael Patrick Johnson – Thesis (Ph. D.) – Massachusetts Institute of Technology, School of Architecture and Planning, Program in Media Arts and Sciences. – 2003. – 266 p. 4. Аналіз методів опису агрегатно-модульних промислових роботів для їх автоматизованого вибору / В. А. Кирилович, І. В. Сачук // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки. – 2000. – № 1 (13, т. II). – С. 3–10. 5. Математическое описание и моделирование на ЭВМ манипуляционных роботов/ И. Ф. Кириченко, Р. А. Сорока, Ю. В. Крак. – Киев, 1985. – 25с. – Препринт/ АН УССР, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. 6. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. / А.И. Корендясев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; отв.ред. С.М. Каплунов; Ин-т машиноведения им А.А. Благоднарова РАН. – М. : Наука, 2006. – 759 с. 7. Формализованое описание кинематических структур агрегатно-модульных промышленных роботов / В. А. Кирилович, И. В. Сачук // Сборка в машиностроении, приборостроении : ежемес. науч.-техн. и производств. журн. – 2003. – №2(6). – Москва. – Приборостроение. – С. 12–16. 8. Кирилович В. А. Умови функціональної реалізованості роботизованих механообробних технологій в гнучких виробничих комірках // Технологічні комплекси – Луцьк. – 2010. – № 1. – С.136 – 145. 9. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов / И. И. Артоблевский. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука, 1988. - 639 с. 10. Bekey, George; Ambrose, Robert and others. Robotics: state of the art and future challenges © Imperial College Press 2008. – 144 p. 11. Siciliano, Bruno; Khatib, Oussama. Springer handbook of robotics © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008. – 1611 p.

FUNCTIONAL MODELS OF INDUSTRIAL ROBOTS MANIPULATIVE SYSTEMS FORMATION

**Kyrylovych V.A., Melnychuk P.P., Pysarchuk O.O., Cherepanska I.Y. (ZSTU,
Zhytomyr, Ukraine)**

Abstract: The main sequences of formation of functional models of manipulative systems of industrial robots (FM MS IR) are illustrated by means of proposed methodological steps. FM MS IR based in usage of quaternion theory and its advantages that caused unconventional approaches in traditional problems solving

Keywords: industrial robot, functional model, quaternion theory, link

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

**Кирилович В.А., Мельничук П.П., Писарчук А.А., Черепанская И.Ю. (ЖІТТУ,
г.Житомир, Украина)**

Аннотация: Представлена последовательность формирования функциональных моделей манипуляционных систем промышленных роботов (ФМ МС ПР) в контексте предлагаемых методологических шагов. ФМ МС ПР базируется на использовании теории кватернионов и ее преимуществ, следствием чего есть нетрадиционный подход к традиционным решениям проблем

Ключевые слова: промышленный робот, функциональная модель, теория кватернионов, звено

Надійшла до редколегії 02.06.2011 р.