

Ю.Л. САРКИСЯН, К.Г. СТЕПАНЯН, С.В. ВЕРЛИНСКИЙ

**АППРОКСИМАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ  
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ПОДВИЖНОСТЬЮ ПО МИНИМАКСНОМУ КРИТЕРИЮ ТОЧНОСТИ**

Рассмотрены задачи аппроксимационного синтеза реконфигурируемых параллельных манипуляторов с ограниченным числом степеней свободы по минимаксному критерию точности реализации заданных последовательностей положений твердого тела. На основе методов линейного чебышевского приближения и нелинейного программирования разработаны простые алгоритмы численного решения сформулированных минимаксных задач.

**Ключевые слова:** реконфигурируемый манипулятор, параллельный манипулятор, аппроксимационный синтез, аппроксимационная задача, минимаксный критерий, регулируемая диада.

**Введение.** В последние годы значительно возрос интерес к манипуляторам с ограниченной подвижностью, которые успешно заменяют универсальные многоподвижные манипуляционные системы со сложными системами управления при автоматизации ряда производственных операций, требующих реализации всего нескольких периодически повторяющихся положений рабочего органа. К преимуществам таких устройств относятся малое число приводов и движущихся масс, простота управления и низкая себестоимость, высокая надежность и благоприятные динамические характеристики [1]. С точки зрения практических приложений, особенно перспективны реконфигурируемые манипуляционные механизмы с малым числом степеней свободы, которые простым регулированием некоторых геометрических параметров способны перенастраиваться в процессе работы на выполнение различных программ перемещений объекта манипулирования [2]. В работе [3] рассматриваются задачи аппроксимационного синтеза реконфигурируемых параллельных механизмов, построенных на базе диад с одним регулируемым параметром методом квадратического приближения. Для повышения точности воспроизведения заданных положений в настоящей статье предлагаются численные решения этих же задач по минимаксному критерию оценки погрешности приближения, которые разработаны с использованием теории и вычислительных методов линейного чебышевского приближения и нелинейного программирования.

**Структурный синтез реконфигурируемых манипуляторов.** В основе синтеза рассматриваемых манипуляционных механизмов лежит модифицированный

модульный принцип формирования их структурных схем [4], суть которого излагается ниже. Тело  $e$ , к которому закреплен рабочий орган манипулятора, перемещается через  $m$  упорядоченных множеств заданных положений относительно неподвижного тела  $E$  (основания манипулятора), каждое из которых состоит из  $N_j$  положений:  $e_{ij} (j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, N_j)$ . Синтезируемые механизмы имеют параллельную структуру и состоят из определенного числа модулей в виде регулируемых двузвенных цепей – диад, соединяющих выходное звено  $e$  манипулятора с основанием  $E$  (см. рис.), причем их срединные пары в рабочем режиме манипулятора зафиксированы и функционируют лишь в процессе перенастройки механизма на новое множество рабочих положений выходного звена, регулируя расстояние между осями или центрами концевых кинематических пар диады. Допускаем, что срединная регулирующая пара  $C$  двузвенных модулей является поступательной или вращательной. Тогда центр или ось концевой кинематической пары каждого двузвенного модуля генерирует некоторое однопараметрическое семейство  $F_j$  кривых или поверхностей, соответствующих последовательности значений угловой или линейной координаты регулирующей пары  $C$ . Теперь на теле  $l$ , перемещающемся через заданные  $m$  множества положений, отыскиваем такие точки  $B$  и прямые  $\alpha$ , которые в заданных положениях  $e_{ij}$  аппроксимируют с достаточной точностью кривые или поверхности однопараметрических семейств  $F_{kj} (k = 1, 2, \dots, K, j = 1, 2, \dots, m)$ , число  $K$  которых равно числу выбранных структурных разновидностей двузвенных модулей синтезируемого манипулятора (рис.). Далее вводим связи, принуждающие найденные характеристические точки или линии тела  $e$  оставаться на соответствующем семействе кривых или поверхностей  $F_{kj}$ . Эти связи можно реализовать посредством регулируемых диад типа СПС, ПлПс, ВВВ, ВПС, ППС, ПВС, соединяющих тело  $e$  с основанием  $E$ . На рисунке представлены двузвенные регулируемые цепи типа СПС и ВВЦ. Для упрощения записи на рисунке и в дальнейшем изложении пропущен индекс  $k$ , поскольку далее речь идет лишь о синтезе отдельных модулей.

Сочетаниями структурно различных двузвенных модулей можно образовать множество вариантов реконфигурируемого манипулятора с заданным числом степеней свободы, отличающихся по точности реализации заданных положений и другим функциональным характеристикам. Для синтеза реконфигурируемых манипуляторов, которые в рабочем режиме, т.е. при фиксации регулирующих пар, действуют как одноподвижные (одноприводные) системы, требуется накладывать пять связей на движение  $e$ . Например, для синтеза одноподвижного симметрического параллельного манипулятора с использованием только диад типа СПС необходимо синтезировать пять таких модулей. Особенностью и основным преимуществом предлагаемой методологии аппроксимационного кинематического синтеза является то, что отдельные модули манипулятора проектируются авто-

номно, а сложный вычислительный процесс синтеза системы разбивается на параллельно выполняемые процедуры синтеза отдельных модулей.

С другой стороны, реализация предлагаемой методологии требует решения специального класса задач аппроксимационной кинематической геометрии, связанных с чебышевским приближением множеств положений точек или линий посредством ранее неизученных геометрических образов, описывающих связи регулируемых диад, таких как однопараметрические семейства концентрических окружностей, соосных цилиндров и конусов, линейных конгруэнций, параллельных плоскостей и т.д. Ниже приводятся обобщенная постановка этих аппроксимационных задач и унифицированные итерационные алгоритмы вычисления их решений.

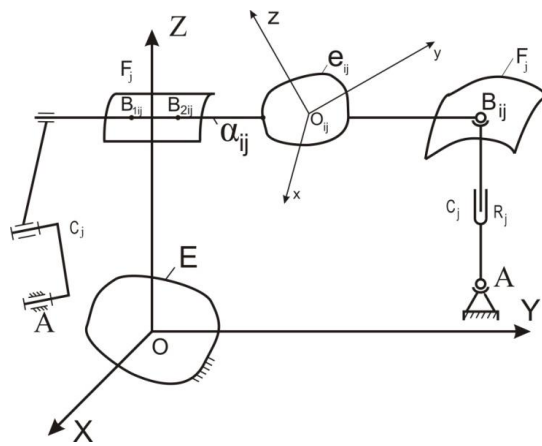


Рис. Модульный принцип структуры синтеза реконфигурируемых манипуляторов

**Постановка аппроксимационной задачи синтеза диад по минимаксному критерию.** Пусть задано  $m$  наборов конечноудалённых положений тела  $e$  относительно  $E$ ,  $N_j$  положений в каждом наборе. В системе координат  $OXYZ$ , связанной с телом  $E$ , задано также однопараметрическое семейство  $m$  кривых или поверхностей  $F_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) (рис.). Требуется определить в системе координат  $oxyz$ , связанной с телом  $e$ , такую точку  $B$  или прямую  $\alpha$ , множество положений  $B_{ij}$  или  $\alpha_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, N_j$ ) которых в смысле чебышевского приближения наилучшим образом аппроксимируют кривые или поверхности семейства  $F_j$ .

Искомые характеристические точки  $B$  тела  $e$  определяются по условию минимакса отклонения множества положений  $B_{ij}$  ( $j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, N_j$ ) точки  $B$  от семейства  $F_j$ . Для оценки отклонения сначала выразим координаты точки  $B$  в системе  $OXYZ$  с помощью матричного уравнения

$$(X_{Bij}Y_{Bij}Z_{Bij})^t = T_{ij}(x_B y_B z_B)^t + (X_{Oij}Y_{Oij}Z_{Oij})^t, \quad (1)$$

где  $T_{ij}$  – ортогональная ( $3 \times 3$ ) матрица вращения, составленная из заданных направляющих косинусов между осями систем OXYZ и oxyz;  $(X_{Oij} \dots Y_{Oij} \dots Z_{Oij})^t$  – столбцовая матрица, составленная из заданных координат начала системы oxyz в системе OXYZ в положениях  $e_{ij}$  тела  $e$ .

Уравнения кривых и поверхностей семейства  $F_j$  представим в неявном виде

$$F_j(X, Y, Z, a, b_j) = 0, j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где  $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$  – вектор постоянных параметров аппроксимирующих кривых или поверхностей;  $b_j$  – значения переменного параметра семейства, определяющего  $j$ -ю кривую или поверхность семейства  $F_j$ .

Подставив координаты  $X_{Bij}$ ,  $Y_{Bij}$ ,  $Z_{Bij}$  точки  $B$  из (1) в левые части уравнения (2), получим систему функций так называемых алгебраических отклонений:

$$\Delta q_{ij} = F_i(X_{Bij}, Y_{Bij}, Z_{Bij}, a, b_i), \quad (3)$$

коррелирующих с определенной точностью с минимизируемыми геометрическими ортогональными отклонениями точек  $B_{ij}$  от соответствующих семейств  $F_j$ . Нетрудно заметить, что  $\Delta q_{ij}$  являются функциями как искомым координат  $x_B$ ,  $y_B$ ,  $z_B$  точки  $B$ , так и параметров  $a$  и  $b_j$  аппроксимирующих кривых и поверхностей семейства  $F_j$ . В качестве меры отклонения множества точек  $B_{ij}$  от семейства  $F_j$  воспользуемся чебышевской нормой

$$S(P) = \max_{j \in [1, m]} \max_{i \in [1, NN_j]} |\Delta q_{ij}(P)|, \quad (4)$$

где  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$  – вектор совокупности указанных выше параметров  $x_B$ ,  $y_B$ ,  $z_B$ ,  $a$  и  $b_j$ . Тогда рассматриваемая аппроксимационная задача сводится к определению такого вектора  $P^*$ , для которого имеет место условие

$$S(P^*) = \min_{\{P\}} S(P) = \min_{\{P\}} \max_{j \in [1, m]} \max_{i \in [1, NN_j]} |\Delta q_{ij}(P)|. \quad (5)$$

В случае поиска прямой  $\alpha$  тела  $e$  задача формулируется аналогичным образом. Здесь семействами аппроксимирующих поверхностей  $F_j$  являются системы соосных линейчатых поверхностей (круговых цилиндров, конусов, однополостных гиперблоидов, линейчатых конгруэнций), которые в системе координат OXYZ представлены в виде семейств прямых

$$\frac{x - X_{ij}}{l_{ij}} = \frac{y - Y_{ij}}{m_{ij}} = \frac{z - Z_{ij}}{n_{ij}}, \quad (6)$$

где  $X_{ij}(P)$ ,  $Y_{ij}(P)$ ,  $Z_{ij}(P)$ ,  $l_{ij}(P)$ ,  $m_{ij}(P)$  и  $n_{ij}(P)$  – известные функции вектора  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$  постоянных параметров, определяющих прямые (6) в системе OXYZ.

Для оценки отклонения  $\alpha_{ij}$ -го положения прямой  $\alpha$  тела  $e$  от соответствующей прямой семейства (6) прямую  $\alpha$  представляем в виде двух несовпадающих точек

$B_1(x_{B_1}, y_{B_1}, z_{B_1})$  и  $B_2(x_{B_2}, y_{B_2}, z_{B_2})$ . По формуле (1) определяем координаты точек  $B_1$  и  $B_2$  в системе OXYZ. Подставив эти координаты в уравнения (6), получим неувязки

$$\begin{aligned}\Delta q_{ij1} &= (X_{B1ij} - X_{ij})l_{ij}^{-1} - (Y_{B1ij} - Y_{ij})m_{ij}^{-1}, \\ \Delta q_{ij2} &= (X_{B1ij} - X_{ij})l_{ij}^{-1} - (Z_{B1ij} - Z_{ij})n_{ij}^{-1}, \\ \Delta q_{ij3} &= (X_{B2ij} - X_{ij})l_{ij}^{-1} - (Y_{B2ij} - Y_{ij})m_{ij}^{-1}, \\ \Delta q_{ij4} &= (X_{B2ij} - X_{ij})l_{ij}^{-1} - (Z_{B2ij} - Z_{ij})n_{ij}^{-1}\end{aligned}\quad (7)$$

положений точек  $B_1$  и  $B_2$  от семейства прямых (6). В этом случае  $\Delta q_{ijk}$  становятся функциями как искомым координат  $x_{B_1}, y_{B_1}, z_{B_1}, x_{B_2}, y_{B_2}, z_{B_2}$  точек  $B_1$  и  $B_2$ , так и параметров  $a$  и  $b_j$  прямых (6). В качестве меры отклонения множества положений прямой  $A$  тела  $e$  от соответствующих прямых семейства (6) вновь используем чебышевскую норму

$$S(P) = \max_{k \in [1; 4]} \max_{j \in [1; m]} \max_{i \in [1; N_j]} |\Delta q_{ijk}(P)|, \quad (8)$$

где  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$  – вектор совокупности указанных выше параметров  $x_{B_1}, y_{B_1}, z_{B_1}, x_{B_2}, y_{B_2}, z_{B_2}, a$  и  $b_j$ . Тогда рассматриваемая аппроксимационная задача сводится к определению такого вектора  $P^*$ , для которого имеет место

$$S(P^*) = \min_{\{P\}} S(P) = \min_{\{P\}} \max_{k \in [1; 4]} \max_{j \in [1; m]} \max_{i \in [1; N_j]} |\Delta q_{ijk}(P)|. \quad (9)$$

**Алгоритмы решения сформулированных минимаксных задач.** Сформулированные выше задачи аппроксимационной кинематической геометрии в общем случае относятся к нелинейным минимаксным задачам, решение которых связано с определёнными трудностями вычислительного характера. Для устранения этих трудностей предлагаются два упрощённых алгоритма численного решения рассматриваемых задач.

**Алгоритм 1.** Сначала вводим линейные представления функции отклонений  $\Delta q_{ij}(P)$  ( $j=1, 2, \dots, m, i=1, 2, \dots, N$ )

$$\bar{\Delta}q_{ij}(\lambda) = \sum_{l=1}^n \frac{\partial \Delta q_{ij}}{\partial P_l} \lambda_l + \Delta q_{ij}(P^\circ); \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad i = 1, 2, \dots, N_j \quad (10)$$

вокруг точки  $P^\circ = (P_1^\circ, P_2^\circ, \dots, P_n^\circ)$ , где через  $\partial \Delta q_{ij} / \partial P_l$  обозначены значения частных производных  $\Delta q_{ij}$  в точке  $P^\circ$ . Далее решение задачи производится по описанному в [5] алгоритму.

1. Задаваясь начальными значениями искомым параметров  $P^\circ = (P_1^\circ, P_2^\circ, \dots, P_n^\circ)$ , формируем линейные представления (10).

2. Методом линейного чебышевского приближения [6] решаем минимаксную задачу

$$\bar{\Delta}q_{i,j}(\lambda^*) = \min_{\{\lambda\}} \max_{j \in [1; m]} \max_{i \in [1; N_j]} \bar{\Delta}q_{ij}(\lambda),$$

откуда определяем значения  $\lambda_l^*(l=1, 2, \dots, l)$  вспомогательных параметров  $\lambda_l$ .

3. Составляем выражения

$$P_l' = P_l^\circ + \lambda_l^*, l = 1, 2, \dots, l.$$

4. Далее точку  $P^\circ$  заменяем точкой  $P' = (P_1', P_2', \dots, P_n')$  и переходим к п.1 настоящего алгоритма.

Предложенный процесс прекращается при выполнении условия  $\|\lambda^*\| \leq \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  – заданная точность вычислений.

**Алгоритм 2.** В некоторых случаях, когда на искомые параметры  $P_l$  ( $l=1, 2, \dots, n$ ) наложены ограничения в виде неравенств

$$g_\mu(P) \leq 0, \mu = 1, 2, \dots, M_1, \quad (11)$$

решения рассматриваемых задач удобнее свести к задаче нелинейного программирования. С этой целью функционал качества (4) или (9) заменяем функцией

$$S(P, \alpha) = d \quad (12)$$

и определяем минимум этой функции с учетом ограничений

$$\Delta q_{ij}(P) - d \leq 0,$$

$$\Delta q_{ij}(P) + d \geq 0; j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, N_j, \quad (13)$$

$$g_\mu(P) \leq 0; \mu = 1, 2, \dots, M_1.$$

Нетрудно заметить, что решение этой задачи нелинейного программирования приводит к решению рассмотренных уже минимаксных задач.

**Синтез регулируемой диады СПС.** В качестве примера приведем синтез регулируемой диады СПС, где семейство аппроксимирующих поверхностей – множество концентрических сферических поверхностей (рис.). Здесь алгебраические отклонения (3) положений  $B_{ij}$  точки  $B$  от соответствующей сферической поверхности семейства  $F_j$  принимают вид

$$\Delta q_{ij} = (X_{B_{ij}} - X_A)^2 + (Y_{B_{ij}} - Y_A)^2 + (Z_{B_{ij}} - Z_A)^2 - R_i^2, \quad (14)$$

$$j = 1, 2, \dots, m, i = 1, 2, \dots, N_j.$$

Координаты  $X_{B_{ij}}, Y_{B_{ij}}, Z_{B_{ij}}$  точки  $B$  определяются по (1):

$$X_{B_{ij}} = a_{11ij}x_B + a_{12ij}y_B + a_{13ij}z_B + X_{0ij},$$

$$Y_{B_{ij}} = a_{21ij}x_B + a_{22ij}y_B + a_{23ij}z_B + Y_{0ij},$$

$$Z_{B_{ij}} = a_{31ij}x_B + a_{32ij}y_B + a_{33ij}z_B + Z_{0ij},$$

где

$$\begin{aligned}
 a_{11ij} &= \cos\psi_{ij}\cos\varphi_{ij} - \sin\psi_{ij}\cos\theta_{ij}\sin\varphi_{ij}, \\
 a_{12ij} &= -\cos\psi_{ij}\sin\varphi_{ij} - \sin\psi_{ij}\cos\theta_{ij}\cos\varphi_{ij}, a_{13ij} = \sin\psi_{ij}\sin\theta_{ij}, \\
 a_{21ij} &= \sin\psi_{ij}\cos\varphi_{ij} + \cos\psi_{ij}\cos\theta_{ij}\sin\varphi_{ij}, \\
 a_{22ij} &= -\sin\psi_{ij}\sin\varphi_{ij} + \cos\psi_{ij}\cos\theta_{ij}\cos\varphi_{ij}, \\
 a_{23ij} &= -\cos\psi_{ij}\sin\theta_{ij}, a_{31ij} = \sin\theta_{ij}\sin\varphi_{ij}, a_{32ij} = \sin\theta_{ij}\cos\varphi_{ij}, a_{33ij} = \cos\theta_{ij}.
 \end{aligned} \tag{15}$$

В (15)  $X_{0ij}, Y_{0ij}, Z_{0ij}$  – заданные координаты начала системы  $oxyz$  в системе  $OXYZ$ , а  $\varphi_{ij}, \psi_{ij}, \theta_{ij}$  – заданные эйлеровы углы, определяющие ориентацию тела  $e$ .

В данном случае искомыми параметрами задачи (5) являются значения регулируемого радиуса  $R_j$  ( $i=1,2,\dots,m$ ), координаты  $x_B, y_B, z_B$  точки  $B$  и координаты  $X_A, Y_A, Z_A$  центра  $A$  концентрических сфер. Совокупность этих параметров обозначим вектором  $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ , где  $P_1 = x_B, P_2 = y_B, P_3 = z_B, P_4 = X_A, P_5 = Y_A, P_6 = Z_A, P_7 = R_1, P_8 = R_2, \dots, P_{m+6} = R_m$ .

В качестве численного примера приведём синтез реконфигурируемого манипуляционного механизма 5 (СПС), воспроизводящего два набора заданных положений тела  $e$ , по 6 положений в каждом (табл. 1).

Таблица 1

Значения обобщенных координат заданных положений тела  $e$

	j	$X_{0ij}$	$Y_{0ij}$	$Z_{0ij}$	$\psi_{ij}$	$\theta_{ij}$	$\varphi_{ij}$
1	1	2,416	6,729	6,748	88,35	132,76	223,57
	2	1,523	5,934	6,492	110,95	141,87	220,58
	3	1,073	5,225	6,282	121,54	136,36	220,49
	4	0,447	4,018	5,779	130,23	111,07	221,90
	5	0,555	4,005	5,866	129,56	87,58	228,41
	6	0,965	5,096	6,159	116,71	68,29	239,02
2	7	0,576	7,886	6,249	143,04	161,90	257,25
	8	0,884	8,379	6,129	192,89	168,43	298,85
	9	1,297	8,961	6,112	233,39	166,92	330,14
	10	0,810	8,363	6,220	210,17	164,91	292,33
	11	-0,226	6,357	6,136	183,57	146,10	254,47
	12	-0,739	4,848	5,849	171,75	121,19	246,78

В табл. 2 приведены координаты центров 5 сферических шарниров  $B$  и  $A$  пяти ног (модулей) манипулятора соответственно в  $e$  и  $E$ , значения  $R_{1k}$  и  $R_{2k}$  ( $k=1,2,\dots,5$ ) регулируемых параметров, а также значения  $\max \Delta_{ij}$  нормального отклонения от сферы.

Искомые параметры механизма 5 (СПС)

	1	2	3	4	5
$X_{Aj}$	4,7600	3,9014	2,5617	3,6724	6,3824
$Y_{Aj}$	5,2721	6,2407	5,3176	5,1787	1,7222
$Z_{Aj}$	0,1636	-0,5755	3,4492	4,9249	6,8671
$x_{Bj}$	0,0818	0,1097	0,1586	1,1989	-0,0699
$y_{Bj}$	-0,0215	-0,1010	0,8682	0,5521	-0,0217
$z_{Bj}$	0,0085	-0,0275	0,2105	-0,1492	0,0567
$R_{1j}$	7,1427	7,5243	5,4358	6,0105	6,3694
$R_{2j}$	7,7970	7,5870	15,1384	8,8371	10,0040
$\max \Delta_{ij}$	0,0090	0,0170	0,0190	0,0110	0,0060

Результаты вычислений показали, что применение минимаксного метода приближения позволило улучшить точность приближения в среднем на 44% по сравнению с точностью, полученной при решении этой же задачи методом квадратического приближения в [3].

**Заключение.** На базе принципа минимакса разработаны численные методы синтеза многофункциональных одноподвижных манипуляторов с возможностью их перенастройки на реализацию двух и более последовательностей заданных положений выходного звена. Рассматриваемые механизмы имеют модульную структуру и образуются соединением выходного звена и стойки посредством диад со срединной управляющей парой, функционирующей в процессе перенастройки. Синтез каждой из составляющих диад проектируемого манипулятора сводится к определению таких точек или линий объекта манипулирования, которые при его прохождении через заданные последовательности положений в смысле чебышевской нормы наименее отклоняются от систем кривых или поверхностей, генерируемых концевыми элементами диады при различных значениях переменного регулируемого параметра управляющей пары. Предлагаемые методы иллюстрируются численным примером синтеза манипулятора типа 5 (СПС) с поступательными парами, регулирующими длины ног манипулятора при его перенастройке на воспроизведение новой последовательности заданных положений и фиксируемыми в процессе их реализации.

*Работа выполнена в рамках научной темы 13-2D181, финансируемой Государственным комитетом по науке Министерства образования и науки РА.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lower – Mobility Parallel Robots: Theory and Applications. Advances in Mechanical Engineering.– Hindawi Publishing Co., 2010.- 80 p.
2. **Sarkissyan Y.L., Kharatyan A.G., Eghishyan K.M., Parikyan T.F.** Synthesis of Mechanisms with Variable Structure and Geometry for Reconfigurable Manipulation



Systems // Proc. Of ASME/IFTOMM Int. Conf. on Reconfigurable Mechanisms and Robots, Re Mar.– London, UK, 2009. – P.195-199.

3. **Саркисян Ю.Л., Харатян А.Г., Парикян Т.Ф.** Аппроксимационный синтез реконфигурируемых манипуляционных механизмов с регулируемыми диадами // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2009. – Т.62, №3.- С. 251-261.
4. **Саркисян Ю.Л.** Аппроксимационный синтез механизмов. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982.- 304 с.
5. **Саркисян Ю.Л., Джавахян Р.П., Степанян К.Г., Шахпаронян С.Ш.** К теории нелинейных минимаксных задач синтеза механизмов // Машиноведение.– 1983. – №1.– С. 52-60.
6. **Stifel E.** Ober diskrete and lineare Tschebyscheff-Approximation Numerische Mathematik.- 1959.- P. 1-28.

ГИУА (Политехник). Материал поступил в редакцию 12.05.2014.

**ՅՈՒ. Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Կ.Գ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ, Ս.Վ. ՎԵՐԼԻՆՍԿԻ**

**ՄԱՀՄԱՆԱՓԱԿ ՇԱՐԺՈՒՆՈՒԹՅԱՄԲ ՎԵՐԱԿՈՆՏԻԳՈՒՐԱՑՎՈՂ ԶՈՒԳԱՀԵՌ  
ՄԱՆԻՊՈՒԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ԱՐՈՂՔՄԻՄԱՑԻՈՆ ՄԻՆԹԵԶ ԸՍՏ ՃՇԳՐՏՈՒԹՅԱՆ  
ՄԻՆԻՄԱՔՍԱՑԻՆ ԶԱՓԱՆԻՇԻ**

Դիտարկվում են սահմանափակ շարժունությամբ վերականգնվող զուգահեռ մանիպուլյատորների ապրոքսիմացիոն սինթեզի խնդիրներ՝ ըստ պինդ մարմնի դիրքերի տված հաջորդականությունների վերարտադրության ճշտության մինիմաքսային չափանիշի: Մշակված են ձևակերպված մինիմաքսային խնդիրների թվային լուծման պարզ ալգորիթմներ՝ գծային չեբիշևյան մոտարկումների և ոչ գծային ծրագրավորման հաշվողական մեթոդներով:

**Առանցքային բառեր.** վերականգնվող մանիպուլյատոր, զուգահեռ մանիպուլյատոր, ապրոքսիմացիոն սինթեզ, ապրոքսիմացիոն խնդիր, մինիմաքսային չափանիշ, կարգավորվող դիադա:

**Y.L. SARKISSYAN, K.G. STEPANYAN, S.V. VERLINSKI**

**APPROXIMATE SYNTHESIS OF LIMITED MOBILITY RECONFIGURABLE  
PARALLEL MANIPULATORS WITH A MINIMAX ACCURACY CRITERION**

Approximate synthesis problems for the reconfigurable parallel manipulators with limited degrees of freedom are considered based on the minimax accuracy criterion for generating rigid body ordered position sets. Simple computational algorithms of numerical solution for the formulated minimax problems are developed by using the methods of linear chebyshev approximations and non-linear programming procedures.

**Keywords:** reconfigurable manipulator, parallel manipulator, approximate synthesis, approximation problem, minimax criterion, adjustable dyad.