

УДК 62.231; 621.01

doi: 10.18698/0536-1044-2021-11-13-21

Влияние точности изготовления планетарно-цевочного редуктора на точность позиционирования робота параллельной структуры

С.В. Палочкин, Ю.В. Синицына, К.Г. Эрастова

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Influence of the Manufacturing Accuracy of the Planetary Cycloid Gear on the Positioning Accuracy of the Parallel Robot

S.V. Palochkin, Y.V. Sinitsyna, K.G. Erastova

Bauman Moscow State Technical University

Повышенная точность при высокоскоростном позиционировании рабочего органа параллельных роботов по сравнению с таковой у серийных роботов, имеющих последовательную структуру, часто служит основной причиной их применения в различных современных производствах, таких как изготовление печатных плат для микроэлектроники. Однако, несмотря на более высокую теоретическую точность позиционирования, обусловленную кинематической структурой параллельного робота, на практике эта характеристика во многом зависит от точности выполнения отдельных элементов этого механизма, важнейшими из которых являются редукторы приводов его входных пар. Предложено решение актуальной задачи определения влияния точности изготовления планетарно-цевочных редукторов, входящих в состав привода пятизвенного параллельного робота, на точность позиционирования его выходного звена. Определена конкретная взаимосвязь между номером качества размеров деталей редуктора и точностью позиционирования робота. Выявлена неравномерность точности позиционирования по осям координат рабочей зоны. Установлено, что при приближении к особым положениям робота его точность позиционирования резко падает.

Ключевые слова: робот параллельной структуры, точность позиционирования, планетарно-цевочный редуктор, точность изготовления

The increased accuracy in high-speed positioning of the parallel robot effector in comparison with that of serial robots with a sequential structure is often the main reason for their use in various modern industries, such as the manufacture of printed circuit boards for microelectronics. However, despite the higher theoretical positioning accuracy, due to the kinematic structure of the parallel robot, in practice this characteristic largely depends on the accuracy of manufacturing individual elements of this mechanism, the most important of which are the gearboxes of the drives of its input pairs. A solution to the urgent problem of determining the effect of the manufacturing accuracy of planetary pinion gearboxes included in the drive of a five-link parallel robot on the positioning accuracy of its output link is proposed. A specific relationship has been determined between the grade of accuracy number of the gear part dimensions and the robot positioning accuracy. The unevenness of the

positioning accuracy along the coordinate axes of its working area is revealed. It was found that near the area of certain robot positions the accuracy of its positioning drops sharply.

Keywords parallel robot, kinematic accuracy, planetary cycloid gear, accuracy of manufacturing

Одним из главных преимуществ манипуляционных механизмов роботов параллельной структуры (РПС) перед аналогами с последовательной структурой традиционно называют более высокую точность позиционирования выходного звена [1, 2]. Это объясняется тем, что, если учитывать только ошибки позиционирования, связанные с работой приводов, то в параллельной структуре они не накапливаются вдоль кинематической цепи [3]. Однако на практике точность изготовления деталей и узлов РПС и его калибровка являются гораздо более важными факторами, обуславливающими точность позиционирования его выходного звена, чем оптимальная кинематическая структура [4].

Для управления входными кинематическими парами традиционно применяют шаговые двигатели и серводвигатели с редукторами с целью уменьшения частоты вращения и увеличения момента. Наиболее часто в РПС используют планетарные, волновые и планетарно-цевочные редукторы (ПЦР), так как они при меньших (чем у редукторов другого типа) габаритных размерах обеспечивают большие передаточные числа. Причем ПЦР получают все более широкое распространение благодаря большому диапазону передаточных чисел, незначительному люфту выходного вала, высокой крутильной жесткости, низкому моменту инерции и высокому коэффициенту полезного действия [5, 6].

Все преимущества ПЦР перед другими редукторами обусловлены такой конструктивной особенностью, как многопарность зацепления. Спецификой многопарности является то, что одновременно в контакте находится большое количество цевок, т. е. увеличивается степень статической неопределенности конструкции, что делает ее чувствительной к погрешностям изготовления [7].

Цель работы — оценка влияния точности изготовления ПЦР на точность позиционирования РПС.

В качестве примера рассмотрен пятизвенный РПС (рис. 1). Данный тип роботов широко распространен на различных операциях производства (таких как сортировка, сборка и т. п.) и довольно хорошо изучен [8]. Рассматриваемый

РПС состоит из основания 1, на котором закреплены серводвигатели 2 с ПЦР 3, которые приводят в движение пятизвенный механизм 4, за счет чего осуществляется позиционирование исполнительного органа 5.

При заданных максимальной нагрузочной способности механизма (147 Н) и его геометрических параметрах (длина первого звена — 225 мм, длина второго звена — 175 мм [9]) определяли требуемый момент на выходном валу редуктора по методике, приведенной в статье [10]. Согласно этой методике, в каждой точке рабочей зоны находили такое наихудшее направление внешней силы, равной 147 Н, которое вызывает наибольший вращающий момент в одном из приводов механизма. Полученное распределение наибольших вращающих моментов в приводах механизма по рабочей зоне показано на рис. 2, где T — вращающий момент, Н·м.

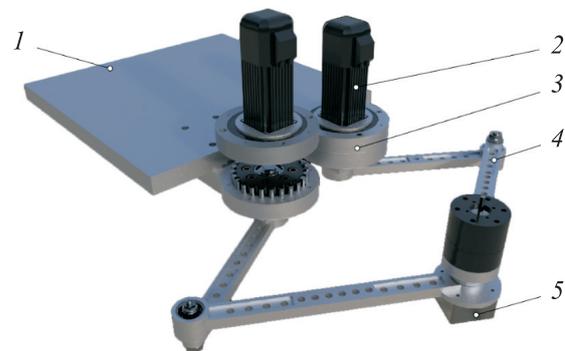


Рис. 1. Внешний вид пятизвенного РПС

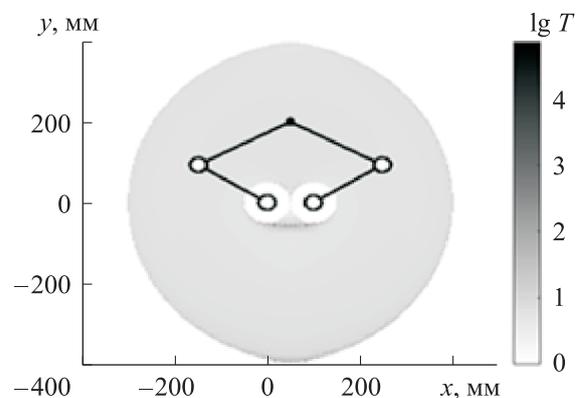


Рис. 2. Распределение наибольших моментов в приводах механизма по рабочей зоне

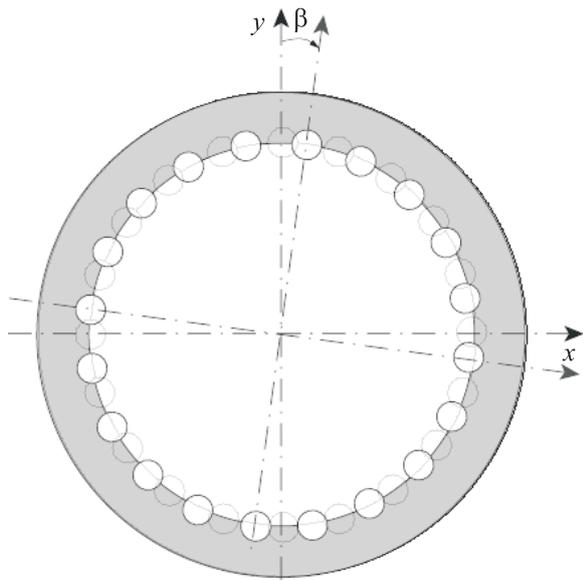


Рис. 3. Схема расчета угла закручивания обоймы

На основании результатов проведенного анализа выбраны серводвигатели 60CST-M01330 с номинальным вращающим моментом, составляющим 1,27 Н·м, а также ПЦР с передаточным отношением, равным 24. Таким образом, обеспечивается номинальный вращающий момент на валах входных кинематических пар $T = 30,5$ Н·м, в то время как в соответ-

ствии с рис. 2 требуемый момент составляет 27,5 Н·м.

Для определения крутильной жесткости планетарно-цевочной передачи рассмотрены два вида ПЦР, построенных по схемам КНВ с подвижной обоймой и 2КВ согласно классификации В.Н. Кудрявцева [11]. Оба редуктора состоят из аналогичных деталей. Однако в ПЦР типа КНВ плоскопараллельное движение сателлитов создают пальцы механизма параллельных кривошипов, а в редукторе типа 2КВ — дополнительные эксцентриковые валы, размещенные в отверстиях под этими пальцами. Таким образом, геометрические параметры обоих редукторов можно унифицировать.

При действии вращающего момента $T = 30,5$ Н·м на выходной вал ПЦР обойма будет поворачиваться на угол β (рис. 3). Тогда крутильная жесткость определяется выражением

$$j = T / \beta.$$

Используя метод и допущения, описанные в работе [12], сначала определяли угол β , а затем крутильную жесткость j для разных квалитетов изготовления деталей редуктора.

В качестве исходных данных приняты следующие номинальные размеры передачи ПЦР: габаритный диаметр 40 мм; диаметр цевки

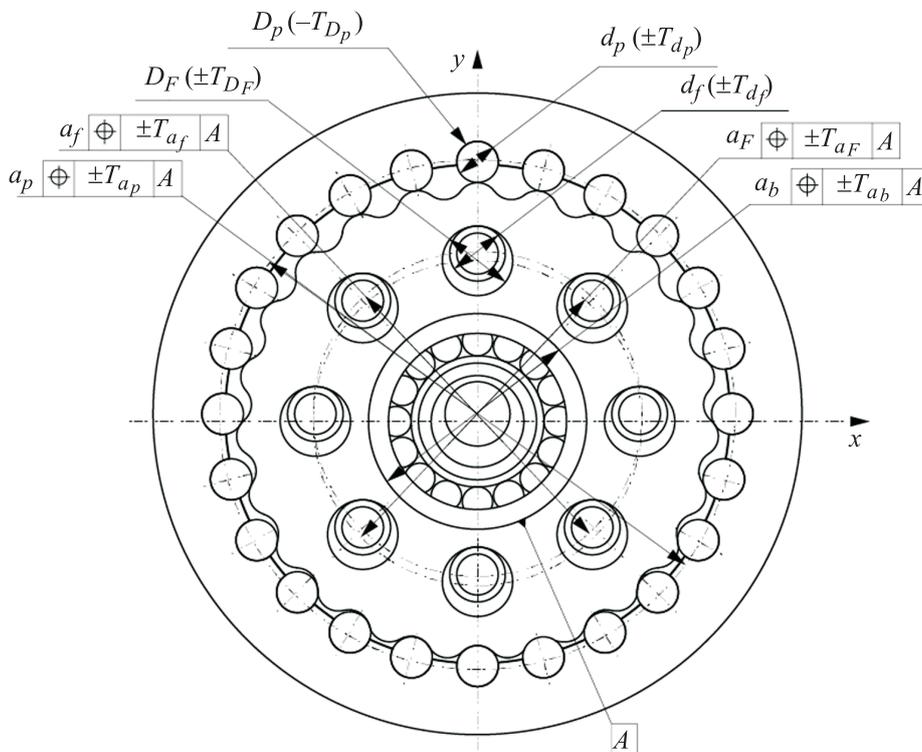


Рис. 4. Схема деталей ПЦР с погрешностями изготовления, учитываемыми при расчете

$d_p = 2$ мм; диаметр отверстия под цевку $D_p = 2$ мм; диаметр окружности центров отверстий под цевки $a_p = 30$ мм; диаметр пальца $d_f = 5$ мм; диаметр отверстия под палец $D_F = 6$ мм; диаметр окружности центров отверстий под пальцы $a_F = 18$ мм; диаметр окружности центров пальцев $a_f = 18$ мм; внешний диаметр подшипника $a_b = 8$ мм.

Таблица 1

Учитываемые отклонения размеров

Размер	Допуск	Отклонение	
		Вид	Обозначение
d_p	T_{d_p}	Диаметральное	e_{d_p}
D_p	T_{D_p}	»	e_{D_p}
a_p	T_{a_p}	Позиционное по оси x	e_{x_p}
		Позиционное по оси y	e_{y_p}
d_f	T_{d_f}	Диаметральное	e_{d_f}
D_F	T_{D_F}	»	e_{D_F}
a_F	T_{a_F}	Позиционное по оси x	e_{x_F}
		Позиционное по оси y	e_{y_F}
a_f	T_{a_f}	Позиционное по оси x	e_{x_f}
		Позиционное по оси y	e_{y_f}
a_b	T_{a_b}	Позиционное по оси x	e_{x_b}
		Позиционное по оси y	e_{y_b}

Таблица 2

Расчетные значения отклонений параметров ПЦР

Квалитет	Отклонения, мм											
	e_{d_p}	e_{D_p}	e_{x_p}	e_{y_p}	e_{d_f}	e_{D_F}	e_{x_F}	e_{y_F}	e_{x_f}	e_{y_f}	e_{x_b}	e_{y_b}
5	$\frac{-0,0165}{+0,0103}$	$\frac{+0,013}{+0,019}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$	$\frac{0,000}{-0,008}$	$\frac{-0,011}{0,000}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$	$\frac{-0,015}{+0,015}$
6	$\frac{-0,0165}{+0,0105}$	$\frac{+0,013}{+0,022}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$	$\frac{0,000}{-0,011}$	$\frac{+0,018}{0,000}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$	$\frac{-0,022}{+0,022}$
7	$\frac{-0,0170}{+0,0130}$	$\frac{+0,013}{+0,028}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$	$\frac{0,000}{-0,018}$	$\frac{+0,027}{0,000}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$	$\frac{-0,035}{+0,035}$

Примечание. В числителе дроби указаны минимальные значения, в знаменателе — максимальные.

Таблица 3

Расчетные значения отклонений углов закручивания и крутильной жесткости ПЦР разного типа

Квалитет	$\Delta\beta$, рад		Δj , Н·м/рад	
	min	max	min	max
<i>Для ПЦР типа KHV</i>				
5	-0,0012	+0,0032	3 907 670	3 907 670
6	-0,0017	+0,0044	545 381	545 381
7	-0,0030	+0,0049	2 077 711	2 077 711
<i>Для ПЦР типа 2KV</i>				
5	-0,0007	+0,0016	4 108 988	4 108 988
6	-0,0011	+0,0020	1 941 066	1 941 066
7	-0,0021	+0,0026	1 211 600	1 211 600

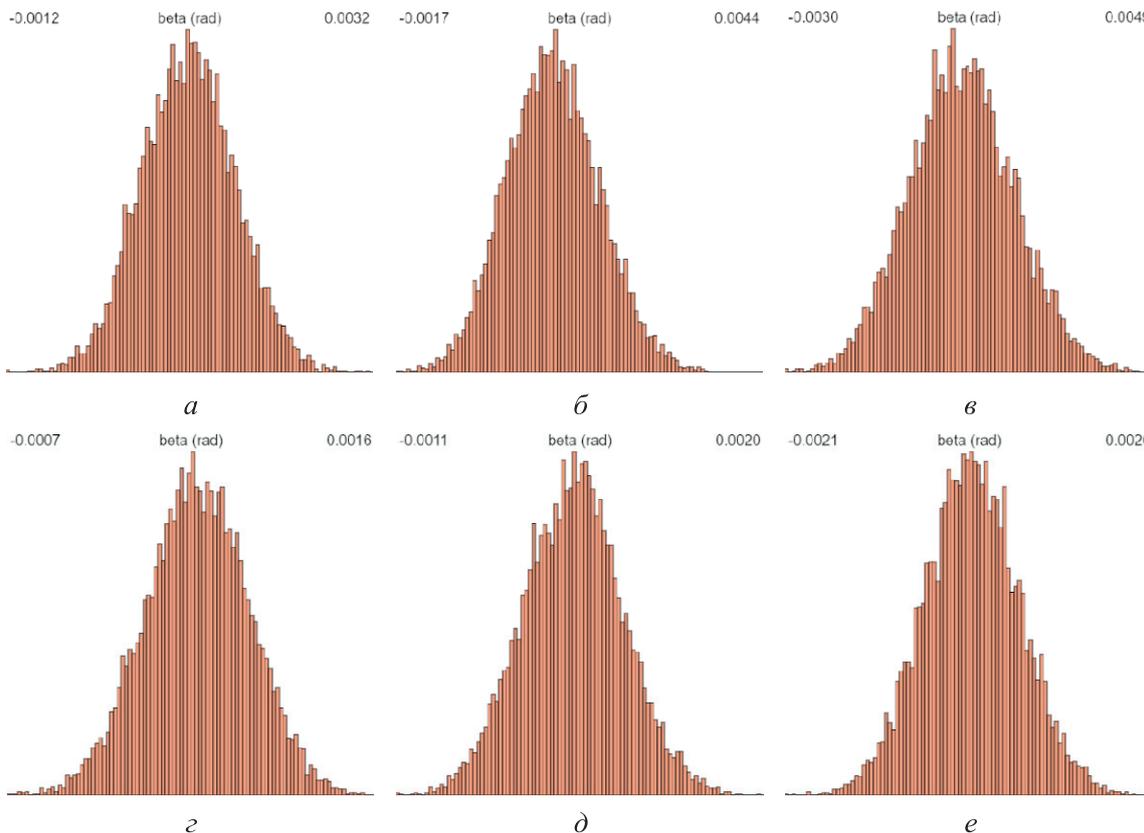


Рис. 5. Распределения угла закручивания β для ПЦР типа КНУ (*a–в*) и 2КУ (*г–е*), изготовленных по квалитетам 5 (*a, г*), 6 (*б, д*) и 7 (*в, е*)

Учитываемые погрешности изготовления деталей ПЦР приведены на рис. 4, а обозначения размеров, допусков и отклонений — в табл. 1.

Компьютерный расчет крутильной жесткости и углов закручивания ПЦР выполнен в следующей последовательности:

- генерирование отклонений в пределах полей допусков случайным образом в соответствии с нормальным законом распределения, что справедливо для изготовленных на станках с ЧПУ деталей и гарантирует оптимальную для машиностроения вероятность их безотказной работы, равную 99,73 %;
- расчет сил в связях;
- вычисление угла закручивания β и крутильной жесткости j ;
- повтор (до 10 000 раз) цикла расчета параметров β и j для определения их разброса.

Выполнены расчеты отклонений следующих параметров ПЦР:

- диаметра цевки по первой степени точности, отверстий по Н6 и вала по h5;
- диаметра цевки по второй степени точности, отверстий по Н7 и вала по h6;

- диаметра цевки по третьей степени точности, отверстий по Н8 и вала по h7.

Расчетные значения минимальных и максимальных отклонений параметров ПЦР, выполненных по квалитетам 5–7, приведены в табл. 2, а расчетные значения отклонений углов закру-

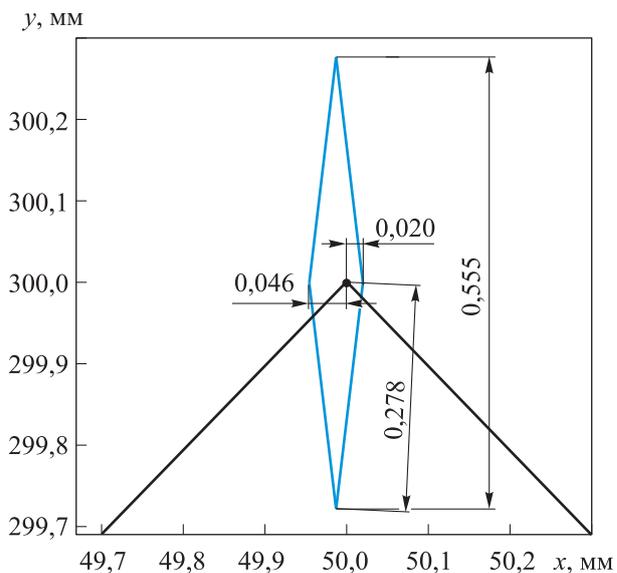
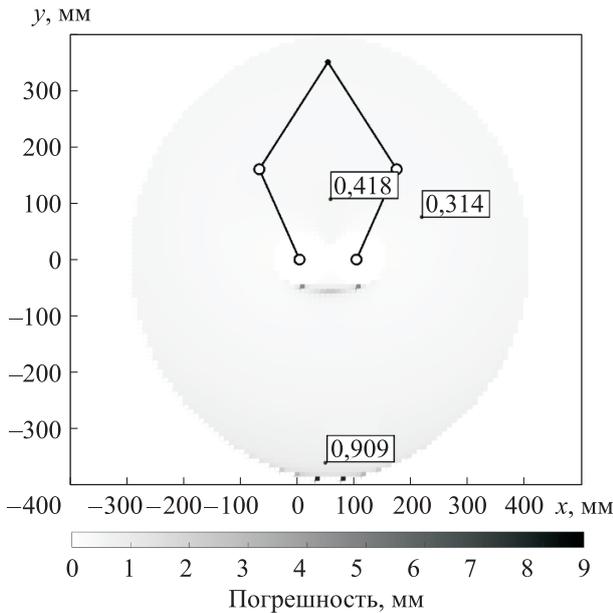
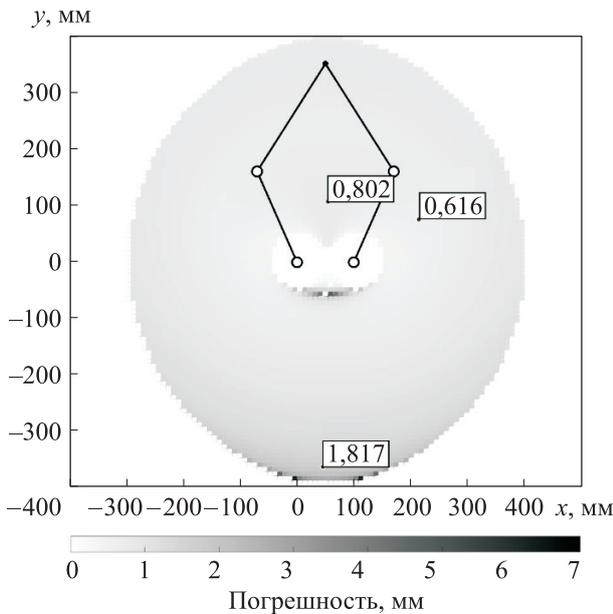


Рис. 6. Область погрешности позиционирования



а



б

Рис. 7. Распределения погрешности позиционирования по рабочей зоне ПЦР типа 2KV (а) и KHV (б), изготовленных по качеству 5

чивания $\Delta\beta$ и крутильной жесткости Δj ПЦР типа KHV и 2KV — в табл. 3. Распределения угла закручивания обоймы β для ПЦР типа KHV и 2KV, изготовленных по качествам 5–7, приведены на рис. 5.

Полученные максимальные (max) и минимальные (min) отклонения углов поворота β (см. табл. 3) позволяют для каждой точки рабочей зоны путем решения прямой задачи о положениях [12] с приращением углов рассчи-

Таблица 4

Средние значения погрешности позиционирования ПЦР разного типа

Квалитет	Средняя погрешность позиционирования, мм, ПЦР типа	
	2KV	KHV
5	0,35	0,72
6	0,45	0,95
7	0,63	1,23

тать размер области, в которой окажется выходное звено РПС с вероятностью 99,73 %. Пример такой зоны для одной из точек рабочей зоны с координатами (50; 300) приведен на рис. 6.

Максимальный разброс позиционирования в этой точке составляет 0,555 мм, а максимальная погрешность, равная длине отрезка между желаемой и реальной точками, — 0,278 мм. Данное значение максимальной погрешности вычислялось в каждой точке рабочей зоны для двух типов ПЦР при трех квалитетах. Результаты расчета приведены на рис. 7 и в табл. 4.

Следует отметить, что для механизма данной структуры в центральной области (которая наиболее часто используется как рабочая зона) преобладают погрешности по оси y , в то время как погрешности по оси x минимальны. Это связано с наличием особых положений у РПС [13–15].

У пятизвенного механизма с такими геометрическими параметрами зоны особых положений наблюдаются непосредственно у приводов, что является оптимальным [16]. Известно [17], что при приближении к особым положениям точность механизма резко падает, что можно наблюдать на рис. 7 в виде черных областей непосредственно под входными кинематическими парами, а также в самой нижней части рабочей зоны, где погрешность позиционирования в 2–3 раза превышает таковую в центральной части рабочей зоны.

Выводы

1. Решена актуальная задача определения влияния точности изготовления ПЦР типа KHV и 2KV, входящих в состав привода пятизвенного РПС, на точность позиционирования его выходного звена.

2. Выявлена неравномерность точности позиционирования плоского пятизвенного мани-

пуляционного механизма по осям координат: точность позиционирования по оси x превышает точность позиционирования по оси y более чем в 6 раз.

3. Показано, что уменьшение номера качества размеров деталей ПЦР на единицу увеличивает точность позиционирования выходного звена приблизительно на 30 %.

4. Точность позиционирования робота с ПЦР типа 2КН примерно в 2 раза выше, чем у такого с ПЦР типа КНУ.

5. При приближении к особым положениям точность позиционирования стремительно падает, оставаясь стабильно высокой в центральной части рабочей зоны, служащей для непосредственного оперирования.

Литература

- [1] Хейло С.В., Глазунов В.А., Палочкин С.В. *Манипуляционные механизмы параллельной структуры. Структурный анализ. Кинематический и силовой анализ.* Москва, МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2011. 153 с.
- [2] Ganiev R.F., Glazunov V.A., Filippov G.S. Urgent problems of machine science and ways of solving them: wave and additive technologies, the machine tool industry, and robot surgery. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2018, vol. 47, no. 5, pp. 399–406, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618818050059>
- [3] Ларюшкин П.А. О подходе к предварительной оценке точности позиционирования параллельного манипулятора с тремя степенями свободы. *Инженерный вестник*, 2015, № 3. URL: <http://ainjournal.ru/doc/764245.html>
- [4] Briot S., Bonev I.A. Are parallel robots more accurate than serial robots? *CSME Trans.*, 2007, vol. 31, no. 4, pp. 445–455, doi: <https://doi.org/10.1139/tcsme-2007-0032>
- [5] Иванов А.С., Ермолаев М.М., Муркин С.В. К расчету и конструированию современных мотор-редукторов. *Современное машиностроение. Наука и образование. Матер. 4-й Межд. науч.-практ. конф.*, Санкт-Петербург, Изд-во Политехнического университета, 2014, с. 377–388.
- [6] Артемов И.И., Чуфистов Е.А., Липов А.В. и др. Обеспечение качества планетарно-цевочных передач при проектировании и производстве. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*, 2018, № 3, с. 124–139, doi: <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2018-3-12>
- [7] Сеницына Ю.В. Исследование влияния точности изготовления на надежность планетарно-цевочного редуктора. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2020, № 9, с. 9–17, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2020-9-9-17>
- [8] Rahul K., Raheman H., Paradkar V. Design and development of a 5R 2DOF parallel robot arm for handling paper pot seedlings in a vegetable transplanter. *Comput. Electron. Agric.*, 2019, vol. 166, art. 105014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105014>
- [9] Захаров М.Н., Ларюшкин П.А., Эрастова К.Г. Определение геометрических параметров плоского пятизвенного механизма из условия обеспечения его устойчивой работы в заданной области. *Вестник машиностроения*, 2017, № 11, с. 10–13.
- [10] Laryushkin P.A., Glazunov V.A., Erastova K.G. On the maximization of joint velocities and generalized reactions in the workspace and singularity analysis of parallel mechanisms. *Robotica*, 2019, vol. 37, no. 4, pp. 675–690, doi: <https://doi.org/10.1017/S026357471800125X>
- [11] Кудрявцев В.Н. *Планетарные передачи.* Москва, Машиностроение, 1966. 307 с.
- [12] Сеницына Ю.В. Влияние кинематики мотор-редуктора на удельный момент. *Евразийское Научное Объединение*, 2017, т. 1, № 10, с. 56–58.
- [13] Merlet J.-P. *Parallel robots.* Springer, 2006. 402 p.
- [14] Ларюшкин П.А. Классификация и условия возникновения особых положений в механизмах параллельной структуры. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2017, № 1, с. 16–23, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2017-1-16-23>
- [15] Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. *Пространственные механизмы параллельной структуры.* Москва, Наука, 1991. 95 с.
- [16] Эрастова К.Г., Ларюшкин П.А. Оптимизация геометрических параметров механизмов параллельной структуры методом SQP из условия максимизации эффективной рабочей зоны на примере пятизвенного манипулятора. *Мат. МИКМУС-2017.* Москва, ИМАШ РАН, 2018, с. 356–359.

- [17] Rauf A., Kim S.G., Ryu J. A new measurement device for complete parameter identification of parallel manipulators with partial pose measurements. *4th Chemnitz Parallel Kinematics Seminar*. Chemnitz, Germany, 2004, pp. 89–106.

References

- [1] Kheylo S.V., Glazunov V.A., Palochkin S.V. Manipulyatsionnye mekhanizmy parallel'noy struktury. Strukturnyy analiz. Kinemacheskyy i silovoy analiz [Handling mechanisms of parallel structure. Kinematic and force analysis]. Moscow, MGTU im. A.N. Kosygina Publ., 2011. 153 p. (In Russ.).
- [2] Ganiev R.F., Glazunov V.A., Filippov G.S. Urgent problems of machine science and ways of solving them: wave and additive technologies, the machine tool industry, and robot surgery. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2018, vol. 47, no. 5, pp. 399–406, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618818050059>
- [3] Laryushkin P.A. On approach to preliminary estimate of positioning accuracy of parallel manipulator with three degrees of freedom. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2015, no. 3. URL: <http://ainjournal.ru/doc/764245.html> (in Russ.).
- [4] Briot S., Bonev I.A. Are parallel robots more accurate than serial robots? *CSME Trans.*, 2007, vol. 31, no. 4, pp. 445–455, doi: <https://doi.org/10.1139/tcsme-2007-0032>
- [5] Ivanov A.S., Ermolaev M.M., Murkin S.V. [To the calculation and design of modern gear motor.]. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie. Mater. 4-y Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Modern Machine Building. Science and Education. Proc. 4th Int. Sci.-Pract. Conf.]. Sankt-Peterburg, Izd-vo Politekhnicheskogo universiteta Publ., 2014, pp. 377–388. (In Russ.).
- [6] Artemov I.I., Chufistov E.A., Lipov A.V., et al. Providing the quality of planetary-lantern transmissions at designing and manufacturing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University Proceedings. Volga Region. Technical Sciences], 2018, no. 3, c. 124–139, doi: <https://doi.org/10.21685/2072-3059-2018-3-12> (in Russ.).
- [7] Sinitsyna Yu.V. A study of influence of the machining accuracy on reliability of cycloidal gears. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2020, no. 9, pp. 9–17, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2020-9-9-17> (in Russ.).
- [8] Rahul K., Raheman H., Paradkar V. Design and development of a 5R 2DOF parallel robot arm for handling paper pot seedlings in a vegetable transplanter. *Comput. Electron. Agric.*, 2019, vol. 166, art. 105014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105014>
- [9] Zakharov M.N., Laryushkin P.A., Erastova K.G. Determination of geometric parameters of plain five-link mechanism from condition of assurance of its operation stability in specified area. *Vestnik mashinostroeniya*, 2017, no. 11, pp. 10–13. (In Russ.).
- [10] Laryushkin P.A., Glazunov V.A., Erastova K.G. On the maximization of joint velocities and generalized reactions in the workspace and singularity analysis of parallel mechanisms. *Robotica*, 2019, vol. 37, no. 4, pp. 675–690, doi: <https://doi.org/10.1017/S026357471800125X>
- [11] Kudryavtsev V.N. *Planetarnye peredachi* [Planetary gears]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1966. 307 p. (In Russ.).
- [12] Sinitsyna Yu.V. Effect of gear motor kinematics on specific torque. *Evraziyskoe Nauchnoe Ob"edinenie*, 2017, vol. 1, no. 10, pp. 56–58. (In Russ.).
- [13] Merlet J.-P. *Parallel robots*. Springer, 2006. 402 p.
- [14] Laryushkin P.A. Classification and occurrence conditions of singularities in parallel mechanisms. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2017, no. 1, pp. 16–23, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2017-1-16-23> (in Russ.).
- [15] Glazunov V.A., Koliskor A.Sh., Kravtsov A.F. *Prostranstvennye mekhanizmy parallel'noy struktury* [Spatial mechanisms of parallel structure]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 95 p. (In Russ.).
- [16] Erastova K.G., Laryushkin P.A. [Geometric parameters optimization of parallel mechanisms using SQP method at the condition of maximization effective work zone using the example

of five link manipulator]. *Mat. MIKMUS-2017* [Proc. MIKMUS-2017]. Moscow, IMASH RAN Publ., 2018, pp. 356–359. (In Russ.).

- [17] Rauf A., Kim S.-G., Ryu J. A new measurement device for complete parameter identification of parallel manipulators with partial pose measurements. *4th Chemnitz Parallel Kinematics Seminar*. Chemnitz, Germany, 2004, pp. 89–106.

Статья поступила в редакцию 22.04.2021

Информация об авторах

ПАЛОЧКИН Сергей Владимирович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Основы конструирования машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: palnigs@mail.ru).

СЕНИЦЫНА Юлия Владимировна — кандидат технических наук, ассистент кафедры «Основы конструирования машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: J.Sinitcyna@gmail.com).

ЭРАСТОВА Ксения Георгиевна — ассистент кафедры «Основы конструирования машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: erastovakg@gmail.com).

Information about the authors

PALOCHKIN Sergey Vladimirovich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Professor of the Department of Machine Design Principles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: palnigs@mail.ru).

SINITSYNA Yuliya Vladimirovna — Candidate of Science (Eng.), Assistant Lecturer, Department of Machine Design Principles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: J.Sinitcyna@gmail.com).

ERASTOVA Kseniya Georgievna — Assistant Lecturer, Department of Machine Design Principles. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: erastovakg@gmail.com).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Палочкин С.В., Сеницына Ю.В., Эрастова К.Г. Влияние точности изготовления планетарно-цевочного редуктора на точность позиционирования робота параллельной структуры. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2021, № 11, с. 13–21, doi: 10.18698/0536-1044-2021-11-13-21

Please cite this article in English as:

Palochkin S.V., Sinitcyna Y.V., Erastova K.G. Influence of the Manufacturing Accuracy of the Planetary Cycloid Gear on the Positioning Accuracy of the Parallel Robot. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2021, no. 11, pp. 13–21, doi: 10.18698/0536-1044-2021-11-13-21