Щелкунов Е. Б., Виноградов С. В., Щелкунова М. Е., Пронин А. И., Мурыгин Т. В., Семенов Д. О.
Ye. B. Shchelkunov, S. V. Vinogradov, M. Ye. Shchelkunova, A. I. Pronin, T. V. Murygin, D. O. Semyonov

РАБОЧЕЕ ПРОСТРАНСТВО МЕХАНИЗМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ТИПА ГЕКСАПОД

WORKING SPACE OF THE MECHANISM OF PARALLEL STRUCTURE OF HEXAPOD TYPE

Щелкунов Евгений Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ktm@knastu.ru.

Mr. Yevgeny B. Shchelkunov – PhD in Engineering, Associate Professor, Mechanical Engineering Technology Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ktm@knastu.ru.

Виноградов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

Mr. Sergey V. Vinogradov – PhD in Engineering, Associate Professor, Mechanical Engineering Technology Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sergwin72@rambler.ru.

Щелкунова Марина Евгеньевна – кандидат технических наук, доцент кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

Mrs. Marina Ye. Shchelkunova – PhD in Engineering, Associate Professor, Software and computer application Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kmopevm@knastu.ru.

Пронин Александр Иннокентьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: mdsov@knastu.ru.

Mr. Alexander I. Pronin – PhD in Engineering, Associate Professor, Mechanical Engineering Technology Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: mdsov@knastu.ru.

Мурыгин Тимофей Владимирович – студент кафедры технологии машиностроения Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Timophei V. Murygin – student of the Department of mechanical engineering of Komsomolsk-on-Amur state University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Семенов Денис Олегович – студент кафедры технологии машиностроения Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре).

Mr. Denis O. Semyonov – student of the Department of mechanical engineering of Komsomolsk-on-Amur state University (Russia, Komsomolsk-on-Amur).

Аннотация. Проектирование станка на базе механизмов параллельной структуры является трудоёмкой конструкторской задачей. Наиболее ответственной стадией его разработки является выбор компоновки механизма параллельной структуры, связанный с определением углов размещения шарниров приводных штанг, увязкой размеров элементов механизма и др. В работе представлены результаты исследования размеров рабочего пространства различных компоновок механизма параллельной структуры типа гексапод с размещением шарниров приводных штанг на основании и подвижной платформе, подчиняющихся условию симметрии вращения. Размеры рабочего пространства определялись расчётным путем в оригинальной программе проектирования механизмов параллельной структуры с помощью метода Якоби.

Summary. The design of the machine based on mechanisms of parallel structure is a labor-intensive design task. The most important stage of its development is the choice of the mechanism components of parallel structure, associated with the determination of the angles of the linkage joint placement of the drive bars, dimensions of mechanism elements, etc. The paper presents the results of investigating the dimensions of the working space of various arrangements of the parallel structures like hexapod when placing the linkage joints of the drive bars on the base and on the movable platform, subjected to the symmetry of rotation. The dimensions of the working space were determined by calculation in the specific program for designing the mechanisms of a parallel structure using the Jacobi method.

Ключевые слова: механизм параллельной структуры, гексапод, приводная штанга, шарнир, компоновка, объём рабочего пространства.

Key words: parallel structure mechanism, hexapod, drive bar, linkage joint, layout, volume of working space.

УДК 621.01

Введение

Металлообрабатывающие станки с параллельной кинематикой заняли достойное место в общем парке технологического оборудования. Основным элементом таких станков является механизм параллельной структуры (МПС).

Проектирование станка на базе МПС является трудоёмкой конструкторской задачей. Наиболее ответственной стадией его разработки является выбор компоновки МПС, связанный с определением углов размещения шарниров на основании и подвижной платформе, увязкой размеров элементов механизма и др. Правильный выбор компоновки МПС во многом определяет успех проекта в целом.

В работе [1] представлена классификация компоновок МПС, где в качестве классификационного признака выбрано расположение шарниров на основании и подвижной платформе. Классификация основана на разделении теоретически возможных компоновок МПС на три группы:

1) компоновки, в которых шарниры основания и подвижной платформы размещены так, чтобы выполнялось условие симметрии вращения как для подвижной платформы и основания в отдельности, так и для всей схемы в целом;

2) компоновки, в которых шарниры основания и платформы размещены так, чтобы выполнялось условие зеркальной симметрии (за исключением симметрии вращения) как для подвижной платформы и основания в отдельности, так и для всей схемы в целом;

3) компоновки, в которых размещение шарниров не подчиняется какому-либо порядку (асимметричные).

Наибольшее распространение в металлообрабатывающих станках получили компоновки первой группы. Согласно представленной классификации, компоновки этой группы разделяются на следующие типы: компоновки с равномерным, компоновки с ферменным, компоновки с попарно-параллельным, компоновки с симметричным размещением приводных штанг.

Каждая компоновка МПС имеет рабочее пространство определённой формы и объёма.

В работе приведены результаты исследования размеров рабочего пространства различных компоновок МПС с размещением шарниров приводных штанг на основании и подвижной платформе, подчиняющихся условию симметрии вращения.

Для исследования выбран МПС типа гексапод как наиболее часто применяемый в металлообрабатывающих станках. Наличие шести приводных штанг в механизме позволяет реализовать все перечисленные типы компоновок.

Методика исследования

Определение размеров рабочего пространства МПС типа гексапод различных компоновок осуществлялось расчётным путем с помощью метода Якоби [2; 3]. Расчёт выполнялся в программе [4; 5].

Для количественной оценки компоновок использовалось отношение объема технологического рабочего пространства V_T МПС типа гексапод к объему его геометрического рабочего пространства V_G . Применение данного параметра было обосновано в работах [3; 6]. Величина V_T/V_G указывает на долю, занимаемую технологическим рабочим пространством МПС в общем геометрическом.

На рис. 1 показано (условно) геометрическое 1 рабочее пространство МПС с вписанным в него технологическим 2 рабочим пространством; A , B , H – длина, ширина и высота технологического рабочего пространства.

Рис. 1. Рабочие пространства МПС:
1 – геометрическое; 2 – технологическое

На рис. 2 показана расчётная схема механизма. Расчёт выполнялся при следующих исходных параметрах: $R = 270$ мм, $r = 90$ мм, $\alpha_1 = 20^\circ$, $r_{\text{шпо}} = 30$ мм, $r_{\text{шпп}} = 10$ мм, $d_1 = 40$ мм, $d = 10$ мм, $e_1 = 10$ мм, $e = 5$ мм.

Технологическое рабочее пространство задано кубом с длиной стороны 630 мм, $V_T = 250047000$ мм³.

Рис. 2. Расчётная схема механизма:

R – радиус основания; r – радиус подвижной платформы; α_1 – начальный угол расхождения приводных штанг; $r_{\text{шпо}}$ – радиус шарниров на основании; $r_{\text{шпп}}$ – радиус шарниров на подвижной платформе; e_1 – глубина установки шарниров на основании; e_2 – глубина установки шарниров на платформе; D – диаметры гильзы приводной штанги; d – диаметр штока приводной штанги; $L_{\text{ш}}$ – длина приводных штанг

Переменными параметрами являлись расстояния между шарнирами приводных штанг на основании L_o и подвижной платформе L_n (см. рис. 3), а также углы их размещения 1_o , 1_n и др., определяемые автоматически для каждой компоновки по заданному в программе алгоритму [1]. L_{o1} ; L_{o2} ; L_{o3} – расстояния между шарнирами на основании; L_{n1} , L_{n2} , L_{n3} – расстояния между шарнирами на подвижной платформе; 1, 2, 3, – углы размещения шарниров приводных штанг у равномерной компоновки; 1_o , 2_o – углы размещения шарниров приводных штанг на основании; 1_n , 2_n – углы размещения шарниров приводных штанг на подвижной платформе.

Рис. 3. Размещение шарниров на компоновках МПС типа гексапод:
а – на равномерной; б – на симметричной; в – на ферменной;
г – на попарно-параллельной

Изменение углов размещения шарниров приводных штанг ограничено минимально допустимым расстоянием между ними, исключающим столкновение шарниров и обеспечивающим их максимальную подвижность. Таким образом, расстояние между парными шарнирами приводных штанг должно быть больше диаметра шарнира. Исходя из сказанного, принято $L_{o\min} = 65$ мм и $L_{n\min} = 30$ мм.

В ходе расчёта для каждой из множества рассматриваемых компоновок МПС определялись минимальная и максимальная длины приводных штанг, необходимые для обеспечения требуемого размера технологического рабочего пространства, объём геометрического рабочего пространства, а также величина V_T/V_G .

Результаты исследования и их анализ

В табл. 1 представлены наименьшие и наибольшие значения объёма рабочего пространства, определённые для перечисленных типов компоновок МПС типа гексапод.

Таблица 1

Результаты расчёта параметров МПС

Компоновка	Параметры						V_{Γ} , мм ³	V_T/V_{Γ}
	Основание		Платформа		$L_{\min}$, мм	$L_{\max}$, мм		
	l_o , град	L_o , мм	$l_{\text{п}}$, град	$L_{\text{п}}$, мм				
Равномерная	60,0	270	60,0	90	1020	1764	613979814	0,407
Симметричная 1	21,2	195	9,6	30	1020	1764	608587662	0,411
Симметричная 2	9,1	85	30,0	90	1020	1766	641451759	0,390
Ферменная 1	6,9	65	50,4	30	1020	1776	577290093	0,433
Ферменная 2	9,1	85	31,5	85	1020	1766	637147931	0,392
Попарно-параллельная 1	9,6	90	30,0	90	1020	1765	644057141	0,388
Попарно-параллельная 2	6,9	65	21,2	65	1020	1764	650883903	0,384

Данные, приведённые в табл. 1, показывают, что изменение углов размещения шарниров на основании и подвижной платформе приводит к изменению объёма геометрического рабочего пространства. Для различных компоновок МПС удлинение приводных штанг, обеспечивающее требуемый размер технологического рабочего пространства, не одинаково и составляет 744...756 мм.

Ферменной компоновке соответствуют компоновки с углами размещения шарниров в диапазоне $1_0 = 6,9^\circ$ и $1_n = 50,4^\circ \dots 1_0 = 9,1^\circ$ и $1_n = 31,5^\circ$.

Среди компоновок данного типа наименьший объём геометрического рабочего пространства у компоновки с минимальным расстоянием между парными шарнирами на основании и подвижной платформе (ферменная 1). Этой компоновке соответствует наибольшее среди множества рассмотренных вариантов значение параметра V_T/V_G . Наибольший объём геометрического рабочего пространства у компоновки с максимальными расстояниями между парными шарнирами на основании и подвижной платформе (ферменная 2).

Компоновка ферменного типа имеет наибольший диапазон размеров геометрического рабочего пространства. Разница между объёмами геометрического рабочего пространства достигает 9 %.

Компоновка ферменная 1 для обеспечения заданных размеров технологического рабочего пространства требует большего удлинения приводных штанг, чем прочие компоновки, представленные в табл. 1.

Попарно-параллельной компоновке соответствуют компоновки с параллельным размещением парных штанг и углами размещения шарниров в диапазоне $1_0 = 9,6^\circ$ и $1_n = 30,0^\circ \dots 1_0 = 6,9^\circ$ и $1_n = 21,2^\circ$.

Наименьший объём геометрического рабочего пространства среди компоновок с попарно-параллельным размещением приводных штанг имеет компоновка с максимальным расстоянием между парными шарнирами (попарно-параллельная 1). Наибольший объём рабочего пространства у компоновки с минимально возможным расстоянием между парными шарнирами (попарно-параллельная 2).

Среди компоновок, представленных в табл. 1, компоновки с попарно-параллельным размещением приводных штанг обладают наибольшим объёмом геометрического рабочего пространства и наименьшей разницей между объёмами геометрического рабочего пространства. Компоновкам с попарно-параллельным размещением приводных штанг соответствуют наименьшие значения параметра V_T/V_G .

Симметричной компоновке принадлежит наибольшее количество вариантов исполнения.

Наименьший объём геометрического рабочего пространства среди компоновок этого типа имеет компоновка с максимальным расстоянием между парными шарнирами на основании и минимальным расстоянием между парными шарнирами на подвижной платформе, то есть симметричная 1. Наибольший объём геометрического рабочего пространства имеет компоновка с минимальным расстоянием между парными шарнирами на основании и максимальным расстоянием между парными шарнирами на подвижной платформе (симметричная 2).

Равномерная компоновка характеризуется размещением приводных штанг с шагом 60° и потому имеет единственное исполнение.

Заключение

Размеры геометрического рабочего пространства МПС зависят от положения шарниров приводных штанг на основании и подвижной платформе.

Наименьший объём геометрического рабочего пространства имеет ферменная компоновка с минимальным расстоянием между парными шарнирами на основании и подвижной платформе. Этой компоновке соответствует наибольшее среди рассмотренных вариантов значение параметра V_T/V_G . Однако такая компоновка для обеспечения заданных размеров технологического рабочего пространства требует большего удлинения приводных штанг, чем другие.

Наибольший объём геометрического рабочего пространства имеет попарно-параллельная компоновка с минимально возможным расстоянием между парными шарнирами. Компоновкам

с попарно-параллельным размещением приводных штанг соответствуют наименьшие значения параметра V_T/V_G .

Наибольшая разница в объёмах геометрического рабочего пространства между указанными компоновками составляет около 13 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щелкунов, Е. Б. Применение шаблонов вычислений при проектировании механизмов параллельной структуры / Е. Б. Щелкунов, С. В. Виноградов, А. И. Пронин, М. Е. Щелкунова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2017. – № 9. – С. 427-431.
2. Янг, Д. Исследование кинематики манипуляторов платформенного типа / Д. Янг, Т. Ли // Конструирование. – 1984. – № 2. – С. 264-272.
3. Щелкунов, Е. Б. Параметр для оценки компоновочных решений металлообрабатывающих станков с параллельной кинематикой / Е. Б. Щелкунов, С. В. Виноградов, М. Е. Щелкунова, А. И. Пронин, В. В. Мыльников // Проблемы машиностроения и надёжности машин. – 2017. – № 5. – С. 36-41.
4. Щелкунов, Е. Б. Программа для проектирования механизмов параллельной структуры / Е. Б. Щелкунов, С. В. Виноградов, М. Е. Щелкунова, А. И. Пронин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2015. – № IV-1(24). – С. 46-49.
5. Щелкунов, Е. Б. Автоматизация проектирования механизмов параллельной структуры со штангами переменной длины / Е. Б. Щелкунов, С. В. Виноградов, М. Е. Щелкунова, Д. Г. Посажеников // Технология машиностроения. – № 11. – 2015. – С. 51-55.
6. Щелкунов, Е. Б. Параметр для количественной оценки компоновочных решений металлообрабатывающих станков с параллельной кинематикой / Е. Б. Щелкунов, С. В. Виноградов, М. Е. Щелкунова, А. И. Пронин // Технология машиностроения. – № 3. – 2017. – С. 26-30.