

Васильев А.Е.¹, Михайлец В.Ф.¹, Сарваров А.С.¹, Даниленко К.В.²¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова² ОАО «НПО Андроидная техника»

ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ГРУППЫ ЗВЕНЬЕВ АНТРОПОМОРФНОГО ЗАХВАТА С ГРУППОВЫМ ПРИВОДОМ

Для современного этапа развития антропоморфной техники характерным является продвижение её из производственной сферы в социальную. Особое место при этом занимают антропоморфные роботы, способные не только взаимодействовать с человеком, но и заменить его действия в неблагоприятных условиях. Структура, аналогичная скелету человека, позволяет реализовать аналогичную кинематику и легче адаптировать их в среду жизнедеятельности людей.

Основные функциональные действия выполняются, как известно, захватом. В большинстве конструкций роботов используются антропоморфные захваты. Их создание предполагает максимальное совпадение числа степеней подвижности с аналогичным параметром, присущим кисти. Однако реализация всех подвижностей с требуемыми силовыми характеристиками захвата при использовании современных приводов представляется сложной задачей. Рассмотрен вариант применения группового привода, реализующего движения звеньев в кинематических парах с параллельными осями вращения. Проведены аналитические исследования механизма группового привода в двух исполнительных группах звеньев, реализующих движение в одной группе отдельно большого пальца и в другой одновременное движение остальных пальцев. Для кинематического анализа были составлены выражения геометрических связей в векторной форме и затем получена система скалярных уравнений. Решение систем найдено численно с помощью математического пакета MathCad. По результатам построены графики изменения углов от хода ползуна, планы положений и траекторий узловых точек механизмов и определены их угловые скорости. Полученные планы скоростей позволили получить допустимые нагрузки на исполнительную группу звеньев. Изложенная последовательность аналитического исследования позволяет проводить кинематический и силовой анализ на стадии проектирования.

Ключевые слова: антропоморфный захват, исполнительная группа звеньев, групповой привод кинематический и силовой анализ, привод, поступательной пары, усилие захвата.

ВВЕДЕНИЕ

Для современного этапа развития антропоморфной техники характерным является её активное продвижение в социальную сферу. В частности, неуклонно увеличивается число роботов, используемых вне производственной сферы [1–4]. Особое место при этом занимают антропоморфные роботы, способные не только взаимодействовать с человеком, но и заменить его действия в неблагоприятных условиях [5–9]. Структура, аналогичная скелету человека, позволяет реализовать подобную кинематику.

Основные функциональные действия выполняются захватом. В большинстве конструкций роботов используются антропоморфные захваты [10–13]. Создание антропоморфных захватов предполагает максимальное совпадение числа степеней подвижности с аналогичным параметром, присущим кисти. Однако реализация всех подвижностей с использованием современных приводов пока невозможна. Каждый палец имеет 4 независимых подвижности.

Создание захвата с 20 и более независимыми степенями подвижности – достаточно сложная задача. Размещение приводов в основании захвата возможно только при небольших мощностях приводов. При этом силовые характеристики захвата не удовлетворяют исходным требованиям. Вынесение силовой части приводов на предшествующее звено манипулятора [14] ведет к существенному усложнению конструкции и увеличению массы манипулятора.

Компромиссным вариантом является использование группового привода, реализующего движения звеньев в кинематических парах с параллельными осями вращения [15–18]. В этом случае движение в каждой исполнительной группе звеньев (ИГЗ) обеспечива-

ется двумя приводами. Одним из возможных вариантов является схема, основанная на использовании рычажной схемы передачи движения.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИГЗ АНТРОПОМОРФНОГО ЗАХВАТА

Кинематическая схема ИГЗ, аналогичных пальцу, показана на **рис. 1**. Механизм пальца состоит из последовательно соединенных при помощи коромысел МОСД и КСВ трех групп Ассур четвертого класса: 1 – шарнирного четырехзвенника RQMO с поступательным движением двухповодковой группы Ассур; 2 – антипараллелограмма OABC и 3 – антипараллелограмма CDEK.

Кинематическая схема ИГЗ большого пальца показана на **рис. 2**. Механизм большого пальца состоит из параллельно соединенных при помощи коромысла АО₁О₃ и стойки О₁О₂ двух групп Ассур четвертого класса: 1 – шарнирного четырехзвенника О₁О₂МО₃ с поступательным движением двухповодковой группы Ассур и 2 – антипараллелограмма О₁О₂МА.

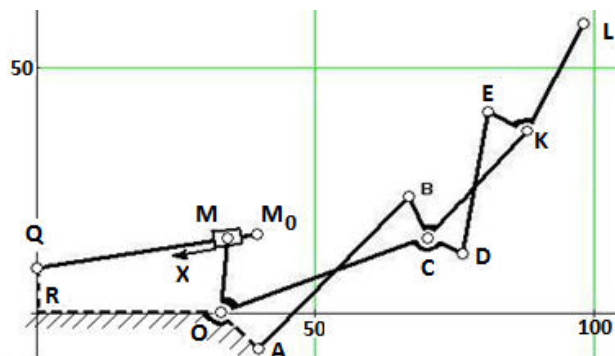


Рис. 1. Кинематическая схема ИГЗ
I с групповым приводом

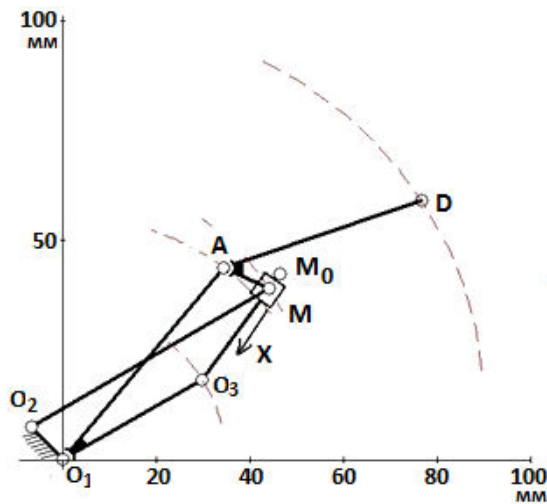


Рис. 2. Кинематическая схема ИГЗ II аналога большого пальца

Разработка конструкции группового привода предполагает предварительный силовой анализ механизма. Исследование может выполняться графическим или аналитическим способом. Каждый из способов имеет свои положительные аспекты. В отличие от работы [19] предшествующий кинематический анализ выполняется на основе аналитических зависимостей, связывающих изменение координат. На первом этапе определяется функциональная зависимость углов относительно поворота звеньев φ_i от перемещения ползуна.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для кинематического анализа по схемам механизмов (см. рис. 1, 2) были составлены выражения геометрических связей в векторной форме [20, 21, 23, 26].

$$\begin{aligned} R_{RM}(t) &= R_{QR}(t) + R_{QM}(t) - R_{OR}(t) - R_{OM}(t) \\ R_{RB}(t) &= R_{OC}(t) + R_{BC}(t) - R_{OA}(t) - R_{AB}(t) \\ R_{RE}(t) &= R_{CK}(t) + R_{KE}(t) - R_{CD}(t) - R_{DE}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Для механизма большого пальца получаем два векторных уравнения:

$$\begin{aligned} R_M(t) &= R_{O2}(t) + R_{O2M}(t) - R_{AM}(t) - R_A(t) \\ R_{Mb}(t) &= R_A(t) - R_{O3M}(t) - R_{O3}(t) + R_{AM}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

Из трех векторных уравнений (1) получаем систему шести скалярных уравнений.

$$\begin{aligned} OM \cdot \sin(\psi_1) + QM(t) \cdot \cos(\psi_1) &= OR \\ -OM \cdot \cos(\psi_1) + QM(t) \cdot \sin(\psi_1) &= -QR \\ AB \cdot \cos(\psi_3) + BC \cdot \sin(\psi_4) + \\ + OC \cdot \sin(\psi_1 - \beta_2) &= OA \cdot \cos(\beta_1) \\ OC \cdot \cos(\psi_1 - \beta_2) - AB \cdot \sin(\psi_3) + \\ + BC \cdot \cos(\psi_4) &= -OA \cdot \sin(\beta_1) \\ -CK \cdot \sin(\psi_4 - \beta_4) - CD \cdot \sin(\psi_1 - \beta_2 + \beta_3) - \\ - DE \cdot \cos(\psi_6) - KE \cdot \sin(\psi_7) &= 0 \\ CK \cdot \cos(\psi_4 - \beta_4) + CD \cdot \cos(\psi_1 - \beta_2 + \beta_3) - \\ - DE \cdot \sin(\psi_6) + KE \cdot \cos(\psi_7) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

где Ψ_i – искомые углы положений звеньев механизма; β_j – углы между рычагами коромысел, имеют постоянные значения, зависящие от конструкции механизма.

Направление каждого радиуса-вектора R_i , соответствующего i -му звену механизма пальца, задавалось углом φ_i , отсчитываемым от положительного направления оси x_i . Но в силу того, что фактические значения координат φ_i изменялись в диапазоне $0 < \varphi_i < \pi$, а используемый математический пакет (MathCad) некорректно оперирует с углами более $\pi/2$, то угол φ_i представлен суммой $\varphi_i = \Psi_i + \pi/2$, где Ψ_i – угол, связанный с φ_i и принимающий значения в диапазоне $(-\pi/2 < \Psi_i < +\pi/2)$.

$$\begin{aligned} \varphi_0(t) &= \psi_0, \varphi_1(t) = \frac{\pi}{2} + \psi_1, \\ \varphi_3(t) &= \psi_3, \varphi_4(t) = \frac{\pi}{2} + \psi_4 \\ \varphi_5(t) &= \frac{\pi}{2} + \psi_4 - \beta_4, \varphi_6(t) = \psi_6, \\ \varphi_7(t) &= \frac{\pi}{2} + \psi_7 \end{aligned}$$

Векторы, образующие перечисленные выше углы φ_i , Ψ_i и β_i механизма пальца (см. рис. 1), сведены в табл. 1.

Из двух векторных уравнений (2) получаем систему четырех скалярных уравнений геометрических связей механизма большого пальца:

$$\begin{aligned} O2M \cdot \cos(\varphi_{10}) - O1A \cdot \cos(\varphi_9) - AM \cdot \cos(\beta_9 - \varphi_{12}) - \\ - O1O2 \cdot \sin(\beta_6) &= 0 \\ AM \cdot \sin(\beta_9 - \varphi_{12}) - O1A \cdot \sin(\varphi_9) + O2M \cdot \sin(\varphi_{10}) - \\ - O1O2 \cdot \cos(\beta_6) &= 0 \\ AM \cdot \cos(\beta_9 - \varphi_{12}) - O1O3 \cdot \cos(\varphi_9 - \beta_7) - \\ - O3M(t) \cdot \cos(\varphi_{11}) + O1A \cdot \cos(\varphi_9) &= 0 \\ O1A \cdot \sin(\varphi_9) - O1O3 \cdot \sin(\varphi_9 - \beta_7) - \\ - O3M(t) \cdot \sin(\varphi_{11}) - AM \cdot \sin(\beta_9 - \varphi_{12}) &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где φ_i – искомые углы положений звеньев механизма; β_j – углы между рычагами коромысел, имеют постоянные значения, зависящие от конструкции механизма.

Векторы, образующие углы φ_i и β_i механизма большого пальца (см. рис. 2), сведены в табл. 2.

Таблица 1

Описание векторов, использованных при разработке модели пальца

Векторы, образующие угол	Наименование угла
$OX^{\wedge}QM$	$\varphi_0 = \Psi_0$
$OX^{\wedge}OM$	φ_1
$OX^{\wedge}AB$	$\varphi_3 = \Psi_3$
$OX^{\wedge}CB$	φ_4
$OX^{\wedge}CK$	φ_5
$OX^{\wedge}DE$	$\varphi_6 = \Psi_6$
$OX^{\wedge}KE$	φ_7
$OY^{\wedge}OM$	Ψ_1
$OY^{\wedge}CB$	Ψ_4
$OY^{\wedge}KE$	Ψ_7
$OR^{\wedge}OA$	β_1
$OM^{\wedge}OC$	β_2
$CO^{\wedge}CD$	β_3
$CB^{\wedge}CK$	β_4

Таблица 2

Описание векторов, использованных
при разработке модели большого пальца

Векторы, образующие угол	Наименование угла
$01X^{\wedge}01A$	φ_9
$01X^{\wedge}02M$	φ_{10}
$01X^{\wedge}03M$	φ_{11}
$01X^{\wedge}AD$	φ_{12}
$01X^{\wedge}01O2$	β_6
$01O3^{\wedge}01A$	β_7
$AM^{\wedge}AD$	β_9

Уравнения систем (3) и (4) являются трансцендентными, содержат искомые углы положений звеньев Ψ_i и φ_i и аналитического решения не имеют. Решение систем (3) и (4) было найдено численно с помощью математического пакета MathCad [24–26]. По результатам решения построены графики изменения углов Ψ_i и φ_i в зависимости от хода ползуна М вдоль обобщенной координаты X. Для визуализации решения в MathCad были построены планы положений и траектории узловых точек механизмов (рис. 3 и 4). Полный ход ползуна М: для ИГЗ I – 16 мм; для ИГЗ II – 8 мм.

Для определения угловых скоростей механизмов пальцев системы уравнений (3) и (4) были продифференцированы. Полученные системы относительно угловых скоростей решены в MathCad аналитически. По векторным выражениям были найдены и определены абсолютные скорости узловых точек ИГЗ. Векторы скоростей с учетом направлений и их модулей показаны на планах положений механизмов (см. рис. 3 и 4).

Изменение модулей линейных скоростей показано на рис. 5 и 6 при постоянной относительной скорости ползуна, равной единице ($V_M = 1$).

Проекция ИГЗ II в плоскость движения других четырех ИГЗ I показана на рис. 7.

При $V_M = 1$ графики линейных скоростей становятся графиками аналогов скоростей и по ним можно определить передаточное отношение механизмов ИГЗ в любом его положении. Из условия равенства мощностей можно определить соотношение между внешними силами, действующими на звенья ИГЗ, и силой, приложенной к ползуну.

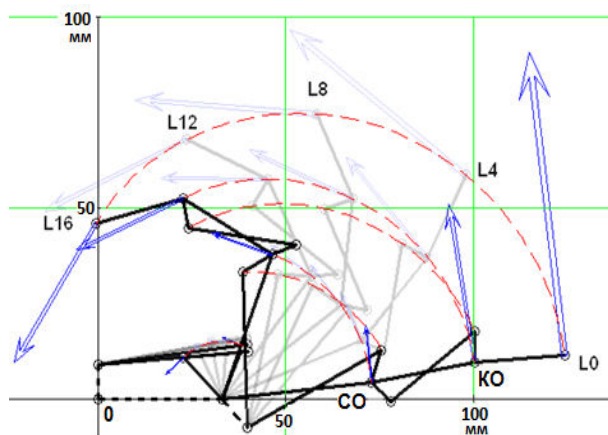


Рис. 3. Планы положений механизма ИГЗ I

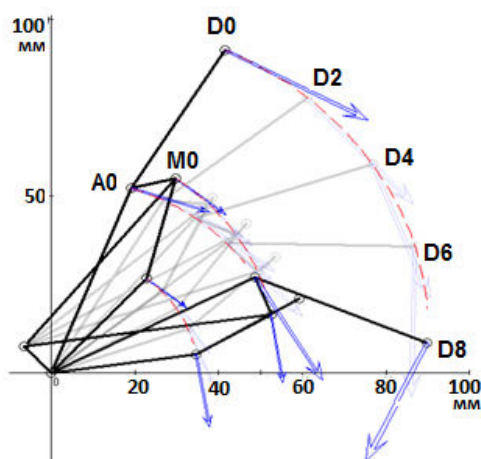


Рис. 4. Планы положений механизма ИГЗ II

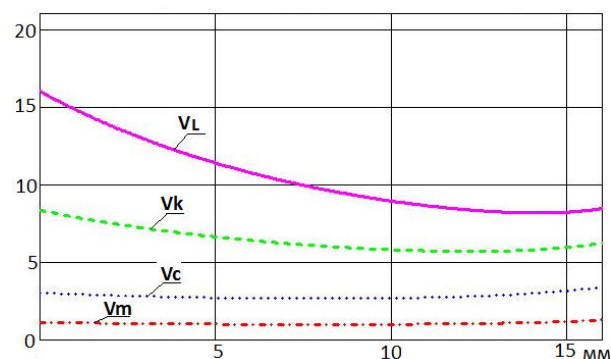
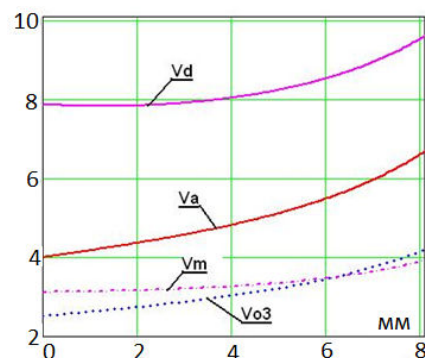
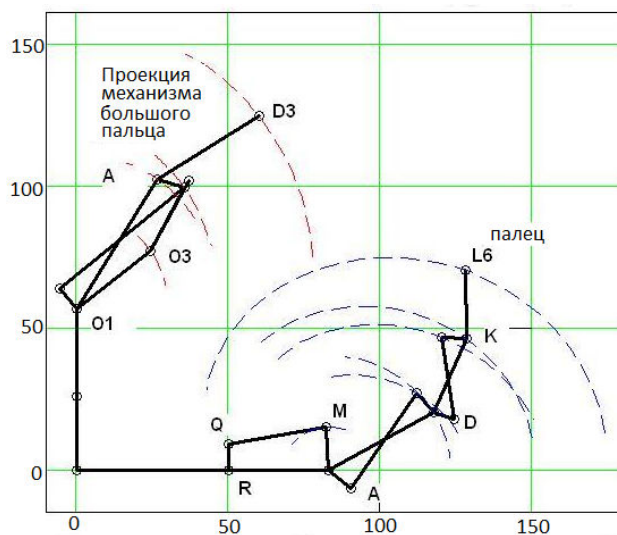
Рис. 5. Модули абсолютных скоростей узлов М, С, К и L ИГЗ I за полный ход ползуна М при $V_M = 1$ Рис. 6. Модули абсолютных скоростей узлов М, O3, A и D ИГЗ II за полный ход ползуна М при $V_M = 1$ 

Рис. 7. План положения механизмов ИГЗ на кисти и траектории некоторых точек

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По графику на **рис. 5** аналог скорости точки L на конце пальца равен 16 в начальном (выпрямленном) положении и в конечном (согнутом) – 8. Тогда передаточное отношение будет в начальном $U_L(X=0) = 1/V_L(0) = 1/16$ и в конечном $U_L(X=16) = 1/V_L(16) = 1/8$. Это значит, что осевое усилие на винте привода механизма (звено QM, см. **рис. 1**) будет в 16 раз больше усилия на конце пальца (точка L) в начальном его положении по касательной к траектории точки.

Соответственно наиболее нагруженным узлом является винт шарико-винтовой передачи. Одним из вариантов реализации привода поступательной пары M является шарико-винтовая передача [21]. В этом случае может быть использован электропривод.

Полученные планы скоростей позволяют определить допустимые нагрузки на ИГЗ при параметрах шарико-винтовой передачи, принятых из соображений компактности конструкций, и диаметре по впадинам $d=3\text{мм}$ допускаемым нормальным напряжением $[\sigma]=200\text{МПа}$. Величина σ выбрана равной 50% от предела прочности материала винта с учетом того, что винт не является сплошным цилиндром и нагрузка на винт не строго осевая), предельное (допускаемое) усилие растяжения винта $[N]$ определится из выражения

$$[N] \leq \frac{[\sigma]\pi d^2}{4} = \frac{200 \cdot 3.14 \cdot 3^2}{4} = 1413 \text{ Н.} \quad (5)$$

Тогда на конце пальца можно приложить усилие в 16 раз меньше $[P] < [N] / V_L(0) = 1413 / 16 = 88 \text{ Н}$.

Изложенная последовательность аналитического исследования рычажного механизма ИГЗ позволяет проводить кинематический и силовой анализ на стадии проектирования электропривода антропоморфного захвата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marchal-Crespo L., Reinkensmeyer D.J. Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury // *J of NeuroEng Rehab.* 2009. Vol. 6. P. 1–20.
2. Wolbrecht E.T., Chan V., Reinkensmeyer D., Bobrow J.E. Optimizing compliant, model-based robotic assistance to promote neurorehabilitation. *IEEE Trans on Neur Syst and Rehab Eng.* 2008. V. 16(3). P. 286–297.
3. Сорокин В.Г., Сохин И.Г. Возможные области применения антропоморфных роботов-помощников экипажей в отсеках перспективных космических комплексов // *Пилотируемые полеты в космос.* 2015. № 4 (17). С. 71–79.
4. Падалка Г.И., Долгов П.П., Алтунин А.А. Подход к построению робототехнических систем для работы в космосе // *Пилотируемые полеты в космос.* 2013. № 4 (9). С. 92–94.
5. Захват манипулятора для работы в экстремальных условиях / Богданов А.А., Пермяков А.Ф., Канаева Е.И., Кутлубаев И.М. // *Решетневские чтения: материалы XV междунар. науч. конф.: в 2 ч.; под общ.ред. Ю.Ю.Логинова; Сиб. гос. ун-т. Красноярск, 2011. Ч.1. С. 218.*
6. Создание и исследование робототехнической системы с интерактивным управлением / Богданов А.А., Сычков В.Б., Жиденко И.Т., Кутлубаев И.М. // *Решетневские чтения.* 2012. Т. 1. № 16. С. 230–231.
7. Жиденко И.Г., Кутлубаев И.М. Методика определения сигналов управления антропоморфным манипулятором // *Мехатроника, автоматизация, управление.* 2014. № 5. С. 41–46.
8. Морошкин Ю.Ф. Определение конфигураций механизмов // *Докл. АН СССР.* 1953. Т.82. №4. С. 56–58.
9. Теория механизмов, машин и манипуляторов: метод. указания по курсовому проектированию для студ. инженер. специальностей / сост. В.Г. Заяц. Барановичи: РИО БарГУ, 2010. 55 с.
10. Механика. Теория механизмов и машин: учеб. пособие / О.В. Конищева, Е.В. Брюховецкая, П.Н. Сильченко. 2-е изд., испр. и доп. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2013. 330 с.
11. Евдокимов Ю.И. Теория механизмов и машин. Ч. 1: Структура, кинематика и кинетостатика механизмов: курс лекций / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т. Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2013. 136 с.
12. Митрев Р.П. Компьютерный кинематический анализ шестизвенного механизма для привода рабочих органов строительных и дорожных машин // *Теория механизмов и машин.* 2008. №1 (11). Т. 6. С. 81–88.
13. Бояркина И.В. Технологическая механика одноковшовых фронтальных погрузчиков: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 336 с.
14. Левитский Н. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1979.
15. Деграве В.С. Особые положения плоских неассуровых структурных групп с внутренними входами // *Теория механизмов и машин.* 2006. №2. Т. 4. С. 81–85.
16. Ащеулов А.В. Простые для ТММ механизмы с внутренними входами оказываются сложными при проектировании // *Теория механизмов и машин.* 2003. №2. Т. 1. С. 76–78.
17. Craig J. Introduction to robotics, mechanics and control. Addison Wesley publishing company, 1989.
18. Hiller M., Möller M. Computer-based kinematical analysis of multiloop mechanisms. Proc. of the 22-nd Biennial ASME Mechanisms Conference on Flexible Mechanisms, Dynamics and Analysis, pp. 135–142, 1992, Scottsdale, USA.
19. Константинов М., Неделчев И. Теория на механизмите и машините. София: Техника, 1964.
20. Теория механизмов и машин: учебник для вузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; под ред. К.В. Фролова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1998. 496 с.
21. Сумский С.Н. Расчёт кинематических и динамических характеристик плоских рычажных механизмов: справочник. М.: Машиностроение, 1980. 312 с.
22. Справочник машиностроителя: в 6 т. / Люкшин В.С., Ниберг Н.Я., Обморшев Н.А., Плужников И.С.; под ред. Н.С. Ачеркана. 2-е изд., исправл. и доп. М.: Машлит, 1955. Т. 1. 568 с.
23. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах: учеб. пособие. В 3 т. М.: Наука, 1990. Т. 1. Статика и кинематика. 672 с.
24. Дьяконов В.П. MathCAD 2000. СПб.: Питер Бук, 2000. 586 с.
25. Макаров Е.Г. Инженерные расчёты в Mathcad 15: учебный курс. СПб.: Питер, 2011. 400 с.
26. Бертяев В.Д. Теоретическая механика на базе Mathcad. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 752 с.

Поступила в редакцию 03 августа 2017 г.

INFORMATION IN ENGLISH

INVESTIGATION OF KINEMATICS OF THE FINAL CONTROL ELEMENTS OF THE ANTHROPOMORPHIC GRIPPER WITH A COMMON DRIVE

Alexander E. Vasilyev

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Vladimir F. Mikhaylets

Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanik, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Anvar S. Sarvarov

D.Sc. (Eng.), Professor, Department of Automatic Electric Drive and Mechatronics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Kristina V. Danilenko

Scientific Development and Production Center «Android Technology», Moscow, Russia.

The current stage of anthropomorphic engineering development is characterized by its transfer from the industry to the social sphere. However, anthropomorphic robots capable both of interacting with human beings and of substituting human beings in hazardous conditions hold a special place. Their structure, which is similar to the human skeleton, makes it possible to provide similar kinematics and to introduce them easily into the human life and activities.

It is well known that the main functions are fulfilled by the gripper. In most cases anthropomorphic grippers are used in such robots. Their design assumes the maximum match of the freedom of movement to that of human hand. However, providing the same freedom of movement and the necessary power characteristics using modern drives is a complicated task. The authors considered making use of a common drive providing the movement of elements in kinematic pairs with parallel lines of rotation. They carried out analytical investigations of the common drive in the two actuating groups of elements providing movement in one separate group of a thumb, while in the other one simultaneous movement of the fingers. To carry out the kinematic analysis, the expressions of geometric constraints in the vector form were developed, and after that, a system of scalar equations was obtained. The solution of the systems was found using the MathCad mathematical software. As a result, the authors developed the diagrams reflecting the relationship between the angle change and the slide block stroke, the position plans and the paths of junction points of the mechanisms, their angular velocities were also calculated. The obtained velocity plans made it possible to calculate the permissible loads on the actuating group of elements. The described sequence of the analytical investigation makes it possible to carry out the kinematic and power analysis at the design stage.

Key words: Anthropomorphic gripper, actuating group of elements, common drive, Kinematic and power analysis, sliding pair drive, gripping force

REFERENCES

- Marchal-Crespo L., Reinkensmeyer D.J. Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury. *J of NeuroEng Rehab.* 2009, vol. 6, pp. 1–20.
- Wolbrecht E.T., Chan V., Reinkensmeyer D., Bobrow J.E. Optimizing compliant, model-based robotic assistance to promote neurorehabilitation. *IEEE Trans on Neur Syst and Rehab Eng.* 2008, vol. 16(3), pp. 286–297.
- Sorokin V.G., Sokhin I.G. *Vozможные области применения антропоморфных роботов-помощников экипажей в отсеках перспективных космических комплексов* [Possible application fields of anthropomorphic robots helping to the crew in the future space shuttles]. *Manned flights to the space.* 2015, no. 4(17), pp. 71–79.
- Padalka G.I., Dolgov P.P., Altunin A.A. *Podkhod k postroyeniyu robototekhnicheskikh sistem dlya raboty v kosmose* [An approach to design of robotic systems intended for operation in the space]. *Manned flights to the space.* 2013, no. 4(9), pp. 92–94.
- Bogdanov A.A., Permyakov A.F., Kanaeva E.I., Kutlubaev I.M. *Zakhat manipulyatora dlya raboty v ekstremalnykh usloviyakh* [Mechanic arm gripper for operation under extreme conditions]. *Reshentev Readings: proceedings of XV international scientific conference: in 2 parts; under the editorship of Yu.Yu. Loginov; Siberian state university.* Krasnoyarsk, 2011. Part 1. 218 p.
- Bogdanov A.A., Sychkov V.B., Zhidenko I.T., Kutlubaev I.M. *Sozdanie i issledovanie robototekhnicheskoy sistemy s interaktivnym upravleniem* [Design and investigation of the robotic system with interactive control]. *Reshentev Readings.* 2012, vol. 1, no. 16, pp. 230–231.
- Zhidenko I.G., Kutlubaev I.M. *Metodika opredeleniya signalov upravleniya antropomorfnyim manipulyatorom* [Method for detecting signals of an anthropomorphic manipulator control]. *Mechatronics, automation, control.* 2014, no. 5, pp. 41–46.
- Moroshkin Yu.F. *Opredelenie konfiguratsiy mekhanizmov* [Defining the layout of mechanisms]. *Report of the Academy of science of the USSR.* 1953, vol. 82, no. 4, pp. 56–58.
- Zayats V.G. *Theory of mechanisms, machines and manipulators: manual for the course work development for student majoring in engineering.* Baranovich: RIO BarGU, 2010. 55 p.
- Konishcheva O.V., Bryukhovetskaya E.V., Silchenko P.N. *Mekhanika. Teoriya mekhanizmov i mashin* [Mechanics. Theory of mechanisms and machines]. 2-nd edition, revised and enlarged. Krasnoyarsk: Siberian federal university, 2013. 330 p.
- Evdokimov Yu.I. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Part 1. Structure, kinematics and dynamic force analysis of mechanisms: a course of lectures / Novosibirsk state rural university. Engineering institute. Novosibirsk: Publishing center of NGAU, 2013. 136 p.
- Mitrev R.P. *Kompyuternyi kinematicheskiy analiz shestizvennogo mekhanizma dlya privoda rabochikh organov*

- stroitelnykh i dorozhnykh mashin* [Computer kinematic analysis of the six element mechanism for actuating the working element of construction and road making machines]. 2008, no. 1(11), vol. 6, pp. 81–88.
13. Boyarkin I.V. *Tekhnologicheskaya mekhanika odnokovshovykh frontalnykh pogruzchikov* [Technological mechanics of mechanical shovels]. Monograph / I.V. Boyarkina. Omsk: SibaDi, 2011. 336 p.
 14. Levitskiy N. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow: Science, 1979.
 15. Degraev V.S. *Osobyie polozheniya ploskikh neassurovykh strukturnykh grupp s vnutrennimi vkhodami* [Specific positions of flat non-Assur structural groups with inside entrances]. Theory of mechanisms and machines. 2006, no. 2, vol. 4, pp. 81–85.
 16. Ashcheulov A.V. *Prostye dlya TMM mekhanizmy s vnutrennimi vkhodami okazyvayutsya slozhnymi pri proektirovanii* [Simple for TMM mechanisms with inside entrances turn out to be complex for design]. Theory of mechanisms and machines. 2003, no. 2, vol. 1, pp. 76–78.
 17. Craig J. Introduction to robotics, mechanics and control. Addison Wesley publishing company, 1989.
 18. Hiller M., Möller M. Computer-based kinematical analysis of multiloop mechanisms. Proc. of the 22-nd Biennial ASME Mechanisms Conference on Flexible Mechanisms, Dynamics and Analysis, pp. 135–142, 1992, Scottsdale, USA.
 19. Konstantinov M., History I. Theory of mechanisms and machines. Sofia: Tekhnika, 1964.
 20. Frolov K.V., Popov S.A., Musatov A.K. Theory of mechanisms and machines: textbook for technical universities. Et.al.; under the editorship of K.V. Frolov. 2-nd edition, revised and enlarged. M.: High school, 1998. 496 p.
 21. Sumskiy S.N. *Raschet kinematicheskikh i dinamicheskikh kharakteristic ploskikh ryuchaznykh mekhanizmov* [Calculation of kinematic and dynamic characteristics of flat lever mechanisms]; Reference book. M.: Machine building, 1980. 312 p.
 22. Reference book of a machine builder in 6 volumes. / Lyukshin V.S., Niberg N.Ya., Obmorshev N.A., Pluzhnikov I.S.; under the editorship of N.S. Acherkan. 2-nd revised and enlarged. M.: Mash. Literature, 1955. Vol. 1. 568 p.
 23. Bat M.I., Dzhanelidze G.Yu., Kelzon A.S. *Teoreticheskaya mekhanika v primerakh i zadachakh* [Theoretical mechanics in examples and tasks]: Text book in 3 volumes. Moscow: Science, 1990. Vol. 1. Statics and kinematics. 672 p.
 24. Dyakonov V.P. MathCAD 2000. Saint-Petersburg: Peter Book, 2000. 586 p.
 25. Makarov E.G. Engineering calculations in Mathcad 15: training course. Saint-Petersburg: Peter, 2011. 400 p.
 26. Bertyaev V.D. Theoretical mechanics based on Mathcad. Saint-Petersburg: BHV Petersburg, 2005. 752 p.

Исследования кинематики исполнительной группы звеньев антропоморфного захвата с групповым приводом / Васильев А.Е., Михайлец В.Ф., Сарваров А.С., Даниленко К.В. // Электротехнические системы и комплексы. 2017. № 3(36). С. 41–46. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3\(36\)-41-46](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3(36)-41-46)

Vasilyev A.E., Mikhaylets V.F., Sarvarov A.S., Danilenko K.V. Investigation Of Kinematics Of The Final Control Elements Of The Anthropomorphic Gripper With A Common Drive. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2017, no. 3(36), pp. 41–46. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3\(36\)-41-46](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2017-3(36)-41-46)