Расчет и конструирование машин

УДК 621.01 DOI 10.18698/0536-1044-2017-7-3-9

Определение взаимного соответствия кинематического винта выходного звена и винта-градиента в особом положении механизма параллельной структуры*

Е.С. Гебель[1], В.А. Глазунов[2]

[1] ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», 644050, Омск-50, Российская Федерация, пр. Мира, 11
[2] ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» РАН, 101990, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский переулок, д. 4

Determination of the One-to-One Correspondence between the Kinematic Screw of the Output Link and the Gradient Screw in a Singular Configuration of a Parallel Mechanism

E.S. Gebel[1], V.A. Glazunov[2]

[1] Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education: Omsk State Technical University, 644050, Omsk-50, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11
[2] Federal State Budgetary Research Institution: Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 101990, Moscow, Russian Federation, Malyy Kharitonievskiy Pereulok, Bldg. 4

e-mail: Gebel_es@mail.ru, vaglznv@mail.ru

Платформа Гауфа–Стюарта с шестью степенями свободы широко применяется в различных мехатронных устройствах (контрольно-измерительных головках, испытательных стендах и т. д.), где требуется обеспечить высокую точность управления перемещением и ориентацией выходного звена в рабочем пространстве, а также жесткость устройства при действии динамических нагрузок. Недостатком механизмов параллельной структуры является возможность потери управляемости. Представлен механизм параллельной структуры типа платформы Гауфа–Стюарта, находящийся в особом положении (сингулярности) второго вида, когда силовые винты, передаваемые со стороны кинематических цепей на выходное звено, становятся линейно-зависимыми и взаимны одному кинематическому винту. Исследованы два сингулярных положения механизма, при которых все точки пересечения силовых винтов лежат на одной прямой, совпадающей с осью Ox неподвижной декартовой системы координат xOy, или произвольным образом расположенной в плоскости $z = -1$. Рассмотрены кинематический винт и винт-градиент, наиболее быстро выводящий из особого положения.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках гранта 16-29-04273.

Ключевые слова: механизм параллельной структуры, платформа Гауфа–Стюарта, состояние сингулярности, плюккеровы координаты, кинематический винт, силовой винт

The Gough-Stewart platform with six degrees of freedom is widely used in various mechatronic devices, for example, in measuring heads, test benches, etc. It can guarantee high accuracy in controlling the movement and orientation of the output link in the working space as well as the rigidity of the device under dynamic loads. One of the disadvantages of such mechanisms is the possible loss of controllability. A parallel mechanism of the Gough-Stewart platform type is considered. It represents the second class of singularity where the power screws translated from the kinematic chains onto the output link, become linearly dependent and reciprocal to one kinematic screw. Two singular positions of the mechanism are studied in which all points of intersection of the power screws lie on one straight line coinciding with the *Ox* axis of the stationary Cartesian coordinate system *xOy* or are arbitrarily located in the plane $z = -1$. The kinematic screw and the gradient screw that most rapidly exit the singularity are discussed.

Keywords: parallel mechanism, Gough–Stewart platform, singularity, Plücker coordinates, kinematic screw, power screw

Как известно, механизмы параллельной структуры, обладая широким спектром достоинств (большой грузоподъемностью, высокими точностью и скоростью перемещения), имеют и ряд недостатков, связанных, в частности, с особыми положениями (сингулярностями). Среди научных трудов, посвященных изучению механизмов этого класса, следует выделить работы К. Ханта [1], Д. Златанова [2, 3], В.А. Глазунова [4–9], Дж. Мерле [10, 11], К. Глосселина и Дж. Анжелеса [12, 13].

Особые положения могут быть трех видов [3, 5, 7, 11, 14, 15]. В первом из них механизм теряет одну или несколько степеней свободы. Это объясняется тем, что кинематические винты какой-либо из соединительных кинематических цепей поворота стали линейно зависимыми и, соответственно, в этой цепи имеет место внутренняя подвижность, не связанная с движением выходного звена. Второй вид особых положений с точки зрения функциональных возможностей механизма более опасен. При этом линейно зависимыми становятся силовые винты, передаваемые со стороны кинематических цепей на выходное звено. В данном случае имеет место неуправляемая подвижность по единственному (с точностью до множителя) кинематическому винту, взаимному пяти независимым силовым винтам. Третий вид особых положений определяется одновременным наличием и первого, и второго вида сингулярностей.

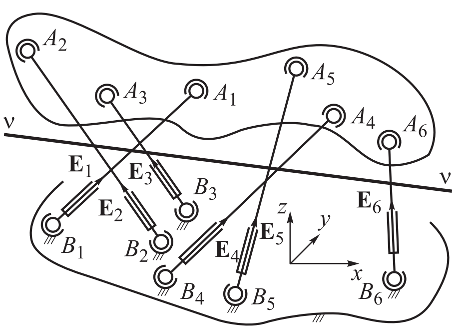

Рис. 1. Особое положение механизма параллельной структуры

В работе рассмотрен механизм параллельной структуры типа платформы Гауфа–Стюарта [1, 4, 6, 13], который заведомо находится в состоянии сингулярности второго вида, поскольку все силовые винты, передаваемые со стороны кинематических цепей на выходное звено, пересекают одну прямую линию νν (рис. 1).

Цель работы — расчет и анализ винта-градиента, наиболее быстро выводящего из особого положения, для случаев, когда центры сферических пар основания исследуемого механизма лежат на одной прямой либо смещены относительно нее на одинаковое расстояние.

Отметим, что все силовые винты нулевого параметра — это скользящие векторы. Скользящим называется вектор, пересекающий оси всех силовых винтов, взамен всем указанным винтам. В этом случае точки A_1–A_6 и B_1–B_6 являются центрами сферических шарниров, расположенных соответственно на выходном звене (подвижной платформе) и основании (базе). Векторы $\mathbf{E}_1$–$\mathbf{E}_6$ — единичные винты (векторы), направленные вдоль осей линейных двигателей (силовых винтов). Линия vv пересекает оси всех силовых винтов (отсюда следует, что все винты $\mathbf{E}_1$–$\mathbf{E}_6$ — линейно зависимые).

Ставится задача: найти винт-градиент с плюккеровыми координатами $(\xi, \eta, \zeta, \xi^0, \eta^0, \zeta^0)$, наиболее быстро выводящий из состояния сингулярности, а также соотнести его с кинематическим винтом, взаимным пяти независимым силовым винтам. Кроме того, требуется доказать, что при расположении всех точек пересечения силовых винтов с линией vv на основании любое движение не будет выводить механизм из сингулярности.

Не нарушая общности, предположим, что линяя vv совпадает с осью Ox (рис. 2).

В соответствии с рис. 2 точки A_1–A_6 и B_1–B_6 имеют следующие значения однородных координат:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -4 & -3 & -2 & 1 & 2 & 3 \\ -2 & -1 & -2 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} -5 & -4 & -1 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Воспользуемся алгоритмом определения кинематического винта-градиента [4–9], наиболее быстро выводящего из особого положения. В основе алгоритма лежит рассмотрение кинематического винта выходного звена и соответствующих ему приращений плюккеровых координат единичных силовых винтов, расположенных вдоль осей линейных двигателей. Кинематический винт с любыми плюккеровыми координатами может быть приведен к любой точке твердого тела, например к точке A_i (где $i = \overline{1, 6}$). Эта точка получит некоторое бесконечно малое перемещение, однозначно определяемое кинематическим винтом выходного звена.

Очевидно, что лишь составляющая указанного элементарного перемещения, перпендикулярная оси соответствующего единичного силового винта $\mathbf{E}_i$, будет давать приращения этому винту. Дело в том, что составляющая элементарного перемещения, направленная вдоль оси единичного винта $\mathbf{E}_i$, будет изменять

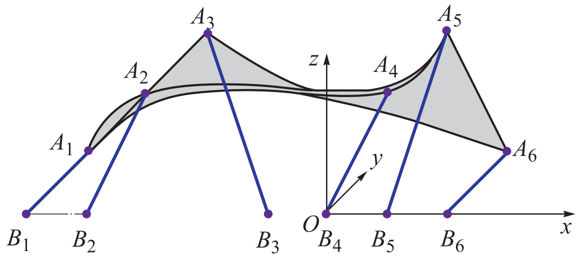

Рис. 2. Положение платформы Гауфа–Стюарта, при котором центры сферических шарниров B_i расположены на оси Ox

лишь длину отрезка A_iB_i или модуль соответствующего вектора.

Зная координаты точек A_i и B_i, а следовательно, и вектор, проведенный между этими двумя точками, плюккеровы координаты выходного звена, а значит, и координаты вектора элементарного перемещения точки A_i, можно однозначно связать плюккеровы координаты кинематического винта и их приращение для рассматриваемого единичного силового винта [4, 7].

Затем для вычисления приращения определителя, составленного из плюккеровых координат единичных силовых винтов, все указанные приращения должны быть выписаны вместе с исходными значениями упомянутых координат. Отбрасывая бесконечно малые второго порядка, можно найти приращение рассматриваемого определителя (скаляра) следующим образом.

Каждая плюккерова координата единичных силовых винтов получает элементарное приращение, равное сумме частных производных, которые были найдены выше на основании координат кинематического винта, а также точек A_i и B_i. Для поиска частной производной от определителя по той или иной координате кинематического винта выходного звена берется сумма определителей, в каждый из которых вместо исходных плюккеровых координат силовых винтов ставятся значения частных производных по данной координате. Значения этих определителей суммируются (их число равно шести), и получается частная производная от некоторой координаты кинематического винта.

Продолжим рассматривать механизм, приведенный на рис. 2. В результате решения поставленной задачи для заданных положений центров сферических шарниров на верхнем и нижнем основаниях платформы Гауфа–Стюарта (см. рис. 2) получены обобщенные координаты (м):

$$Q = (2{,}449,\ 2{,}449,\ 3{,}742,\ 3{,}000,\ 4{,}359,\ 4{,}243).$$

Матрица плюккеровых координат для заданного положения механизма приобретает вид

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} 0{,}408 & -0{,}816 & 0{,}408 & 0 & 2{,}041 & 4{,}082 \\ 0{,}408 & -0{,}408 & 0{,}816 & 0 & 3{,}266 & 1{,}633 \\ -0{,}267 & -0{,}535 & 0{,}802 & 0 & 0{,}802 & 0{,}535 \\ 0{,}333 & 0{,}667 & 0{,}667 & 0 & 0{,}000 & 0{,}000 \\ 0{,}229 & 0{,}688 & 0{,}668 & 0 & -0{,}688 & 0{,}688 \\ 0{,}236 & 0{,}943 & 0{,}236 & 0 & -0{,}471 & 1{,}886 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Ранг матрицы (1) равен пяти, а определитель — нулю.

Матрицы частных производных имеют вид:

• по координате ξ

$$\begin{pmatrix} \frac{dx_1}{d\xi} & \frac{dy_1}{d\xi} & \cdots & \frac{dz_1^0}{d\xi} \\ \frac{dx_2}{d\xi} & \frac{dy_2}{d\xi} & \cdots & \frac{dz_2^0}{d\xi} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dx_6}{d\xi} & \frac{dy_6}{d\xi} & \cdots & \frac{dz_6^0}{d\xi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

• по координате η

$$\begin{pmatrix} \frac{dx_1}{d\eta} & \frac{dy_1}{d\eta} & \cdots & \frac{dz_1^0}{d\eta} \\ \frac{dx_2}{d\eta} & \frac{dy_2}{d\eta} & \cdots & \frac{dz_2^0}{d\eta} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dx_6}{d\eta} & \frac{dy_6}{d\eta} & \cdots & \frac{dz_6^0}{d\eta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 2 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

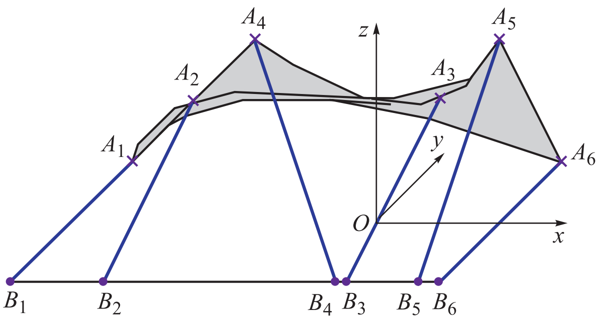

Рис. 3. Положение платформы Гауфа–Стюарта, при котором центры сферических шарниров B_i расположены на одной прямой в плоскости $z = -1$

• по координате ζ

$$\begin{pmatrix} \frac{dx_1}{d\zeta} & \frac{dy_1}{d\zeta} & \cdots & \frac{dz_1^0}{d\zeta} \\ \frac{dx_2}{d\zeta} & \frac{dy_2}{d\zeta} & \cdots & \frac{dz_2^0}{d\zeta} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dx_6}{d\zeta} & \frac{dy_6}{d\zeta} & \cdots & \frac{dz_6^0}{d\zeta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Аналогично вычислены значения матриц частных производных для остальных плюккеровых координат. В соответствии с поученными параметрами рассчитаны значения плюккеровых координат винта-градиента:

$$(\xi, \eta, \zeta, \xi^0, \eta^0, \zeta^0) = (0, 0, 0, 0, 0, 0).$$

Данный результат объясняется тем, что при любых движениях выходного звена сохраняются условия сингулярности, поскольку все оси силовых винтов пересекают ось Ox.

Рассмотрим иное положение механизма параллельной структуры (рис. 3), отличающееся от предыдущего тем, что точки B_1–B_6 смещены относительно оси Ox.

Соответствующие значения однородных координат точек A_i и B_i верхнего и нижнего оснований исследуемого механизма запишутся следующим образом:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -4 & -3 & -2 & 1 & 2 & 3 \\ -2 & -1 & -2 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 2 & 3 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} -6 & -4{,}5 & -0{,}667 & -0{,}5 & 0{,}667 & 1 \\ 2 & 0{,}5 & 0{,}667 & -1 & -1 & -4 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Требуется проверить утверждение, что при этом матрица плюккеровых координат должна остаться неизменной. Кроме того, интерес представляет взаимное соответствие (либо несоответствие) кинематического винта, взаимного независимым силовым винтам, и кинематического винта-градиента.

В результате решения обратной задачи кинематики получены следующие значения обобщенных координат механизма (м):

$$Q = (4{,}899,\ 3{,}674,\ 4{,}989,\ 4{,}500,\ 5{,}812,\ 8{,}485).$$

Матрица плюккеровых координат для заданного положения центров сферических шарниров верхнего и нижнего оснований платформы Гауфа–Стюарта (см. рис. 3) имеет вид, аналогичный выражению (1).

Таким образом, установлено, что элементы, определитель и ранг матриц совпадают, и заданное положение исследуемого параллельного механизма является сингулярным.

Рассчитав значения матриц частных производных по каждой координате, определим винт-градиент, наиболее быстро выводящий из состояния сингулярности:

$$\left(\xi, \eta, \zeta, \xi^0, \eta^0, \zeta^0\right) =$$
$$= \left(1{,}603,\ -1{,}520,\ 0{,}081,\ 0{,}000,\ -0{,}241,\ 0{,}294\right).$$

На основании изложенного можно утверждать, что в рассматриваемом положении механизма параллельной структуры имеет место кинематический винт-градиент, наиболее быстро выводящий из особого положения. Этот винт не совпадает с единственным (с точностью до множителя) кинематическим винтом, взаимным ортам осей пяти независимых силовых винтов, имеющим координаты (1, 0, 0, 0, 0, 0).

Выводы

1. Координаты пяти кинематических винтов, переводящих в бесконечно близкие соседние особые положения, имеют следующие значения:
(1,520, 1,603, 0,000, 0,000, 0,000, 0,000);
(−0,081, 0,000, 1,603, 0,000, 0,000, 0,000);
(0,000, 0,081, 1,520, 0,000, 0,000, 0,000);
(0,000, 0,000, 0,000, 0,000, 0,294, 0,241);
(0,000, 0,000, 0,000, 0,241, 0,000, 0,000).
2. Если точки центров сферических кинематических пар, установленных на основании, расположены на одной прямой, то любое движение выходного звена не выводит из состояния сингулярности, т. е. все положения механизма — особые.
3. Если центры сферических пар, установленных на основании, сместить относительно одной прямой, то будет иметь место кинематический винт-градиент, наиболее быстро выводящий механизм из особого положения. Этот кинематический винт-градиент не совпадает с кинематическим винтом, взаимным пяти единичным независимым силовым винтам.

Литература

[1] Davidson J.K., Hunt K.H. *Robot and Screw Theory: Applications of Kinematics and Statics of Robotics*. Oxford University Press, 2004. 467 p.
[2] Zlatanov D., Fenton R.G., Benhabib B. Singularity analysis of mechanisms and robots via a velocity-equation model of the instantaneous kinematics. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1994, pp. 986–991.
[3] Bohigas O., Zlatanov D., Ros L., Manubens M., Porta J.M. Numerical computation of manipulator singularities. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2012, article number 6225083, pp. 1351–1358.
[4] Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. *Пространственные механизмы параллельной структуры*. Москва, Наука, 1991. 95 с.
[5] Глазунов В.А. Структура пространственных механизмов. Группа винтов и структурные группы. *Справочник. Инженерный журнал*, 2010, приложение № 3, с. 1–24.
[6] Глазунов В.А., Ласточкин А.Б., Шалюхин К.А., Данилин П.О. К анализу и классификации устройств относительного манипулирования. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2009, № 4, с. 81–85.
[7] Glazunov V. Design of Decoupled Parallel Manipulators by Means of the Theory of Screws. *Mechanism and Machine Theory*, 2010, vol. 45, no. 2, pp. 239–250.
[8] Брио С., Аркелян В., Глазунов В.А. Условия передачи движения в плоских манипуляторах параллельной структуры. *Машиностроение и инженерное образование*, 2010, № 3, с. 2–13.
[9] Демидов С.М., Глазунов В.А., Ласточкин А.Б., Артеменко Ю.Н. Анализ углов давления и особых положений модулей параллельной структуры, предназначенных для механизмов относительного манипулирования. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2011, № 5, с. 11–20.
[10] Merlet J.P. *Parallel robots*. Springer Science & Business Media, 2001. 178 p.
[11] Merlet J.P. A formal-numerical approach for robust in workspace singularity detection. *IEEE Transactions on Robotics*, 2007, vol. 23, is. 3, pp. 393–402.

[12] Gosselin C., Angeles J. Singularly analysis of closed loop kinematic chains. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1990, vol. 6, is. 3, pp. 281–290.
[13] Jiang Q.M., Gosselin C.M. Determination of the maximal singularity-free orientation workspace for the Gough–Stewart platform. *Mechanism and Machine Theory*, 2009, vol. 44, no. 6, pp. 1281–1293.
[14] Pickard J.K., Carretero J.A. An interval analysis method for wrench workspace determination of parallel manipulator architectures. *CCToMM Mechanism, Machines, and Mechatronics (M3) Symposium*, 2015. URL: http://www.cctomm.mae.carleton.ca/CCToMM_2015.pdf (дата обращения 15 марта 2017).
[15] Rui Zeng, Shuling Dai, Wenfang Xie, Xiaoming Zhand. Determination of the Proper Motion Range for the Rotary Actuators of 6-RSS Parallel Robot. *CCToMM Mechanism, Machines, and Mechatronics (M3) Symposium*, 2015. URL: http://www.cctomm.mae.carleton.ca/CCToMM_2015.pdf (дата обращения 15 марта 2017).

References

[1] Davidson J.K., Hunt K.H. *Robot and Screw Theory: Applications of Kinematics and Statics of Robotics*. Oxford University Press, 2004. 467 p.
[2] Zlatanov D., Fenton R.G., Benhabib B. Singularity analysis of mechanisms and robots via a velocity-equation model of the instantaneous kinematics. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1994, pp. 986–991.
[3] Bohigas O., Zlatanov D., Ros L., Manubens M., Porta J.M. Numerical computation of manipulator singularities. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2012, article number 6225083, pp. 1351–1358.
[4] Glazunov V.A., Koliskor A.Sh., Krainev A.F. *Prostranstvennye mekhanizmy parallel'noi struktury* [Spatial mechanisms of parallel structure]. Moscow, Nauka publ., 1991. 95 p.
[5] Glazunov V.A. Struktura prostranstvennykh mekhanizmov. Gruppa vintov i strukturnye gruppy [The structure of spatial mechanisms. Group of screws and structural group]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal* [Handbook. An Engineering Journal]. 2010, app no. 3. pp. 1–24.
[6] Glazunov V.A., Lastochkin A.B., Shalyukhin K.A., Danilin P.O. Analysis and classification of relative manipulation devices. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2009, vol. 38, no. 4, pp. 379–382.
[7] Glazunov V. Design of Decoupled Parallel Manipulators by Means of the Theory of Screws. *Mechanism and Machine Theory*, 2010, vol. 45, no. 2, pp. 239–250.
[8] Brio S., Arkelian V., Glazunov V.A. Usloviia peredachi dvizheniia v ploskikh manipuliatorakh parallel'noi struktury [Conditions of motion transmission in planar parallel structure manipulators]. *Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie* [Mechanical engineering and engineering education]. 2010, no. 3, pp. 2–13.
[9] Demidov S.M., Glazunov V.A., Lastochkin V.A., Artemenko Y.N. Analysis of pressure angles and special positions of parallel structure modules intended for mechanisms of relative manipulation. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2011, vol. 40, no. 5, pp. 415–422.
[10] Merlet J.P. *Parallel robots*. Springer Science & Business Media, 2001. 178 p.
[11] Merlet J.P. A formal-numerical approach for robust in workspace singularity detection. *IEEE Transactions on Robotics*, 2007, vol. 23, is. 3, pp. 393–402.
[12] Gosselin C., Angeles J. Singularly analysis of closed loop kinematic chains. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1990, vol. 6, is. 3, pp. 281–290.
[13] Jiang Q.M., Gosselin C.M. Determination of the maximal singularity-free orientation workspace for the Gough–Stewart platform. *Mechanism and Machine Theory*, 2009, vol. 44, no. 6, pp. 1281–1293.
[14] Pickard J.K., Carretero J.A. An interval analysis method for wrench workspace determination of parallel manipulator architectures. *CCToMM Mechanism, Machines, and Mechatronics (M3) Symposium*, 2015. Available at: http://www.cctomm.mae.carleton.ca/CCToMM_2015.pdf (accessed 15 March 2017).
[15] Rui Zeng, Shuling Dai, Wenfang Xie, Xiaoming Zhand. Determination of the Proper Motion Range for the Rotary Actuators of 6-RSS Parallel Robot. *CCToMM Mechanism, Machines, and Mechatronics (M3) Symposium*, 2015. Available at: http://www.cctomm.mae.carleton.ca/CCToMM_2015.pdf (accessed 15 March 2017).

Статья поступила в редакцию 05.04.2017

Информация об авторах

ГЕБЕЛЬ Елена Сергеевна (Омск) — кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Автоматизация и робототехника». ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (644050, Омск-50, Российская Федерация, пр. Мира, 11, e-mail: Gebel_es@mail.ru).

ГЛАЗУНОВ Виктор Аркадьевич (Москва) — доктор технических наук, доктор философских наук, профессор, директор ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова» РАН (101990, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, e-mail: vaglznv@mail.ru).

Information about the authors

GEBEL Elena Sergeevna (Omsk) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Head of Department, Automation and Robotics Engineering. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education: Omsk State Technical University (644050, Omsk-50, Russian Federation, Mir Ave., Bldg. 11, e-mail: Gebel_es@mail.ru).

GLAZUNOV Viktor Arkadievich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Doctor of Philosophy, Professor, Director, Federal State Budgetary Research Institution: Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101990, Moscow, Russian Federation, Malyy Kharitonievskiy Pereulok, Bldg. 4, e-mail: vaglznv@mail.ru).