

В. В. Жога, д-р физ.-мат. наук, проф., zhoga@vstu.ru,
Волгоградский государственный технический университет,
В. В. Дяшкин-Титов, канд. техн. наук, доц., s_43.52.00@mail.ru,
И. А. Несмиянов, канд. техн. наук, доц., ivan_nesmiyanov@mail.ru,
Н. С. Воробьева, канд. техн. наук, доц., vorobva@inbox.ru,
Волгоградский государственный аграрный университет

Задача позиционирования манипулятора параллельно-последовательной структуры с управляемым захватным устройством¹

Представлено решение задачи позиционирования управляемого трехстепенного захватного устройства манипулятора параллельно-последовательной структуры. Решение приведено для двух вариантов конструкций захватного устройства.

Ключевые слова: манипулятор, параллельно-последовательная структура, захват с тремя степенями подвижности, позиционирование

Введение

Манипуляторы с механизмами параллельной структуры находят все большее применение в различных отраслях промышленности: в машиностроении при механической обработке деталей сложной геометрии [1–3], приборостроении, при упаковке продукции [4], а также в технологических процессах при производстве и переработке сельскохозяйственной продукции [5]. Наиболее важными достоинствами таких механизмов по сравнению с традиционными, которые представляют собой совокупность последовательно соединенных звеньев, являются повышенная жесткость, что обеспечивает высокую точность реализации программных движений. Повышенные параметры мобильности и приемистости [6], определяемые предельно допустимыми скоростями перемещения захвата в рабочей зоне и ускорениями в момент трогания, обеспечивают высокую производительность технологических процессов. Кроме того, механизм таких манипуляторов совмещает функции металлоконструкции и приводных механизмов, что существенно снижает металлоемкость манипулятора [7].

Задача механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ хорошо решается применением манипулятора-трипода [8, 9].

Однако до настоящего времени в силу ограниченности рабочей зоны и относительно небольшой манипулятивности захвата манипулятора-трипода, измеряемой "свободой движения", какую имеет ра-

бочий орган [6], в наименьшей степени поддаются механизации и автоматизации технологические процессы при переработке сельскохозяйственной продукции: сортировка плодов и овощей, пакетирование и затаривание [10].

Схема манипулятора

Для увеличения манипулятивности в узле 6 (рис. 1) манипулятора-трипода (рука) устанавливается управляемый механизм. Механизм состоит из трех звеньев, последовательно соединенных друг с другом кинематическими парами пятого класса (захватное устройство) с рабочим органом (кистью). На рис. 2 представлена кинематическая схема манипулятора, оснащенного захватным устройством с тремя степенями подвижности. Как и в случае

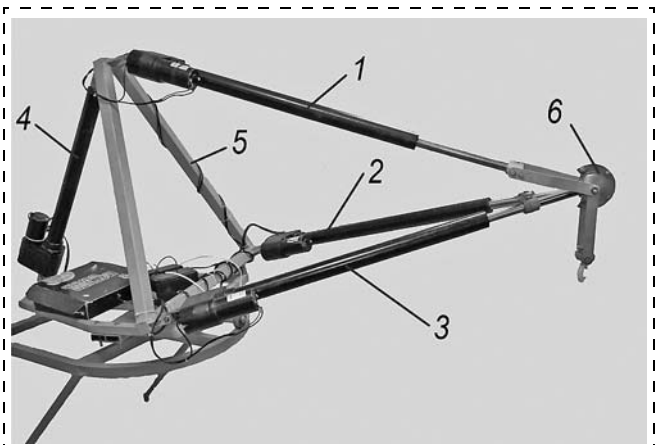


Рис. 1. Манипулятор-трипод на поворотном основании

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-01-04577-а, № 16-38-00485 мол_а.

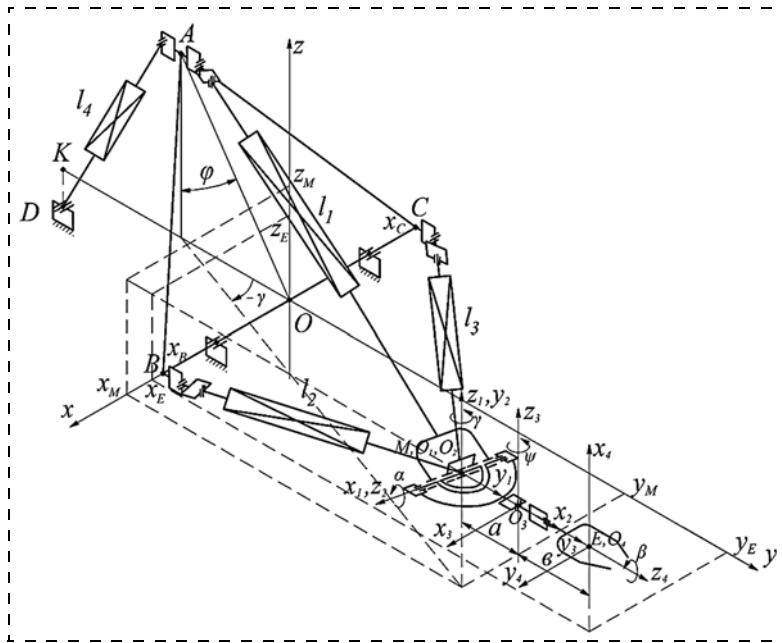


Рис. 2. Кинематическая схема манипулятора-трипода с антропоморфным манипулятором с тремя степенями подвижности

манипулятора-трипода, оси приводных звеньев линейного перемещения геометрически сходятся в одной точке посредством сферического пятиподвижного шарнирного узла.

Маневренность такого манипулятора, определяемая степенью подвижности его механизма при неподвижном захвате, равна единице, а конкретные значения манипулятивности определяются после конструкторской проработки. Манипулятор (рис. 2) при региональных перемещениях [11] точки крепления дополнительного антропоморфного механизма обладает преимуществами механизмов параллельной структуры, а локальные перемещения обеспечивают необходимую манипулятивность в объеме обслуживаемой зоны. Так как линейные размеры дополнительного механизма сравнительно небольшие, то жесткость всей манипуляционной системы остается достаточно большой.

Имеет право на существование и схема манипулятора, в которой расстояние ($O_2O_3 = a$) от точки подвеса до оси шарнира O_3z_3 равно нулю. В этом случае оси трех вращательных пар пересекаются в точке, и локальные движения конечной точки цепи происходят по поверхности. Однако за счет региональных движений точки подвеса захвата обеспечивается ее объемное движение.

Обобщенными координатами манипулятора являются длины звеньев $l_k(t)$, $k = \overline{1, 3}$, руки, угол $\varphi(t)$ наклона поворотного основания, углы относительных поворотов $\alpha(t)$, $\psi(t)$ звеньев захватного устройства, а также угол поворота кисти $\beta(t)$, пределы которых могут изменяться. Значения этих углов, определяют параметры манипулятивности манипулятора и его ориентирующие возможности, причем

в разных точках зоны обслуживания в силу особенностей кинематической структуры манипулятора и конструктивных параметров кинематических пар параметры манипулятивности разные. Угол $\varphi(t)$ изменяется в пределах $(-0,323 \leq \varphi(t) \leq 0,532)$ рад, углы $\alpha(t)$ и $\psi(t)$ — от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$.

Постановка задачи

Поскольку одним из основных требований, определяющих работоспособность манипуляторов, является обеспечение подхода рабочего органа манипулятора к точкам объекта обслуживания с заданной ориентацией рабочего органа, то ставятся задачи позиционирования рабочего органа манипулятора и оценки его функциональных возможностей в зоне обслуживания.

Для определения пространственного положения захвата манипулятора вводятся пять систем координат — абсолютная $Oxyz$, связанная с неподвижным основанием, и соответствующие каждому звену манипулятора подвижные системы координат $O_i x_i y_i z_i$ ($i = \overline{1, 4}$). Ось $O_i z_i$ каждого звена направлена по оси относительного вращения этого звена (рис. 3).

Задача позиционирования манипулятора состоит в определении обобщенных координат манипулятора $l_k(t)$, $k = \overline{1, 3}$, φ , α , ψ , β при заданном программном положении рабочего органа, определяемого координатами (x_E, y_E, z_E) его центра в неподвижной системе $Oxyz$ и направляющими косинусами a_{pq} последней системы координат $O_4 x_4 y_4 z_4$ также относительно неподвижной системы координат [12]. Для решения этой задачи необходимо решить прямую задачу для руки манипулятора, т. е. определить декартовы координаты $x_M(t)$, $y_M(t)$, $z_M(t)$ точки подвеса M в абсолютной системе отсчета $Oxyz$ (см. рис. 2) и обратную задачу для захватного устройства — определение углов φ , α , ψ .

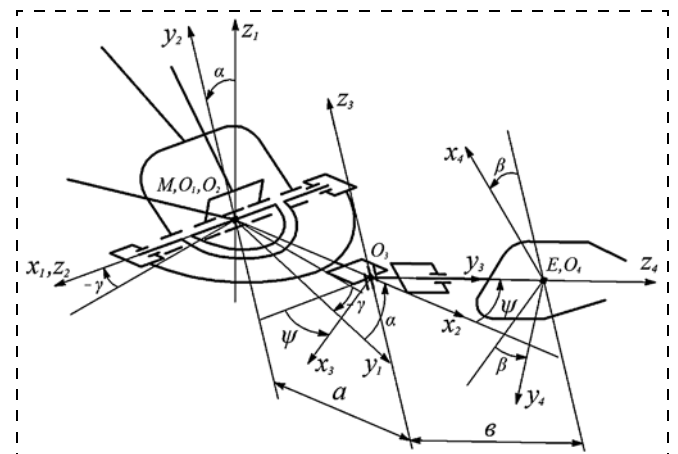


Рис. 3. Кинематическая схема антропоморфной руки с тремя степенями подвижности

Метод решения

Положение рабочего звена определяется произведением матриц перехода $\mathbf{M}_{i-1,i}$, описывающих положение i -го звена относительно $(i-1)$ -го [13].

$$\mathbf{M}_{04} = \mathbf{M}_{01}\mathbf{M}_{12}\mathbf{M}_{23}\mathbf{M}_{34}. \quad (1)$$

Связь между координатами точек в i -й и в $(i-1)$ -й системах координат осуществляется последовательным выполнением операций с помощью матриц перехода $\mathbf{M}_{i-1,i}$ [13]:

$$\begin{bmatrix} x_{i-1} \\ y_{i-1} \\ z_{i-1} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_{i-1}, x_i) & \cos(x_{i-1}, y_i) & \cos(x_{i-1}, z_i) & x_{i-1,i} \\ \cos(y_{i-1}, x_i) & \cos(y_{i-1}, y_i) & \cos(y_{i-1}, z_i) & y_{i-1,i} \\ \cos(z_{i-1}, x_i) & \cos(z_{i-1}, y_i) & \cos(z_{i-1}, z_i) & z_{i-1,i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $\mathbf{x}_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ — вектор-столбец координат точки в i -й подвижной системе координат; $\mathbf{x}_{i-1,i} = [x_{i-1,i}, y_{i-1,i}, z_{i-1,i}]^T$ — вектор-столбец координат начала i -й системы в $(i-1)$ -й системе координат; верхняя левая подматрица размером $[3 \times 3]$, образованная направляющими косинусами, определяет поворот i -й системы относительно $(i-1)$ -й.

В компактной форме это матричное преобразование имеет вид

$$\mathbf{x}_{i-1} = \mathbf{M}_{i-1,i}\mathbf{x}_i. \quad (3)$$

Поворот системы осей $O_1x_1y_1z_1$ вокруг оси O_1z_1 на угол γ , обеспечивающий параллельность осей Oz и O_1z_1 , характеризуется матрицей

$$\mathbf{M}_{01} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 & x_M \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 0 & y_M \\ 0 & 0 & 1 & z_M \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Угол γ определяется через обобщенные координаты руки манипулятора (см. рис. 2)

$$\gamma = \arctg \frac{-x_M}{y_M + OA \sin\varphi}. \quad (5)$$

Матрица поворота системы осей $O_2x_2y_2z_2$ вокруг оси O_2z_2 на угол α , обеспечивающая совпадение осей O_1x_1 и O_2z_2 , имеет вид

$$\mathbf{M}_{12} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Поворот системы осей $O_3x_3y_3z_3$ вокруг оси O_3z_3 на угол ψ , обеспечивающий параллельность осей O_2y_2 и O_3z_3 , характеризуется матрицей

$$\mathbf{M}_{23} = \begin{bmatrix} \sin\psi & \cos\psi & 0 & a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \cos\psi & -\sin\psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Матрица поворота системы осей $O_4x_4y_4z_4$ вокруг оси O_4z_4 на угол β , обеспечивающая совпадение осей O_3y_3 и O_4z_4 , имеет вид

$$\mathbf{M}_{34} = \begin{bmatrix} \sin\beta & \cos\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & b \\ \cos\beta & -\sin\beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

При последовательном переходе по цепочке шарнирно-соединенных звеньев от системы координат $O_4x_4y_4z_4$ к нулевой системе координат $Oxyz$ используем формулу (1) и выражения (4), (6)–(8), получаем

$$\mathbf{M}_{04} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & x_M - b \sin\psi \cos\gamma - (a + b \cos\psi) \cos\alpha \sin\gamma \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & y_M - b \sin\psi \sin\gamma + (a + b \cos\psi) \cos\alpha \cos\gamma \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & z_M + (a + b \cos\psi) \sin\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где $a_{11} = \sin\beta(\cos\gamma\cos\psi - \sin\gamma\cos\alpha\sin\psi) + \sin\gamma\cos\beta\sin\alpha$;
 $a_{12} = \cos\beta(\cos\gamma\cos\psi - \sin\gamma\cos\alpha\sin\psi) - \sin\gamma\sin\beta\sin\alpha$;
 $a_{13} = -\cos\gamma\sin\psi - \sin\gamma\cos\psi\cos\alpha$;
 $a_{21} = \sin\beta(\sin\gamma\cos\psi + \cos\gamma\cos\alpha\sin\psi) - \cos\gamma\cos\beta\sin\alpha$;
 $a_{22} = \cos\beta(\sin\gamma\cos\psi + \cos\gamma\cos\alpha\sin\psi) + \cos\gamma\sin\beta\sin\alpha$;
 $a_{23} = \cos\gamma\cos\psi\cos\alpha - \sin\gamma\sin\psi$;
 $a_{31} = \cos\beta\cos\alpha + \sin\psi\sin\beta\sin\alpha$;
 $a_{32} = \cos\beta\sin\psi\sin\alpha - \cos\alpha\sin\beta$;
 $a_{33} = \cos\psi\sin\alpha$ — направляющие косинусы, определяющие ориентацию в пространстве рабочего органа захватного устройства (рис. 4).

Из уравнения матрицы (9) видно, что координаты точки E центра кисти и ее ориентация не зависят от значения угла β . Закон изменения угла β собственного вращения является функцией технологического процесса.

Таким образом, для определения конфигурации манипулятора с управляемым захватным устройством необходимо из системы пяти уравнений

$$\begin{cases} x_E = x_M + ba_{13} - a \cos\alpha \sin\gamma; \\ y_E = y_M + ba_{23} + a \cos\alpha \cos\gamma; \\ z_E = z_M + ba_{33} + a \sin\alpha; \\ a_{33} = \cos\psi \sin\alpha; \\ a_{23} = \cos\gamma \cos\psi \cos\alpha - \sin\gamma \sin\psi, \end{cases} \quad (10)$$

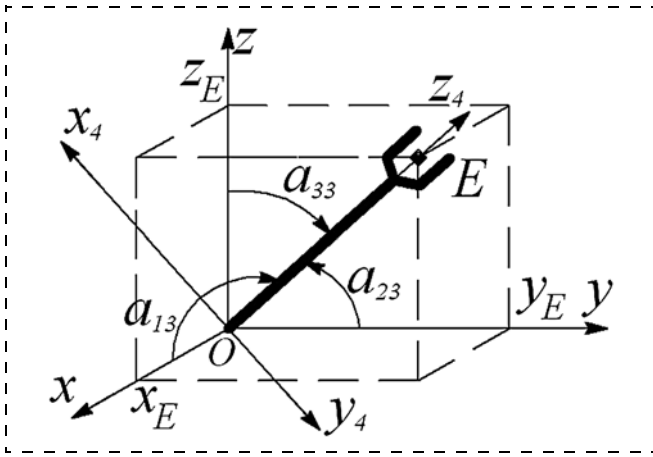


Рис. 4. Ориентация кисти манипулятора в пространстве

при известных задаваемых значениях координат (x_E, y_E, z_E) точки E кисти захвата и направляющих косинусов определить шесть неизвестных $x_M, y_M, z_M, \gamma, \alpha, \psi$.

Для захватного устройства, в котором оси трех вращательных пар пересекаются в одной точке ($a = 0$, см. рис. 3), из системы уравнений (10) определяются координаты (x_M, y_M, z_M) точки M подвеса. При этом в силу того, что $a_{13}^2 + a_{23}^2 + a_{33}^2 = 1$, должно выполняться равенство

$$(x_E - x_M)^2 + (y_E - y_M)^2 + (z_E - z_M)^2 = b^2. \quad (11)$$

Из решения оптимизационной обратной задачи [14, 15] для механизма руки манипулятора находим его обобщенные координаты $l_k, k = \overline{1, 3}$, φ и угол γ (5). Совместное решение 4-го и 5-го уравнений системы (10) позволяет определить углы ψ и α

$$\psi_{1,2} = \arcsin(-a_{23}\sin\gamma \pm a_{13}\cos\gamma) \text{ и } \alpha = \arcsin \frac{a_{33}}{\cos\psi}. \quad (12)$$

Выбор корня для ψ осуществляется сравнением координат x_E и x_M . Если $x_E > x_M$, то значение угла ψ отрицательное, если $x_E < x_M$, то значение угла ψ положительное, при $x_E = x_M \psi = 0$. Значение для угла α определяется сравнением координат z_E и z_M . При $z_E > z_M \alpha > 0$, а для $z_E < z_M \alpha < 0$, при $z_E = z_M \alpha = 0$. Таким образом, конфигурация $l_k, k = \overline{1, 3}$, φ, α, ψ манипулятора (см. рис. 2) полностью определена.

Для схемы захватного устройства с непересекающимися осями (см. рис. 3) можно предложить следующий алгоритм определения конфигурации манипулятора.

1. Задаем углом γ с учетом условий: $\gamma > 0$, если $x_E < 0$; $\gamma < 0$, если $x_E > 0$; $\gamma = 0$, если $x_E = 0$. В первом приближении можно принять $\gamma = \arctg \frac{-x_E}{y_E}$. Затем из 4-го и 5-го уравнений системы (10) по формулам

(12) определяем углы ψ и α , а из первых трех уравнений (10) находим координаты (x_M, y_M, z_M) точки M . Эти координаты должны удовлетворять уравнению $(x_E - x_M)^2 + (y_E - y_M)^2 + (z_E - z_M)^2 = (a + b\cos\psi)^2$.

Используя найденные значения (x_M, y_M, z_M) и применяя методику решения оптимизационной обратной задачи [16] для механизма руки манипулятора, находим его обобщенные координаты $l_k^*, k = \overline{1, 3}$, φ^* и угол γ^* (5).

2. Найденное значение угла γ^* принимается за новое начальное значение, и расчет повторяется в последовательности, изложенной в п. 1, до тех пор, пока не будет выполнено условие $|\gamma_{i+1}^* - \gamma_i^*| \leq \varepsilon$. Здесь $\varepsilon > 0$ — выбранная точность вычисления. Результаты последних вычислений и определяют искомую конфигурацию $l_k, k = \overline{1, 3}$, φ, α, ψ манипулятора (см. рис. 2).

Результаты решения

Для манипулятора (см. рис. 2, 3) с геометрическими параметрами $l_{10} = 1400$ мм, $l_{20} = 1500$ мм, $l_{30} = 1352$ мм, $\varphi_0 = 0,323$ рад и для задаваемых значений $x_E = 300$ мм, $y_E = 1500$ мм, $z_E = -600$ мм, $a_{23} = \cos \frac{\pi}{3}$, $a_{33} = \cos \frac{\pi}{4}$, $a = 100$ мм, $b = 100$ мм находим конфигурации манипулятора для двух типов захватного устройства.

Для схемы с пересекающимися осями трех вращательных пар: $x_M = 250$ мм, $y_M = 1450$ мм, $z_M = -670,7$ мм, $\alpha = 0,906$ рад, $\psi = -0,455$ рад, $l_1 = 1735,7$ мм, $l_2 = 1601,1$ мм, $l_3 = 1708,3$ мм, $l_4 = 1315,9$ мм, $\varphi = -0,438$ рад, $\gamma = -0,221$ рад.

Для схемы захватного устройства (см. рис. 3) задаем углом $\gamma_0 = \arctg \frac{-x_E}{y_E} = -0,197$ и $\varepsilon = 0,01$. Из

4-го и 5-го уравнений системы (10) по формулам (12) определяем углы $\psi = -0,403$ рад и $\alpha = 0,877$ рад. Затем из первых трех уравнений (10) находим координаты точки M ($x_M = 237,5$ мм, $y_M = 1387,3$ мм, $z_M = -747,6$ мм). Решая оптимизационную задачу позиционирования манипулятора [14, 15], находим его обобщенные координаты $l_k^*, k = \overline{1, 3}$, φ^* и угол $\gamma^* = -0,226$ рад (5). Сравним вычисленное значение γ^* с первоначально принятым $|-0,226 - (-0,197)| = 0,029$ рад. Расхождение превышает выбранную точность вычислений ε . Тогда найденное значение угла $\gamma^* = -0,226$ рад принимается за новое начальное, и расчет повторяется. При повторном расчете получаем $|-0,224 - (-0,226)| = 0,002$ рад, что значительно меньше выбранной точности вычислений. Результаты последних вычислений и определяют искомую конфигурацию манипулятора $x_M = 235,5$ мм, $y_M = 1387$ мм, $z_M = -747$ мм,

$\alpha = 0,868$ рад, $\psi = -0,384$ рад, $l_1 = 1740,6$ мм, $l_2 = 1579,9$ мм, $l_3 = 1682,4$ мм, $l_4 = 1323,8$ мм, $\varphi = -0,464$ рад, $\gamma = -0,224$ рад.

Заключение

Предложенная схема манипулятора-трипода с дополнительным механизмом захватного устройства с тремя степенями подвижности позволяет обеспечить необходимые параметры манипулятивности и оптимальную конфигурацию манипулятора при переводе его из начального положения в заданное конечное. Разработана методика решения прямой и обратной задач кинематики манипулятора. Схема захватного устройства с тремя пересекающимися осями более жесткая и, хотя локальные перемещения захватного устройства приводят к движению кисти по поверхности, за счет региональных движений руки конечное движение кисти объемное. Для решения траекторной задачи с требуемыми параметрами мобильности и приемистости необходимо решить задачу динамики пространственного движения манипулятора.

Список литературы

1. Афонин В. Л., Подзоров П. В., Слепцов В. В. Обработка оборудования на основе механизмов параллельной кинематики. М.: Машиностроение, 2006.
2. Бушуев В. В., Хольшев И. Г. Механизмы параллельной структуры в машиностроении // СТИН. 2001. № 1. С. 3—8.
3. Рыбак Л. А., Гриненко Г. П. Инновационное обрабатывающее оборудование на базе параллельных структур: перспективы и направления коммерциализации // Научное оборудование в машиностроении. 2013. № 7 (25). С. 32—39.
4. Робот-манипулятор FlexPicker IRB 360 компании AAB www.abb.com/robotics. URL: http://www.roboticturnkeysolutions.com/robots/abb/datasheet/IRB_360.pdf.
5. Шипилевский Г. Б., Викторов А. И. Автоматизация мобильных сельскохозяйственных агрегатов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2001. № 3. С. 28—29.

6. Кобринский А. А., Кобринский А. Е. Манипуляционные системы роботов. М.: Наука, 1985. 343 с.
7. Глазунов В. А., Колискор А. Ш., Крайнев А. Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991. 95 с.
8. Герасун В. М., Пындак В. И., Несмиянов И. А., Дяшкин-Титов В. В., Павловский В. Е. Манипуляторы для мобильных роботов. Концепции и принципы проектирования // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2012. № 44. 24 с.
9. Несмиянов И. А., Жога В. В., Дяшкин-Титов В. В., Воробьева Н. С. Манипулятор-трипод мобильного погрузочного робота // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях. Матер. междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 230—238.
10. Герасун В. М., Несмиянов И. А., Жога В. В. Особенности сельскохозяйственных роботов и требования к ним // Робототехника и искусственный интеллект: матер. V Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием, г. Железнодорожск. Сибирский федеральный ун-т, Железнодорожский филиал СФУ. Железнодорожск, 2013. С. 26—28.
11. Корендяев А. И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И. и др. Манипуляционные системы роботов / Под общ. ред. А. И. Корендяева. М.: Машиностроение, 1989. — 472 с. ил.
12. Герасун В. М., Жога В. В., Несмиянов И. А., Воробьева Н. С., Дяшкин-Титов В. В. Исследование оптимальных конфигураций манипулятора-трипода с поворотным основанием // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 6. С. 21—26.
13. Корендяев А. И., Саламандра Б. Л., Тывес Л. И. Теоретические основы робототехники. Кн. 1. М.: Наука, 2006. 383 с.
14. Nesmiyanov I., Zhoga V., Skakunov V., Terekhov S., Vorob'eva N., Dyashkin-Titov V., Fares Ali Hussein Al-hadsha. Synthesis of Control Algorithm and Computer Simulation of Robotic Manipulator-Tripod // Communications in Computer and Information Science. Springer International Publishing Switzerland 2015: CIT & DS 2015, CCIS 535. P. 392—404.
15. Жога В. В., Герасун В. М., Несмиянов И. А., Воробьева Н. С., Дяшкин-Титов В. В. Динамический синтез оптимальных программных движений манипулятора-трипода // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2015. № 2. С. 85—92.
16. Zhoga V., Gavrilo A., Gerasun V., Nesmiyanov I., Pavlovsky V., Skakunov V., Bogatyrev V., Golubev D., Dyashkin-Titov V., Vorob'eva N. Walking Mobile Robot with Manipulator-Tripod // Proc. of Romansy 2014 XX CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. — Series: Mechanisms and Machine Science. Springer International Publishing Switzerland. 2014. Vol. 22. P. 463—471.

Manipulator of a Parallel-Series Structure with a Controlled Gripper Positioning Task

V. V. Zhoga, dtm@vstu.ru ✉, Volgograd State Technical University, Volgograd, 400005, Russian Federation,
V. V. Dyashkin-Titov, c_43.52.00@mail.ru, I. A. Nesmiyanov, ivan_nesmiyanov@mail.ru,
N. S. Vorobjeva, vorobva@inbox.ru,
Volgograd State Agrarian University, Volgograd, 400002, Russian Federation

Corresponding author: Zhoga Victor V., D. Sc., Professor,
Volgograd State Technical University, Volgograd, 400005, Russian Federation,
e-mail: dtm@vstu.ru

Received on March 22, 2016

Accepted on April 04, 2016

Manipulators with the mechanisms of a parallel structure are increasingly used in various industries: in mechanical engineering as parts of complex geometry mechanical processing, tool engineering, products packaging, as well as in the technological processes and in the production and processing of the agricultural products. Loading and unloading operations are well-suited for mechanization and automation with the use of a tripod manipulator. Till nowadays due to a limited working area, a relatively small degree of manipulation of a tripod manipulator, and, even less, the technological processes can be

subjected to mechanization and automation in processing of the agricultural products: sorting, packaging and canning of fruits and vegetables. In order to increase manipulation of the tripod manipulator (hand) in the joint, where the linear displacement drive units axis geometrically converge at a single point by a spherical five moveable hinge unit, a driven mechanism was designed consisting of three series-connected pairs of the fifth class of links (gripper) with a working body (brush). Since one of the basic requirements, which determine performance of the manipulators, is to ensure an approach of the manipulator's working body to the points of a service object with a given orientation of the working body, we define the tasks of positioning of the manipulator's working body and evaluation of its functional abilities in the service area. The task of a manipulator's positioning is to determine the manipulator's generalized coordinates at a given program position of the working body. In order to handle this problem it is necessary to solve the direct task for the hand of the manipulator, i.e. to determine the Cartesian coordinates of the suspension point in the absolute coordinate system of Oxyz and the inverse task for the gripper. Thus, the proposed scheme of a tripod manipulator with an additional mechanism for the gripper with three degrees of mobility allows us to ensure the necessary manipulation parameters and the optimal configuration of the manipulator in the transition from its initial position to the final one. A method for handling of the direct and inverse problems of the manipulator kinematics was developed. The solution is provided for two design options of the gripper.

Keywords: manipulator, parallel-serial structure, gripping, positioning

Acknowledgements: This work was financially supported by the RFBR on the basis of scientific projects № 15-01-04577-a, № 16-38-00485 mol_a.

For citation:

Zhoga V. V., Dyashkin-Titov V. V., Nesmijanov I. A., Vorob'eva N. S. Manipulator of a Parallel-Series Structure with a Controlled Gripper Positioning Task, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2016, vol. 17, no. 8, pp. 525–530.

DOI: 10.17587/mau.17.525-530

References

1. Afonin V. L., Podzorov P. V., Slepcev V. V. *Obrabatyvayushhee oborudovanie na osnove mehanizmov parallel'noj kinematiki* (Processing equipment on the basis of mechanisms of parallel kinematics), Moscow, Mashinostroenie, 2006 (in Russian).
2. Bushuev V. V., Hol'shev I. G. *Mehanizmy parallel'noj struktury v mashinostroenii* (The mechanisms of parallel structure in mechanical engineering), STIN, 2001, no. 1, pp. 3–8 (in Russian).
3. Rybak L. A., Grinenko G. P. *Innovacionnoe obrabatyvayushhee oborudovanie na baze parallel'nyh struktur: perspektivy i napravleniya kommercializacii* (Innovative processing equipment on the basis of parallel structures: prospects and directions of commercialization), *Naukoemkie tehnologii v Mashinostroenii*, 2013, no. 7 (25), pp. 32–39 (in Russian).
4. **The handling robot FlexPicker IRB 360 company AAB.** www.aab.com/robotics, available at: http://www.roboticturnkey-solutions.com/robots/abb/datasheet/IRB_360.pdf.
5. Shipilevskij G. B., Viktorov A. I. *Avtomatizacija mobil'nyh sel'skohozjajstvennyh agregatov* (Automation of mobile agricultural units), *Mehanizacija i Jelektrifikacija Sel'skogo Hozjajstva*, 2001, no. 3, pp. 28–29 (in Russian).
6. Kobrinskij A. A., Kobrinskij A. E. *Manipulacionnye sistemy robotov* (Manipulation systems of robots), Moscow, Nauka, 1985, 343 p. (in Russian).
7. Glazunov V. A., Koliskor A. Sh., Krajnev A. F. *Prostranstvennye mehanizmy parallel'noj struktury* (Spatial mechanisms of parallel structure), Moscow, Nauka, 1991, 95 p. (in Russian).
8. Gerasun V. M., Pyndak V. I., Nesmijanov I. A., Djashkin-Titov V. V., Pavlovskij V. E. *Manipulyatory dlja mobil'nyh robotov. Konceptii i principy proektirovaniya* (Manipulators for mobile robots. The concept and design principles), *Preprinty IPM im. M. V. Keldysha*, 2012, no. 44, 24 p. (in Russian).
9. Nesmijanov I. A., Zhoga V. V., Djashkin-Titov V. V., Vorob'eva N. S. *Manipulyator-tripod mobil'nogo pogruzochnogo robota* (The tripod- manipulator mobile loading robot), *Robototekhnika i Iskusstvennyj Intellekt. Proceedings of the V All-Russia Scientific and Engineering Conf. with Int. Participating*, Zheleznogorsk, 2013, pp. 26–28 (in Russian).
10. Gerasun V. M., Nesmijanov I. A., Zhoga V. V. *Osobennosti sel'skohozjajstvennyh robotov i trebovaniya k nim* (Features of agricultural robots and their requirements), *Robototekhnika i Iskusstvennyj Intellekt. Proceedings of the V All-Russia Scientific and Engineering Conf. with Int. Participating*, Zheleznogorsk, 2013, pp. 26–28 (in Russian).
11. Korendjasev A. I., Salamandra B. L., Tyves L. I., et al. *Manipulacionnye sistemy robotov* (Robots' manipulation systems), Moscow, Mashinostroenie, 1989, 427 p. (in Russian).
12. Gerasun V. M., Zhoga V. V., Nesmijanov I. A., Vorob'eva N. S., Djashkin-Titov V. V. *Issledovanie optimal'nyh konfiguracij manipulyatora — tripoda s povorotnym osnovaniem* (A study of optimal configurations of a tripod- manipulator with swivel base), *Mekhatronika, Avtomatizacija, Upravlenie*, 2013, no. 6, pp. 21–26 (in Russian).
13. Korendjasev A. I., Salamandra B. L., Tyves L. I. *Teoreticheskie osnovy robototekhniki* (Theoretical basis of robotics), Moscow, 2006, Nauka, vol. 1, 383 p. (in Russian).
14. Nesmijanov I., Zhoga V., Skakunov V., Terekhov S., Vorob'eva N., Dyashkin-Titov V., Fares Ali Hussein Al-hadsha. Synthesis of Control Algorithm and Computer Simulation of Robotic Manipulator-Tripod, *Communications in Computer and Information Science*, Springer International Publishing Switzerland 2015: CIT & DS 2015, CCIS 535, pp. 392–404 (in Russian).
15. Zhoga V. V., Gerasun V. M., Nesmijanov I. A., Vorob'eva N. S., Djashkin-Titov V. V. *Dinamicheskij sintez optimal'nyh programmnyh dvizhenij manipulyatora-tripoda* (Dynamic creation of the tripod — manipulator optimum program movement), *Problemy Mashinostroeniya i Nadezhnosti Mashin*, 2015, no. 2, pp. 85–92 (in Russian).
16. Zhoga V., Gavrilov A., Gerasun V., Nesmijanov I., Pavlovskij V., Skakunov V., Bogatyrev V., Golubev D., Dyashkin-Titov V., Vorob'eva N. Walking Mobile Robot with Manipulator-Tripod, *Proceedings of Romansy 2014 XX CISM-IFTOMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Series: Mechanisms and Machine Science*, Springer International Publishing Switzerland, 2014, vol. 22, pp. 463–471 (in Russian).