

С.А. Иванченко<sup>1</sup>, В.Г. Щёкина<sup>1</sup>, Р.А. Богданов<sup>1</sup>, С.П. Круглов<sup>1</sup>, С.В. Ковыршин<sup>1</sup>

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **УТОЧНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАГРУЗКИ-ВЫГРУЗКИ ИНВАЛИДНОГО КРЕСЛА В БАГАЖНИК АВТОМОБИЛЯ**

**Аннотация.** В настоящее время существует актуальная проблема неприспособленности инфраструктуры для людей с ограниченными возможностями. Создание манипулятора поможет инвалидам с личным автомобилем совершать загрузку-выгрузку инвалидного кресла в багажник автомобиля не применяя помощников. В Иркутском государственном университете путей сообщения разрабатывается такой манипулятор. На отечественном рынке до сих пор нет таких устройств. Иностранцы аналоги обладают высокой стоимостью. Разрабатываемый манипулятор будет иметь возможность монтажа в отечественные автомобили и приемлемую цену. В данной статье представлено уточненное кинематическое описание манипулятора, в сравнении с ранее разработанным. В отличие от предыдущего представленное аналитическое описание кинематических зависимостей представлено в более компактной форме с решением прямой задачи кинематики. Это дает возможность решать более просто другие задачи проекта: обратную задачу кинематики с соблюдением необходимых ограничений и оптимизационную задачу по снижению времени раскладывания и складывания манипулятора.

**Ключевые слова:** манипулятор, инвалидное кресло, кинематические соотношения, представление Денавита-Хартенберга.

*S.A. Ivanchenko<sup>1</sup>, V.G. Shchekina<sup>1</sup>, R.A. Bogdanov<sup>1</sup>, S.P. Kruglov<sup>1</sup>, S.V. Kovyrshin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **REFINEMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE MANIPULATOR FOR LOADING AND UNLOADING A WHEELCHAIR IN THE TRUNK OF A CAR**

**Abstract.** Currently, there is an urgent problem of the inability of infrastructure for people with disabilities. Creating a manipulator will help disabled people with a private car to load and unload a wheelchair into the trunk of the car without using assistants. At Irkutsk State University of Railways, such a manipulator is being developed. There are still no such devices on the domestic market. Foreign analogues have a high cost. The manipulator being developed will have the ability to be installed in domestic cars and an acceptable price. This article presents an updated kinematic description of the manipulator, in comparison with the previously developed one. Unlike the previous one, the presented analytical description of kinematic relationships is presented in a more compact form with solving the direct problem of kinematics. This makes it possible to solve more simply other tasks of the project: the inverse problem of kinematics with observance of the necessary restrictions and the optimization task to reduce the time of unfolding and folding of the manipulator.

**Keywords:** manipulator, wheelchair, kinematic ratios, Denavit-Hartenberg representation.

### **Введение**

По данным Пенсионного фонда РФ на территории Иркутской области проживает 218000 инвалидов (около 50 тыс. – граждане в возрасте 18 лет и старше). При том, что население нашего региона составляет 2,4 миллиона человек. Получается, что каждый 11 житель области инвалид. Показатель даже выше среднероссийского, который равен 12 [1]. У многих есть автомобили. В Российской Федерации с 2011 года реализуется программа «Доступная среда», способствующая интеграции инвалидов в общество и повышению уровня их жизни. Люди с ограниченными возможностями обеспечиваются равным доступом к приоритетным объектам и услугам, в том числе в транспортной сфере.

Для свободного, самостоятельного передвижения инвалида с личным автомобилем за рубежом используются манипуляторы, встроенные в автомобиль (вместо пассажирского сидения, встроенные платформы, в багажнике). Они производят автоматизированную

погрузку-выгрузку инвалидного кресла прямо к двери водительского сидения. Эти манипуляторы не отличаются высоким быстродействием и имеют высокую стоимость [2-4]. На отечественном рынке таких манипуляторов не существует.

В Иркутском государственном университете путей сообщения на кафедре «Автоматизация производственных процессов» разрабатывается манипулятор, имеющий возможность монтажа в отечественные автомобили, приемлемую цену и быстродействие [5, 6].

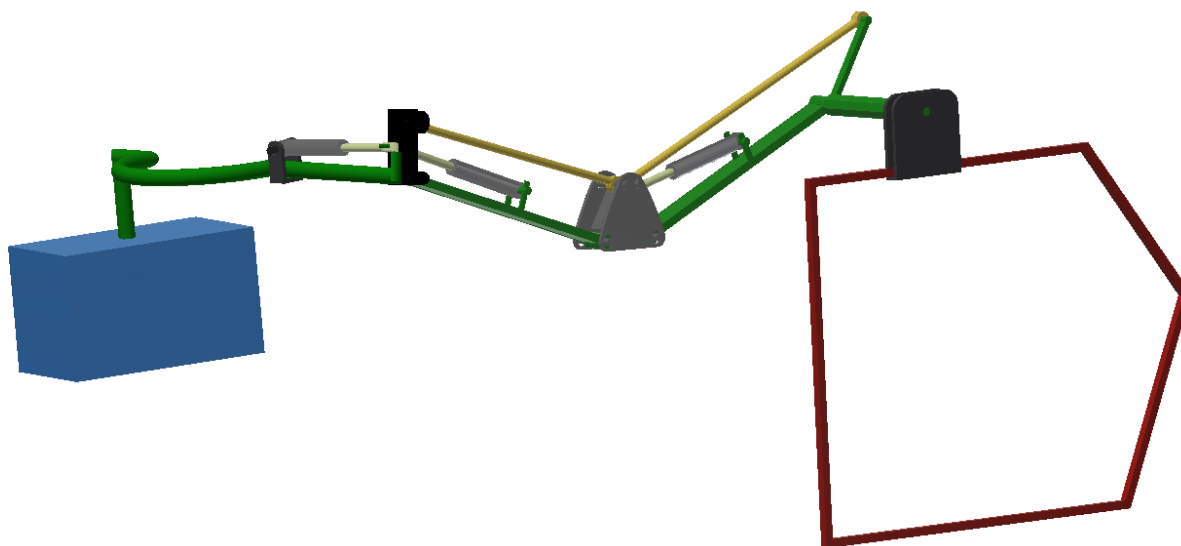
Для повышения скорости срабатывания манипулятора требуется решение прямой и обратной задачи кинематики, планирование траектории звеньев в условиях ограничений, определение оптимальной траектории движения. Для этого строится кинематическая модель манипулятора. Известно математическое описание кинематики этого манипулятора, представленное в [7]. Однако оно весьма громоздко и неудобно для анализа и решения указанных задач. Требуется поиск более компактной формы этой модели, чему и посвящена настоящая работа.

#### **Описание кинематических соотношений манипулятора**

Задача кинематики заключается в создании аналитического описания расположения манипулятора в пространстве в зависимости от времени и установления связи между присоединенными координатами манипулятора, положением и ориентацией его конечной системы координат в декартовом пространстве относительно абсолютной системы координат. Задачи кинематики обычно решаются с использованием представления Денавита-Хартенберга [8-10].

Манипулятор можно рассматривать как разомкнутую цепь, состоящая из нескольких жёстких тел (звеньев), поочередно соединенных вращательными сочленениями, приводимыми в движение силовыми приводами. Начало манипулятора расположено в багажном отсеке автомобиля, и соединенный с двигателем, конец манипулятора состоит из рамы, где крепится инвалидное кресло. Движения звеньев осуществляется с помощью сочленений, после чего манипулятор занимает заданное положение в пространстве.

Общий вид манипулятора с каркасом для кресла (в нем размещается кресло) представлен на рис.1.

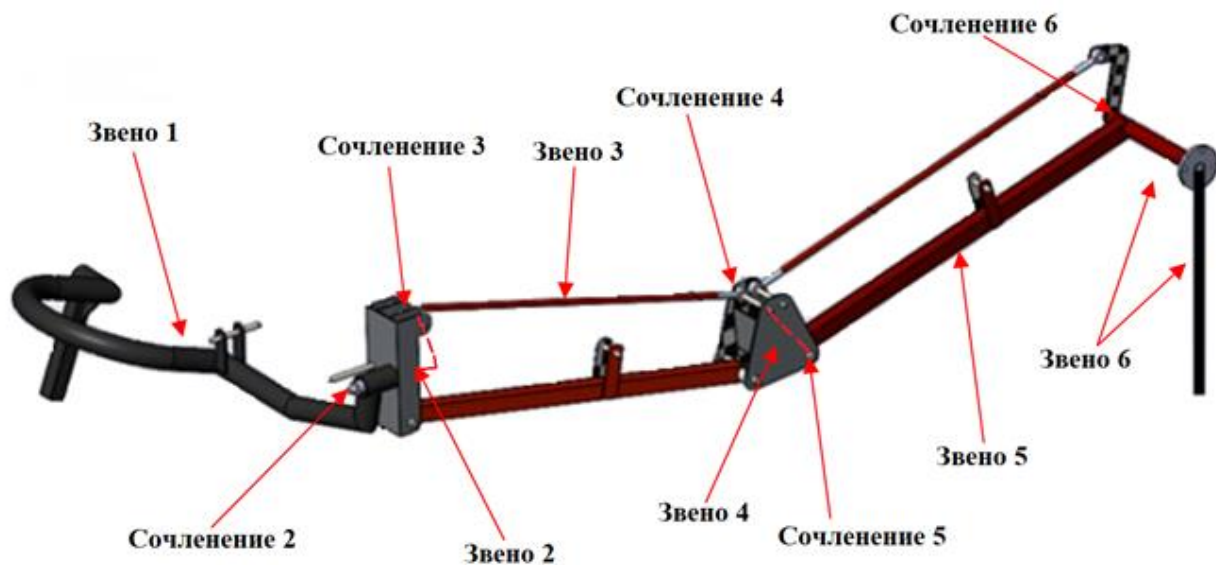


**Рис.1. Общий вид манипулятора с каркасом для кресла**

Конструкция манипулятора для его жесткости имеет параллельную кинематику (см. рис.2).

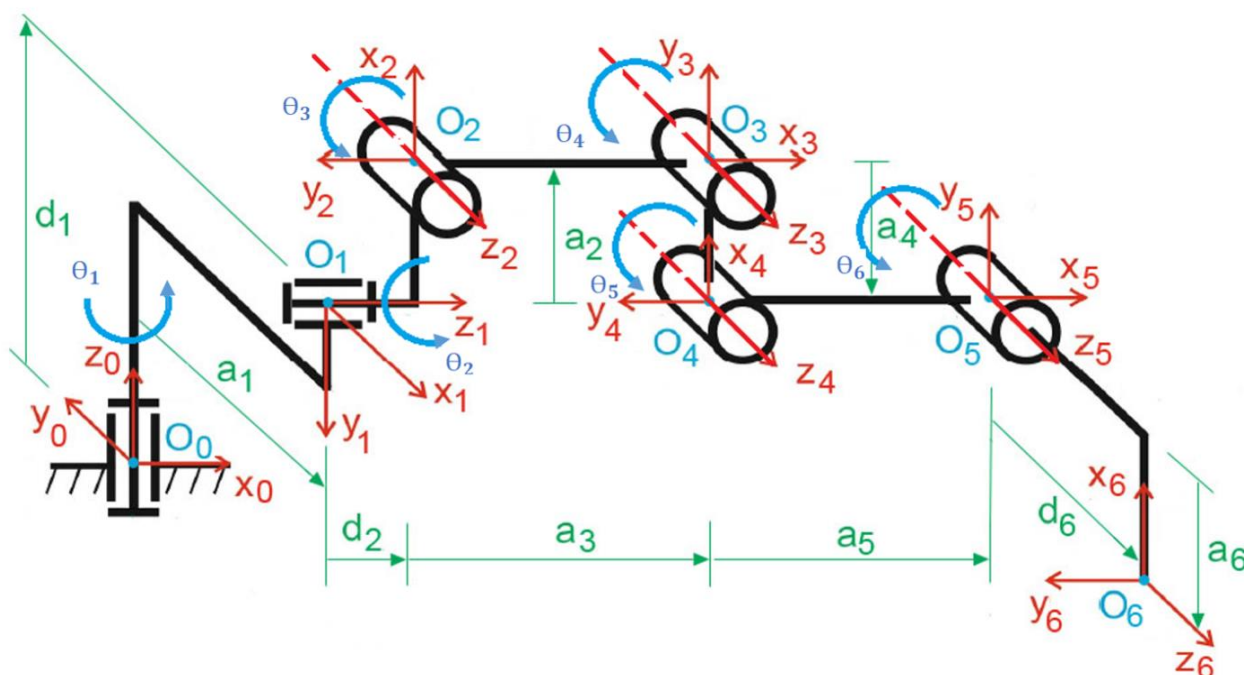
Для применения представления Денавита-Хартенберга необходимо исключить из рассмотрения параллельные звенья. На рис.2 указаны номера выбранных основных звеньев и

сочленений, при этом остальные – не рассматриваются и считаются зависимыми от основных.



**Рис. 2. Звенья и сочленения манипулятора**

На рис. 3 представлена упрощенная кинематическая схема манипулятора. На ней обозначены 6 систем координат, связанных с соответствующими звеньями:  $O_i, x_i, y_i, z_i$  –  $i$ -я система координат,  $i = 0 \dots 6$ . При этом считается, что нулевая система координат связана с абсолютным пространством.



**Рис. 3. Упрощенная кинематическая схема манипулятора в горизонтально разложенном положении**

Каждое звено шестизвенного манипулятора описывается по представлению Денавита-Хартенберга следующими параметрами: расстояниями между соседними звеньями ( $d_i$ ), длинами звеньев ( $a_i$ ), углами между соседними звеньями ( $\theta_i$ ) и углами скрутки звеньев ( $\alpha_i$ ). Параметры звеньев и сочленений представлены в табличном виде (Таблица 1).

**Таблица 1. Параметры сочленений и звеньев**

Параметры	1 звено	2 звено	3 звено	4 звено	5 звено	6 звено
Расстояние между соседними звеньями (м)	$d_1 = 0.35$	$d_2 = 0.14$	$d_3 = 0$	$d_4 = 0$	$d_5 = 0$	$d_6 = 0.23$
Длины звеньев (м)	$a_1 = 0.84$	$a_2 = 0.09$	$a_3 = 0.8$	$a_4 = -0.14$	$a_5 = 0.8$	$a_6 = -0.4$
Углы между соседними звеньями (по рисунку 3)/ диапазон (град)	$\theta_1 = -90$ (-90...+90)	$\theta_2 = -90$ (-90...0)	$\theta_3 = -90$ (-90...0)	$\theta_4 = 90$ (0...90)	$\theta_5 = -90$ (-90...0)	$\theta_6 = 90$ (0...90)
Углы скрутки звеньев (град)	$\alpha_1 = -90$	$\alpha_2 = -90$	$\alpha_3 = 0$	$\alpha_4 = 0$	$\alpha_5 = 0$	$\alpha_6 = 0$

В соответствии с представлением Денавита-Хартенберга, используем матрицу однородных преобразований  $T^{i}_{i-1}$ , связывающую  $i$ -ю систему координат с  $(i-1)$ -ой. Для этой матрицы известна зависимость [8-10]:

$$T^{i}_{i-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \sin \theta_i & \sin \alpha_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \alpha_i \cos \theta_i & -\sin \alpha_i \cos \theta_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Отсюда находим все 6 матриц пересчета координат (однородных матриц преобразования):

$$T^1_0(\theta_1) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & -\cos(\alpha_1) \cdot \sin(\theta_1) & \sin(\alpha_1) \cdot \sin(\theta_1) & a_1 \cdot \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & \cos(\alpha_1) \cdot \cos(\theta_1) & -\sin(\alpha_1) \cdot \cos(\theta_1) & a_1 \cdot \sin(\theta_1) \\ 0 & \sin(\alpha_1) & \cos(\alpha_1) & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & 0 & -\sin(\theta_1) & 0.84 \cdot \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & 0 & \cos(\theta_1) & 0.84 \cdot \sin(\theta_1) \\ 0 & -1 & 0 & 0.35 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T^2_1(\theta_2) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_2) & -\cos(\alpha_2) \cdot \sin(\theta_2) & \sin(\alpha_2) \cdot \sin(\theta_2) & a_2 \cdot \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\alpha_2) \cdot \cos(\theta_2) & -\sin(\alpha_2) \cdot \cos(\theta_2) & a_2 \cdot \sin(\theta_2) \\ 0 & \sin(\alpha_2) & \cos(\alpha_2) & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_2) & 0 & -\sin(\theta_2) & 0.09 \cdot \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & 0 & \cos(\theta_2) & 0.09 \cdot \sin(\theta_2) \\ 0 & -1 & 0 & 0.14 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T^3_2(\theta_3) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_3) & -\cos(\alpha_3) \cdot \sin(\theta_3) & \sin(\alpha_3) \cdot \sin(\theta_3) & a_3 \cdot \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\alpha_3) \cdot \cos(\theta_3) & -\sin(\alpha_3) \cdot \cos(\theta_3) & a_3 \cdot \sin(\theta_3) \\ 0 & \sin(\alpha_3) & \cos(\alpha_3) & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & 0.8 \cdot \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & 0.8 \cdot \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_3^4(\theta_4) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_4) & -\cos(\alpha_4) \cdot \sin(\theta_4) & \sin(\alpha_4) \cdot \sin(\theta_4) & a_4 \cdot \cos(\theta_4) \\ \sin(\theta_4) & \cos(\alpha_4) \cdot \cos(\theta_4) & -\sin(\alpha_4) \cdot \cos(\theta_4) & a_4 \cdot \sin(\theta_4) \\ 0 & \sin(\alpha_4) & \cos(\alpha_4) & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_4) & -\sin(\theta_4) & 0 & -0.096 \cdot \cos(\theta_4) \\ \sin(\theta_4) & \cos(\theta_4) & 0 & -0.096 \cdot \sin(\theta_4) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_4^5(\theta_5) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_5) & -\cos(\alpha_5) \cdot \sin(\theta_5) & \sin(\alpha_5) \cdot \sin(\theta_5) & a_5 \cdot \cos(\theta_5) \\ \sin(\theta_5) & \cos(\alpha_5) \cdot \cos(\theta_5) & -\sin(\alpha_5) \cdot \cos(\theta_5) & a_5 \cdot \sin(\theta_5) \\ 0 & \sin(\alpha_5) & \cos(\alpha_5) & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_5) & -\sin(\theta_5) & 0 & 0.8 \cdot \cos(\theta_5) \\ \sin(\theta_5) & \cos(\theta_5) & 0 & 0.8 \cdot \sin(\theta_5) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$T_5^6(\theta_6) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_6) & -\cos(\alpha_6) \cdot \sin(\theta_6) & \sin(\alpha_6) \cdot \sin(\theta_6) & a_6 \cdot \cos(\theta_6) \\ \sin(\theta_6) & \cos(\alpha_6) \cdot \cos(\theta_6) & -\sin(\alpha_6) \cdot \cos(\theta_6) & a_6 \cdot \sin(\theta_6) \\ 0 & \sin(\alpha_6) & \cos(\alpha_6) & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_6) & -\sin(\theta_6) & 0 & -0.4 \cdot \cos(\theta_6) \\ \sin(\theta_6) & \cos(\theta_6) & 0 & -0.4 \cdot \sin(\theta_6) \\ 0 & 0 & 1 & 0.23 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Перемножение матриц однородных преобразований, дает итоговую матрицу, связывающую все системы координат и дающую возможность пересчитать координаты из шестой системы координат в нулевую:

$$T_0^6 = T_0^1(\theta_1) T_1^2(\theta_2) T_2^3(\theta_3) T_3^4(\theta_4) T_4^5(\theta_5) T_5^6(\theta_6) = \begin{bmatrix} nx & sx & ax & Px \\ ny & sy & ay & Py \\ nz & sz & az & Pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где в  $T_0^6$ : правая верхняя подматрица размером  $3 \times 3$  – это матрица поворота шестой системы координат в координатах нулевой системы координат (ее параметры здесь не приводятся). Правый вектор с элементами  $Px, Py, Pz$  – вектор сдвига шестой системы координат в отсчетах нулевой системы координат, который и будем считать решением прямой задачи кинематики.

Для получения указанного вектора сдвига производилось перемножение 6 однородных матриц в среде MathCad с использованием аппарата символьных вычислений. В отличие от работы [7], здесь производится учет кинематической схемы манипулятора. Несложно видеть, что звенья 3-6 имеют подобную друг другу кинематику, а звенья 1 и 2 – кинематику, отличную от указанных звеньев. Поэтому для реализации произведения (2) вначале были получены произведения групп матриц  $(T_0^1 T_1^2)$  и  $(T_2^3 T_3^4 T_4^5 T_5^6)$ , их упрощение с наиболее эффективным упрощением подобных преобразований, а только затем перемножение указанных групп. В результате, в сравнении с [7], получена более компактная форма искомых компонент вектора сдвига:

$$\begin{aligned} Px(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = & 0,4 \cos(\theta_1 - \theta_3) - 0,4 \cos(\theta_1 + \theta_3) + 0,84 \cos(\theta_1) - 0,14 \sin(\theta_1) + \\ & + 0,8 \sin(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) \sin(\theta_1) - 0,4 \sin(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6) \sin(\theta_1) - 0,096 \sin(\theta_3 + \theta_4) \sin(\theta_1) + \\ & + 0,09 \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) - 0,23 \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) - 0,4 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6) \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) - \\ & - 0,096 \cos(\theta_3 + \theta_4) \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) + 0,8 \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) + \\ & + 0,8 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) \sin(\theta_1) \cos(\theta_2); \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
Py(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = & 0,115 \cos(\theta_1 + \theta_2) - 0,115 \cos(\theta_1 - \theta_2) + 0,14 \cos(\theta_1) + 0,84 \sin(\theta_1) - \\
& - 0,8 \sin(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) \cos(\theta_1) + 0,4 \sin(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6) \cos(\theta_1) + 0,096 \sin(\theta_3 + \theta_4) \cos(\theta_1) + \\
& + 0,09 \cos(\theta_2) \sin(\theta_1) - 0,8 \cos(\theta_1) \sin(\theta_3) - 0,4 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6) \cos(\theta_2) \sin(\theta_1) - \\
& - 0,096 \cos(\theta_3 + \theta_4) \cos(\theta_2) \sin(\theta_1) + 0,8 \cos(\theta_2) \cos(\theta_3) \sin(\theta_1) + \\
& + 0,8 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) \cos(\theta_2) \sin(\theta_1);
\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
Pz(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = & 0,4 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6) \sin(\theta_2) - 0,09 \sin(\theta_2) - \\
& - 0,8 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) \sin(\theta_2) - 0,23 \cos(\theta_2) + 0,096 \cos(\theta_3 + \theta_4) \sin(\theta_2) - 0,8 \cos(\theta_3) \sin(\theta_2) + 0,35.
\end{aligned} \tag{5}$$

В результате анализа полученных зависимостей (3) – (5) и использования известных тригонометрических тождеств, было проведено дальнейшее упрощение:

$$\begin{cases} Px(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = \cos(\theta_1) \cdot f_1(\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) - \sin(\theta_1) \cdot f_2(\theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6); \\ Py(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = \sin(\theta_1) \cdot f_1(\theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) + \cos(\theta_1) \cdot f_2(\theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6); \\ Pz(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = 0,35 - \sin(\theta_2) \cdot f_0(\theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) - 0,23 \cdot \cos(\theta_2), \end{cases} \tag{6}$$

где:

$$f_0(\cdot) = 0,09 - 0,4 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6) + 0,8 \cos(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) - 0,096 \cos(\theta_3 + \theta_4) + 0,8 \cos(\theta_3);$$

$$f_1(\cdot) = 0,84 - 0,23 \sin(\theta_2) + \cos(\theta_2) \cdot f_0(\theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6);$$

$$f_2(\cdot) = 0,14 + 0,4 \sin(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6) - 0,8 \sin(\theta_3 + \theta_4 + \theta_5) + 0,096 \sin(\theta_3 + \theta_4) - 0,8 \sin(\theta_3).$$

Проведем проверку полученной модели. Если принять

$$\theta_1 = \frac{-\pi}{2}; \quad \theta_2 = \frac{-\pi}{2}; \quad \theta_3 = \frac{-\pi}{2}; \quad \theta_4 = \frac{\pi}{2}; \quad \theta_5 = \frac{-\pi}{2}; \quad \theta_6 = \frac{\pi}{2}.,$$

то по модели, описанной в [7] и по (6) получаем одинаковые результаты:

$$Px(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = 1,74; \quad Py(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = -1,07; \quad Pz(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5, \theta_6) = -0,056.$$

Подобные результаты были получены и для других комбинаций углов поворота звеньев. Это говорит о полной адекватности модели (6) модели по [7], но при этом первая описывается значительно компактней, а значит проще для анализа. Так зависимости, описываемые в (6), включают 35 отдельных членов, тогда как модель в [7] – 295.

### Заключение

В формировании кинематического описания манипулятора для погрузки и выгрузки инвалидного кресла был произведен поэтапный расчет общей однородной матрицы с учетом кинематики манипулятора. Это дало более компактную форму описания кинематических зависимостей. Такая кинематическая модель позволит более просто решать обратную задачу кинематики, задачу планирования траекторий звеньев в условиях пространственных ограничений, а также оптимизационную задачу, снижающую время раскладывания и складывания манипулятора.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт Пенсионного фонда Российской Федерации, <https://pfrf.ru> (дата обращения 01.02.2021).
2. Patent KR 101619111 B1 Wheelchair storage system for vehicles using joint type manipulator, 02.05.2016. URL: <https://patents.google.com/patent/KR101619111B1/en?q=KR+101619111+B1++>.
3. Patent WO 2009148333 Auto und Vorrichtung zum Ein- und Ausladen eines Rollstuhls in einen bzw. aus einem Gepäckraum, 30.03.1993. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2009148333A1/en?q=WO+2009148333+>.
4. Patent WO 2009148333 A1 Apparatus for moving a wheelchair into and out of a vehicle, 04.06.2009. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2009148333A1/en?q=WO+2009148333+A1>.
5. Иванченко С.А. Устройство для крепления манипулятора для погрузки-выгрузки инвалидного кресла из багажного отсека автомобиля [Электронный ресурс] / С.А. Иванченко, С.П. Круглов, С.В. Ковыршин // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – № 2(8).– Режим доступа: <http://mnv.irknps.ru/ustroystvo-dlya-krepleniya-manipulyatora-dlya-pogruzki-vygruzki-invalidnogo-kresla-iz-bagazhnogo-svobodnyy>. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения 01.02.2021).
6. Патент на полезную модель RU 195870 U1 A61G 3/02. Устройство для крепления манипулятора для погрузки-выгрузки инвалидного кресла из багажного отсека автомобиля // Круглов С.П., Иванченко С.А., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО ИРГУПС) (RU) – 2019137176 от 19.11.2019, опубликовано 07.02.2020, Бюл.4.
7. Иванченко С. А. Математическая модель манипулятора для погрузки-выгрузки инвалидного кресла из багажного отсека автомобиля [Электронный ресурс] / С.А. Иванченко, С.П.Круглов// Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №.4 Режим доступа: <https://mnv.irknps.ru/toma/410-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 25.05.2021).
8. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
9. Климчик А.С., Гомолицкий Р.И., Фурман Ф.В., Сёмкин К.И. Разработка управляющих программ промышленных роботов: «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск 2008.
10. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями: «Университет ИТМО», Санкт-Петербург 2016.

## REFERENCES

1. Governmental informational source: <https://pfrf.ru> [Accessed 01/02.2021].
2. Patent KR 101619111 B1 Wheelchair storage system for vehicles using joint type manipulator, 02.05.2016. URL: <https://patents.google.com/patent/KR101619111B1/en?q=KR+101619111+B1++>.
3. Patent WO 2009148333 Auto und Vorrichtung zum Ein- und Ausladen eines Rollstuhls in einen bzw. aus einem Gepäckraum, 30.03.1993. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2009148333A1/en?q=WO+2009148333+>.
4. Patent WO 2009148333 A1 Apparatus for moving a wheelchair into and out of a vehicle, 04.06.2009. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2009148333A1/en?q=WO+2009148333+A1>.
5. S. A. Ivanchenko, S. P. Kruglov, S.V. Kovyrrshin *Ustrojstvo dlya krepleniya manipulyatora dlya pogruzki-vygruzki invalidnogo kresla iz bagazhnogo otseka avtomobilya* [Device for attachment of manipulator for loading and unloading of wheelchair from car luggage compartment device for attachment of manipulator for loading and unloading of wheelchair from car luggage compartment]. *Molodaya nauka*

- Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no.8. [Accessed 01/02.2021].
6. Utility model patent RU 195870 U1 A61G 3/02. *Ustrojstvo dlya krepleniya manipulyatora dlya pogruzki-vygruzki invalidnogo kresla iz bagazhnogo otseka avtomobilya* [Device for attaching a manipulator for loading and unloading a wheelchair from the luggage compartment of a car]. Kruglov S.P., Ivanchenko S.A., published on 07.02.2020, Bulletin 4.
  7. Ivanchenko S.A., Kruglov S.P. *Matematicheskaya model` manipulyatora dlya pogruzkivy`gruzki invalidnogo kresla iz bagazhnogo otseka avtomobilya* [Mathematical model of the manipulator for loading and unloading the wheel seat from the luggage compartment of the car]. *Mo- lodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2020, no. 4. [Accessed 25/05/2021]
  8. K.S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee. *Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence*. New York etc.: McGraw-Hill, Cop. 1987.
  9. Klimchik A.S., Gomolitsky R.I., Furman F.V., Syomkin K.I. *Development of control programs for industrial robots: "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics"*, Minsk 2008.
  10. Borisov O.I., Gromov V.S., Pyrkin A.A. *Management methods for robotic applications: ITMO University, St. Petersburg* 2016.

#### **Информация об авторах**

*Иванченко Степан Александрович* – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [stefanfobos@gmail.com](mailto:stefanfobos@gmail.com)

*Щёкина Виктория Геннадьевна* – студентка кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [shchekina.viktoriya99@mail.com](mailto:shchekina.viktoriya99@mail.com)

*Богданов Радимир Александрович* – студент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [Ra99di13k03cs@mail.com](mailto:Ra99di13k03cs@mail.com)

*Круглов Сергей Петрович* – д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [Kruglov\\_SP@irgups.ru](mailto:Kruglov_SP@irgups.ru).

*Ковыршин Сергей Владимирович* – к.т.н, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [kovyrshin\\_sv@irgups.ru](mailto:kovyrshin_sv@irgups.ru).

#### **Authors**

*Ivanchenko Stepan Aleksandrovich* – postgraduate student of the Subdepartment of “Automation of production processes”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [stefanfobos@gmail.com](mailto:stefanfobos@gmail.com)

*Shchekina Viktoriya Gennadevna* – student of the Subdepartment of “Automation of production processes”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [shchekina.viktoriya99@mail.com](mailto:shchekina.viktoriya99@mail.com)

*Bogdanov Radimir Aleksandrovich* –student of the Subdepartment of “Automation of production processes”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [Ra99di13k03cs@mail.com](mailto:Ra99di13k03cs@mail.com)

*Kruglov Sergey Petrovich* – Doctor of Technical Science, Professor, the Subdepartment of “Automation of production processes”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [Kruglov\\_SP@irgups.ru](mailto:Kruglov_SP@irgups.ru).

*Kovyrshin Sergey Vladimirovich* – k.t.n., docent of the Subdepartment of “Automation of production processes”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [kovyrshin\\_sv@irgups.ru](mailto:kovyrshin_sv@irgups.ru).



### Для цитирования

Иванченко С. А. Уточнение математической модели манипулятора для загрузки-выгрузки инвалидного кресла в багажник автомобиля [Электронный ресурс] / С.А. Иванченко, В.Г. Щёкина, Р.А. Богданов, С.П. Круглов, С.В. Ковыршин // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – № 1(11) 2021. – Режим доступа: <https://mnv.irkgups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 07.06.2021).

### For citation

Ivanchenko S.A., Shchekina V.G., Bogdanov R.A., Kruglov S.P., Kovyrshin S.V. *Ytochnenie matematicheskoy modeli manipulyatora dlya zagruzki-vy`gruzki invalidnogo kresla v avtomobilya* [Mathematical model of the manipulator for loading and unloading the wheel seat from the luggage compartment of the car]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 1. [Accessed 07.06.21]