

С.А. Иванченко, С.П. Круглов

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

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ПОГРУЗКИ-ВЫГРУЗКИ ИНВАЛИДНОГО КРЕСЛА ИЗ БАГАЖНОГО ОТСЕКА АВТОМОБИЛЯ

Аннотация. В ходе работы над проектом манипулятора для погрузки инвалидного кресла в багажный отсек автомобиля была решена прямая расширенная задача кинематики, связывающая угловую ориентацию и положение в пространстве переносимого инвалидного кресла в зависимости от отработки силовых приводов [1]. Однако, важным этапом является верификация полученных результатов с использованием виртуальной модели манипулятора созданной в среде автоматизированного проектирования SOLIDWORKS.

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

S.A. Ivanchenko S.A., S.P. Kruglov,

¹ *Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

DIRECT KINEMATICS SOLUTION VERIFICATION OF MANIPULATOR FOR TRANSFERRING WHEELCHAIR FROM BACK COMPARTMENT OF THE CAR

Abstract. In the course of work on the project of a manipulator for loading a wheelchair into the luggage compartment of a car, a direct extended kinematics problem was solved that relates the angular orientation and position in space of a portable wheelchair depending on the development of power drives [1]. However, an important step is the verification of the results obtained using a virtual model of a manipulator created in the SOLIDWORKS CAD environment.

Key words: Manipulator, wheelchair, kinematic relations, Denavit-Hartenberg representation, SolidWorks.

Введение

В ходе работы над проектом манипулятора для погрузки инвалидного кресла в багажный отсек автомобиля была решена прямая расширенная задача кинематики с использованием представления Денавита-Хартенберга [1], связывающая угловую ориентацию и положение в пространстве переносимого инвалидного кресла в зависимости от отработки силовых приводов. Для решения последующей обратной задачи кинематики и создания полной математической модели требуется произвести верификацию выполненных расчетов. Для оценки корректности полученных результатов прямой задачи кинематики используются различные подходы и программные пакеты [2-8]. Проверка полученных результатов была произведена посредством сравнения положения O_i системы координат виртуальной уточненной модели манипулятора, спроектированной в среде SolidWorks, с координатами, полученными при расчете вектора сдвига Px_i, Py_i, Pz_i (формула 2,[9]).

Созданная виртуальная модель соответствует упрощенной кинематической схеме манипулятора в горизонтально разложенном положении (рис.3[9]) и представлена на рис.1.

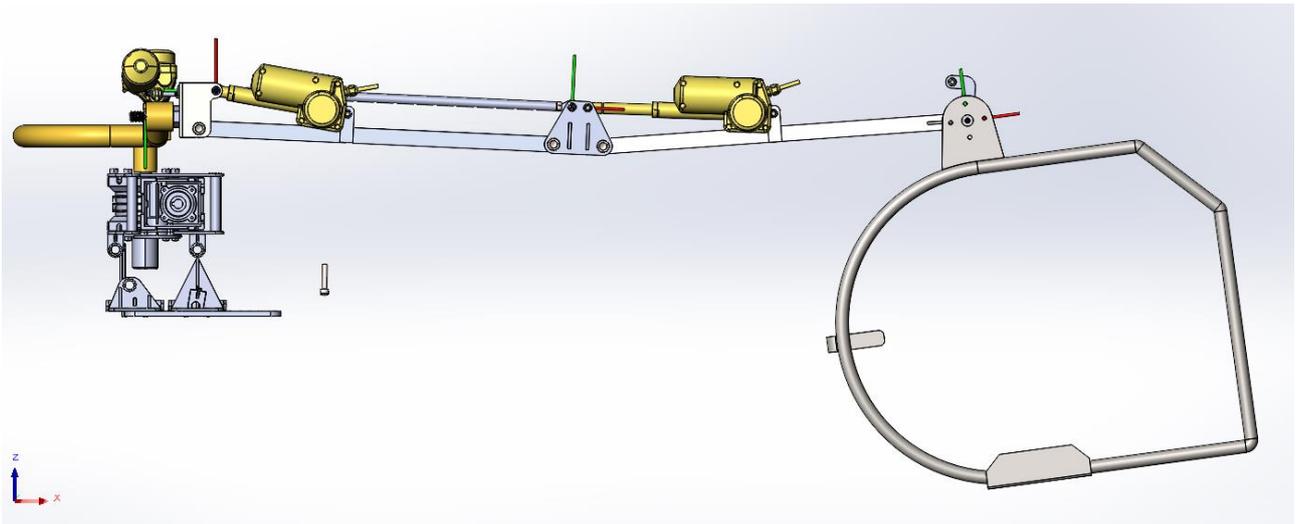


Рис.1. Виртуальная модель манипулятора в разложенном виде

Значения присоединенных переменных θ_i и длины выдвижения штоков линейных приводов C2–4 в разложенном положении манипулятора представлены на рис.2-5

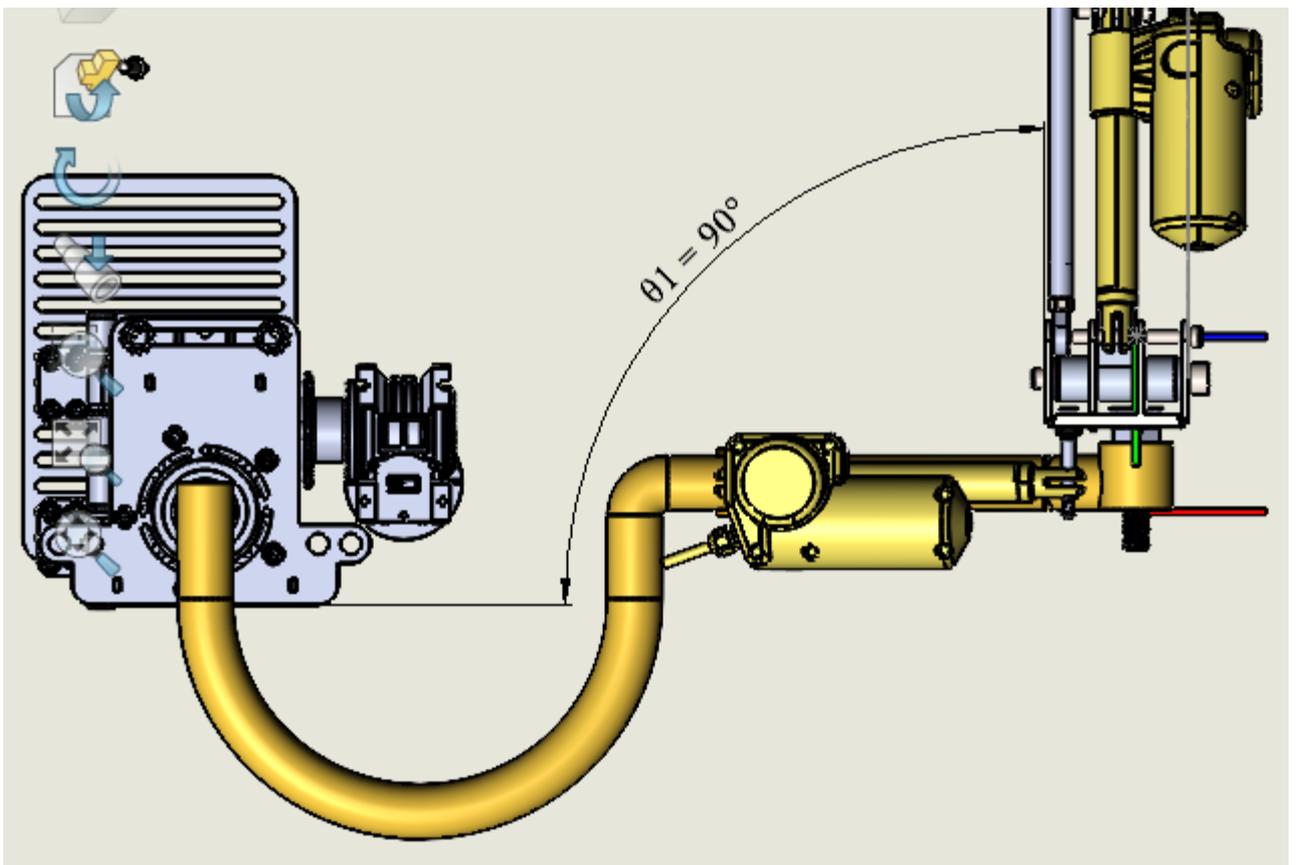


Рис.2. Угол θ_1 в разложенном положении манипулятора

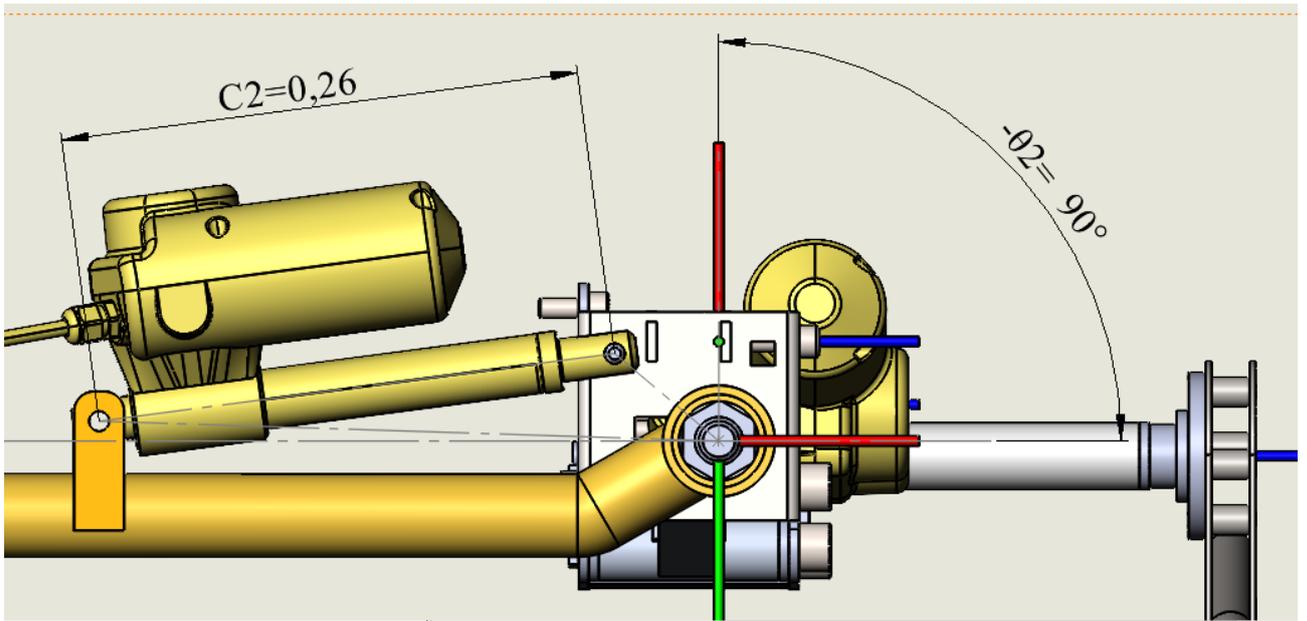


Рис.3. Угол θ_2 в разложенном положении манипулятора

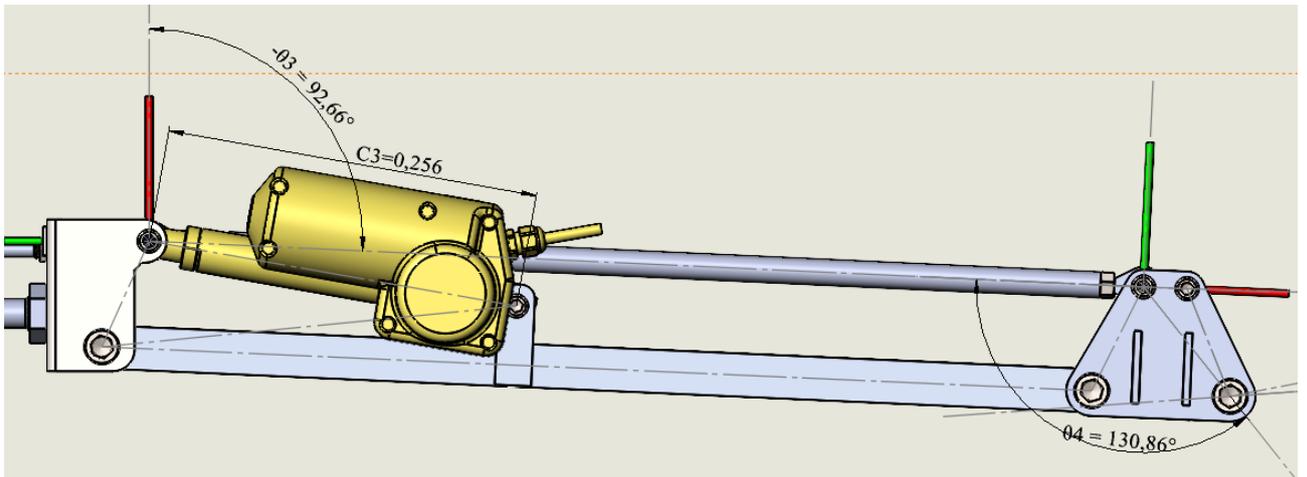


Рис.4. Угол $\theta_{3,4}$ в разложенном положении манипулятора

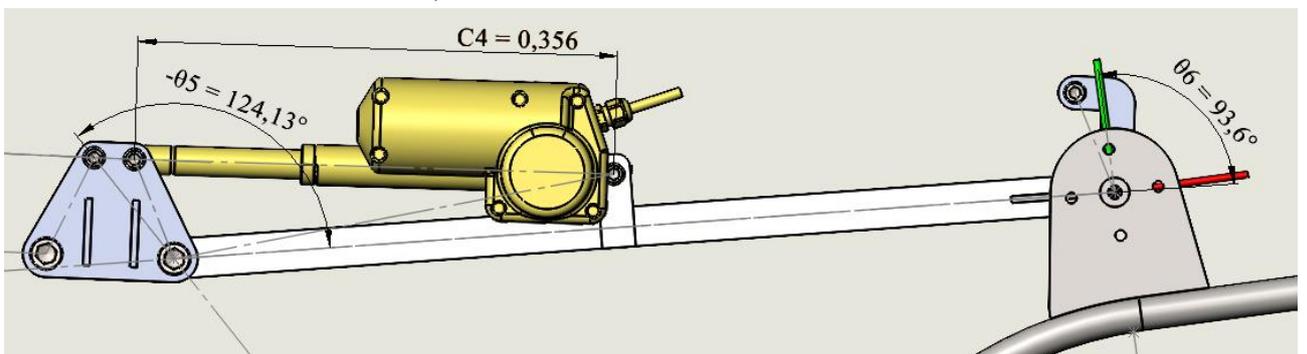


Рис.5. Угол $\theta_{5,6}$ в разложенном положении манипулятора

Результаты подстановки присоединённых переменных θ_i в полученные зависимости векторов сдвига для каждой системы координат (формула 12-22,[9]) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Положение систем координат O_i в отсчетах нулевой системы координат.

$O_i(Ox_i, Oy_i, Oz_i)$, м
$O_1(0, -0.71, 0.37)$
$O_2(0.14, -0.71, 0.42)$
$O_3(0.82, -0.71, 0.39)$
$O_4(0.88, -0.71, 0.31)$
$O_5(1.586, -0.71, 0.358)$
$O_6(1.62, -0.97, -0.03)$

Положения O_i системы координат на виртуальной модели представлено на рис.6-8

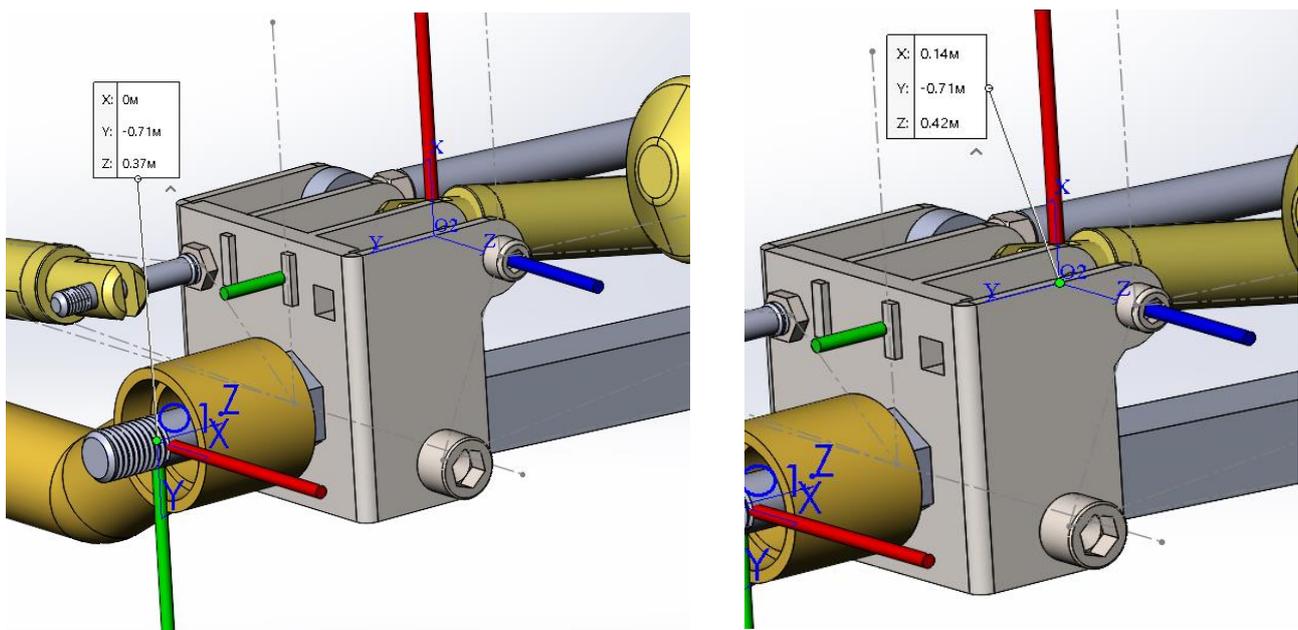


Рис.6. Координаты точек O_1, O_2

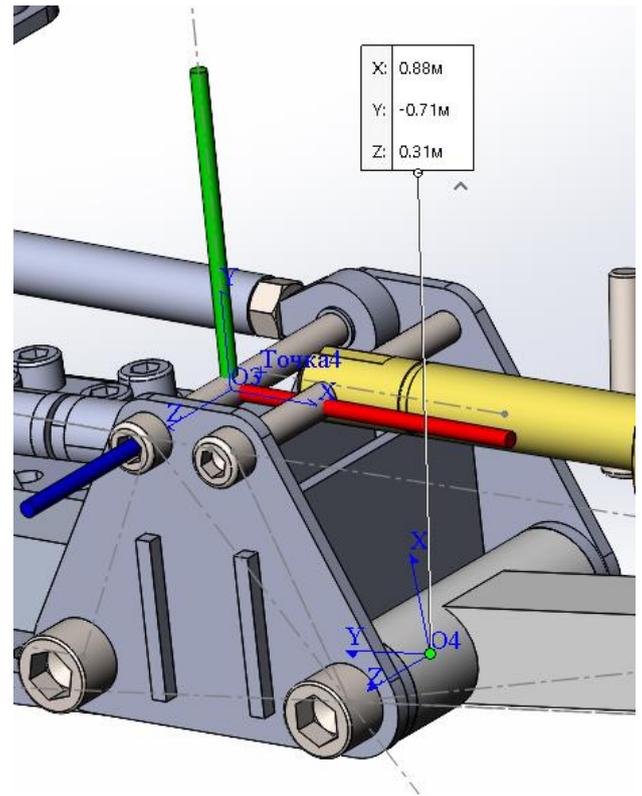
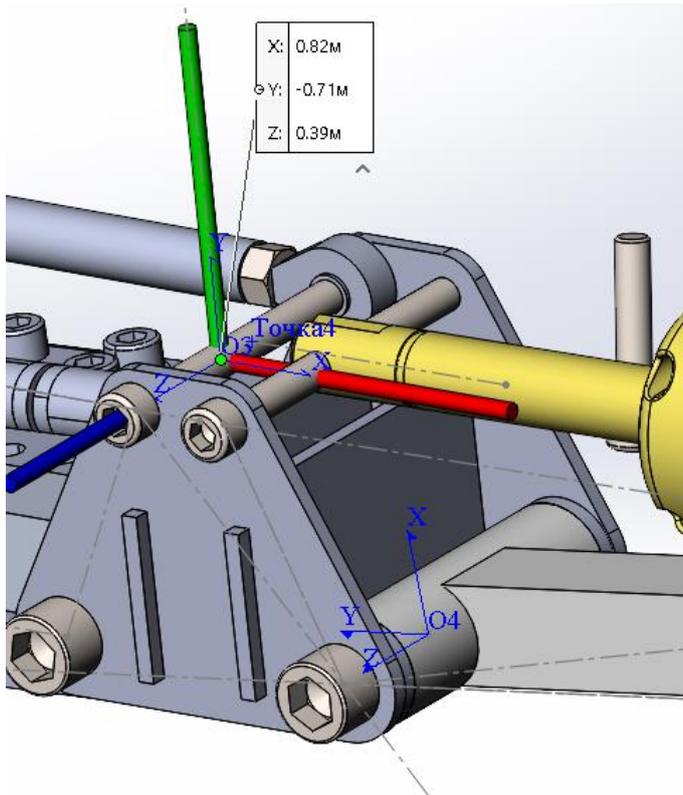


Рис.7. Координаты точек O_3, O_4

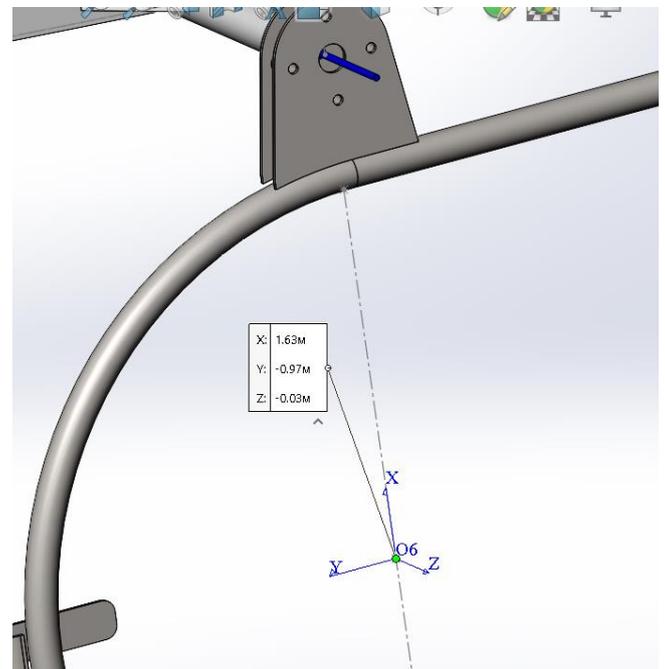
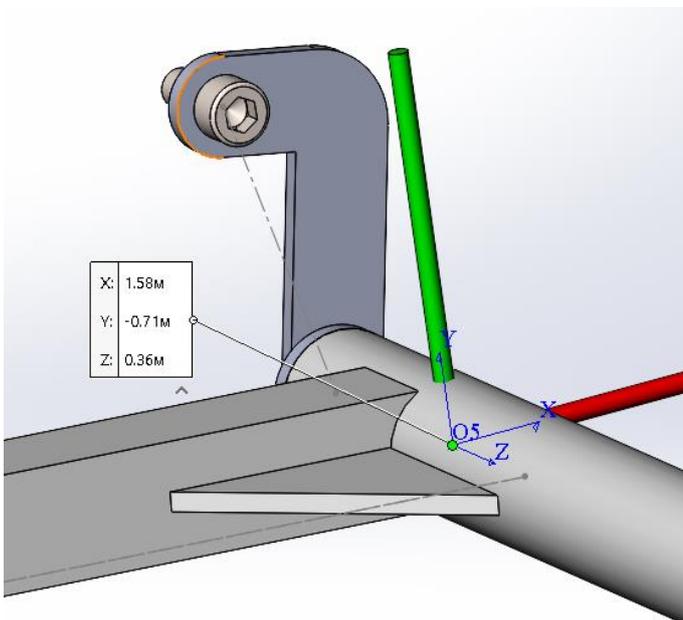


Рис.8. Координаты точек O_5, O_6

Также, были произведены проверки аппроксимационных зависимостей углов поворота θ_i от перемещения штоков линейных приводов $C2-4$ (формула 26,[9]), полученные в ходе предыдущих расчетов в среде Mathcad. Значения углов θ_i при $C2=0.26$ м, $C3=0.256$ м, $C4=0.356$ м (разложенное положение манипулятора) представлены в таблице 2.

Таблица 2. Угол поворота θ_i в зависимости от значений $C2-4$

θ_i , град
$\theta_2 = -89.028$
$\theta_3 = -93.925$
$\theta_4 = 131.981$
$\theta_5 = -122.499$
$\theta_6 = 93.039$

Заключение

Проделанные действия позволили сравнить полученные в ходе расчетов в среде Mathcad координаты точек O_i с аналогичными точками на уточненной виртуальной модели манипулятора в среде автоматизированного проектирования SolidWorks, а также оценить корректность полученных углов поворота θ_i и их зависимостей от величин $C2-4$.

Отклонение рассчитанных параметров с данными виртуальной модели манипулятора являются незначительными и позволяют использовать полученные результаты для дальнейшего решения обратной задачи кинематики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Кирпичников А.Г. Создание программы расчета прямой и обратной задачи кинематики для робота манипулятора: магистерская диссертация по направлению подготовки [Электронный ресурс] / Кирпичников А.Г. // Электронная библиотека Томского государственного университета – 2019. – Режим доступа: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:9144> (дата обращения 13.11.2022)
3. Пащенко Василий Николаевич, Романов Алексей Викторович, Артемьев Артём Валентинович, Меньшова Екатерина Вадимовна, Логинов Никита Алексеевич, Решение прямой задачи о положении шестистепенного манипулятора параллельной структуры на базе кривошипно-шатунного механизма [Электронный ресурс] // Электронные информационные системы: науч. журн. – 2017. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32337967_50363442.pdf – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения 13.11.2022).
4. 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.irkups.ru/toma/410-2020>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 25.05.2021).
5. 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.irkups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 07.06.2021). 9 с.
6. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
7. 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.
8. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями: «Университет ИТМО», Санкт-Петербург 2016.
9. Круглов С.П., Иванченко С.А., Ковыршин С.В. Решение прямой расширенной задачи кинематики для манипулятора инвалидного кресла [Электронный ресурс] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. электротехника, информационные технологии, системы управления: электрон. науч.журн. No.41.2022 –2022.–. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48707454>., г.Пермь

REFERENCES

1. Klimchik A.S., Gomolitsky R.I., Furman F.V., Semkin K.I. Development of control programs of industrial robots: "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", Minsk 2008.
2. Kirpichnikov A.G. Creating a program for calculating direct and inverse kinematics problem for a robot manipulator: master's thesis on the direction of training [Electronic resource] / Kirpichnikov A.G. // Electronic Library of Tomsk State University - 2019. - Mode of access: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:9144> (date of reference 13.11.2022)
3. Paschenko Vasily Nikolaevich, Romanov Alexei Viktorovich, Artem Valentinovich Artemiev, Menshova Ekaterina Vadimovna, Loginov Nikita Alexeevich, Solving the direct problem about the position of a six-step parallel-structure manipulator based on a crank mechanism [Electronic resource] // Electronic Information Systems: scientific journal. - 2017. - Access mode: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_32337967_50363442.pdf -Logged from the screen. - Russian, English (date of accession 13.11.2022).
4. Ivanchenko S.A. Mathematical model of a manipulator for loading-unloading of a wheelchair from the luggage compartment of a car [Electronic resource] / S.A. Ivanchenko, S.P. Kruglov // Young science of Siberia: electronic scientific journal. - 2020. - No.4 Access mode: <https://mnv.ircgups.ru/toma/410-2020>, free. - (in Russian). - Russian, English. (date of accession: 25.05.2021).
5. Ivanchenko S.A. Refinement of mathematical model of manipulator for loading-unloading of wheelchair in the car trunk [Electronic resource] / S.A. Ivanchenko, V.G. Shchekina, R.A. Bogdanov, S.P. Kruglov, S.V. Kovyrrshin // Young science of Siberia: electronic scientific journal. - № 1(11) 2021. - Access mode: <https://mnv.ircgups.ru/toma/111-2021>, free. - (in Russian). - Russian, English. (date of accession: 07.06.2021). 9 с.
6. Fu K., Gonzalez R., Lee K. Robotics: Translated from English - Moscow: World, 1989. - 624 с.
7. Klimchik A.S., Gomolitsky R.I., Furman F.V., Semkin K.I. Development of control programs of industrial robots: "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", Minsk 2008.
8. Borisov O.I., Gromov V.S., Pyrkin A.A. Control methods for robotic applications: "ITMO University", St. Petersburg 2016.
9. Kruglov S.P., Ivanchenko S.A., Kovyrrshin S.V. Solution of direct extended kinematics problem for wheelchair manipulator [Electronic resource] // Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. electrical engineering, information technology, control systems: electronic scientific journal No.41.2022 -2022.-. Access mode: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48707454>., Perm

Информация об авторах

Круглов Сергей Петрович – д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Kruglov_SP@ircgups.ru.

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

Authors

Kruglov Sergey Petrovich – Doctor of Technical Science, Professor, the Subdepartment of “Automation of production processes”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Kruglov_SP@ircgups.ru.

Ivanchenko Stepan Aleksandrovich – postgraduate student of the Subdepartment of “Automation of production processes”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: barrier.free.irkutsk@gmail.com