

Вестник Череповецкого государственного университета. 2024. № 3 (120). С. 34–45.  
Cherepovets State University Bulletin, 2024, no. 3 (120), pp. 34–45.

Научная статья

УДК: 519.876.5:62-231

<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-3>

EDN: XUPSKV

### Моделирование работы робота-манипулятора по укладке и выгрузке посылок

Людмила Геннадьевна Егорова<sup>1✉</sup>, Александр Николаевич Калитаев<sup>2</sup>,  
Оксана Сергеевна Логунова<sup>3</sup>, Дмитрий Анатольевич Панов<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова  
Магнитогорск, Россия

<sup>1</sup>egorov-lyudmil@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8763-9653>

<sup>2</sup>alex\_mgtu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5984-967X>

<sup>3</sup>logunova66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>

<sup>4</sup>dimamgn74@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-0399-1527>

**Аннотация.** В работе описаны специализированные среды, предназначенные для робототехнических систем, их функциональные возможности, особенности и инструменты. На основании анализа текущего состояния проблемы компьютерного моделирования сформулированы требования к разрабатываемой модели технологического процесса укладки и выгрузки посылок. Согласно установленным требованиям спроектирована архитектура разрабатываемой имитационной модели. Описана кинематическая структура промышленного робота-манипулятора KUKA youBot, необходимая для построения математической модели. Приведены компоненты модели процессов укладки и выгрузки посылок в соответствии со спроектированной архитектурой.

**Ключевые слова:** модель, моделирование, робот-манипулятор, робототехника, технологический процесс

**Для цитирования:** Егорова Л. Г., Калитаев А. Н., Логунова О. С., Панов Д. А. Моделирование работы робота-манипулятора по укладке и выгрузке посылок // Вестник Череповецкого государственного университета. 2024. № 3 (120). С. 34–45. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-3>; EDN: XUPSKV

## Simulating the operation of a robotic manipulator for packing and unloading parcels

Lyudmila G. Egorova<sup>1✉</sup>, Alexander N. Kalitaev<sup>2</sup>,  
Oksana S. Logunova<sup>3</sup>, Dmitry A. Panov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Nosov Magnitogorsk State Technical University

Magnitogorsk, Russia

<sup>1</sup> egorov-lyudmil@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8763-9653>

<sup>2</sup> alex\_mgtu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5984-967X>

<sup>3</sup> logunova66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>

<sup>4</sup> dimamgn74@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-0399-1527>

**Abstract.** The work describes specialized environment designed for robotic systems, their functionality, features and tools. The work formulates the requirements for the developed model of the technological process related to packing and unloading parcels. The architecture of the developed simulation model was designed according to the established requirements. The paper describes the kinematic structure of the industrial robot manipulator KUKA youBot. This structure is necessary to build a mathematical model. The work presents the components of a model for the processes of packing and unloading parcels in accordance with the designed architecture.

**Keywords:** model, simulation, robot manipulator, robotics, technological process

**For citation:** Egorova L. G., Kalitaev A. N., Logunova O. S., Panov D. A. Simulating the operation of a robotic manipulator for packing and unloading parcels. *Cherepovets State University Bulletin*, 2024, no. 3 (120), pp. 34–45 (In Russ.). <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2024-3-120-3>; EDN: XUPSKV

### Введение

В настоящее время в автоматизированных технологических системах, как и в других областях, активно используются роботы. В процессе моделирования работы роботов используется математический аппарат и вычислительные возможности современных компьютеров. Это сокращает технологические риски в процессе создания роботизированных комплексов и вероятность выхода робототехнической системы из строя при дальнейшей эксплуатации.

Одной из нерешенных до настоящего времени проблем комплексной автоматизации, обработки посылок в объектах почтовой связи и штучных грузов в складской логистике остается создание автоматизированных устройств загрузки посылок в контейнер и выгрузки посылок из контейнера, а также перемещения штучных грузов, по форме близких к параллелепипеду, между рабочими местами их обработки. При загрузке и выгрузке почтовых посылок работнику приходится поднимать, перекантовывать, опускать и позиционировать до 400 кг груза. Очень часто на таких операциях заняты женщины, поэтому решение этой проблемы имеет социальный эффект. На ранних стадиях проектирования роботизированного комплекса по укладке и выгрузке посылок в условиях недостатка информации актуальным является моделирование работы робота-манипулятора. Моделирование работы робота-манипулятора является важной задачей при проектировании роботизированных комплексов укладки и выгрузки посылок.

На современном рынке программного обеспечения представлены разнообразные средства моделирования роботизированных комплексов. В этих системах с помощью современных технологий моделируются сложные объекты. Технологии моделирования включают в себя графические среды и пакеты визуального моделирования, позволяющие создавать многоуровневые структурные модели исследуемых объектов в графических терминах.

### **Основная часть**

Для моделирования робототехнических систем существуют программные продукты, которые позволяют создавать высокоточные симуляции работы роботов. Самые популярные программные решения, имеющие большой функционал, – RoboDK, MATLAB Simulink, Gazebo и V-REP. Эти программные комплексы обладают широкими возможностями для моделирования роботов различного типа. Одним из преимуществ этих программных решений является возможность легкого масштабирования.

Gazebo – это динамический 3D-симулятор с возможностью точного и эффективного моделирования роботов в сложных внутренних и наружных условиях. Симулятор Gazebo предлагает физическое моделирование с высокой степенью точности, набор датчиков и интерфейсы как для пользователей, так и для программ.

Несмотря на то, что симулятор был выпущен в 2002 г., по сегодняшний день для Gazebo регулярно разрабатываются дополнительные надстройки, инструменты и фреймворки такие, как:

1. Open-VICO – набор инструментов Gazebo с открытым исходным кодом для многокамерного отслеживания скелета в совместной работе человека и робота.
2. GzScenic – автоматическое создание сцен для симулятора Gazebo.
3. ROSgeoregistration – имитатор многоспектральных аэрофотоснимков для операционной системы роботов.

V-REP – это автономная среда, которая позволяет моделировать сложное динамическое поведение, такое как столкновение двух сложных форм. Тренажер был разработан специально для роботизированных систем. Функционал V-REP позволяет создавать сцены и модели роботов с управляемыми двигателями и датчиками, а также получать изображение с виртуальной камеры. Наравне с традиционными подходами к моделированию, которые есть и в других тренажерах, V-REP добавляет несколько дополнительных подходов. Среда V-REP состоит из функциональных модулей различного назначения. Эти модули, по мере их использования, могут быть включены или выключены. Среда V-REP обладает большим функционалом для моделирования процесса работы робота, который может забирать и перемещать ящики. Система вычисляет динамику захвата и удержания ящика, а для других частей производственного цикла, когда динамические эффекты пренебрежимо малы, выполняет кинематическое моделирование. При таком подходе возможен быстрый и точный расчет движения промышленного робота, без использования сложных динамических библиотек. В системе V-REP используется гибридное моделирование, которое может быть оправдано в том случае, когда робот жестко зафиксирован и на него не влияет окружение. V-REP часто используется при моделировании человекоподобно-

го робота. На сегодняшний день среда моделирования V-REP редко обновляется разработчиками, в результате чего является непопулярным инструментом для исследований в области моделирования робототехнических систем<sup>1</sup>.

RoboDK — это программное обеспечение для программирования, моделирования и симуляции работы промышленных роботов. Среда моделирования RoboDK можно использовать для различных производственных процессов: фрезерование, сварка, захват и размещение, упаковка и маркировка, укладка на поддоны, покраска, калибровка роботов и мн. др. Программное обеспечение RoboDK имеет обширную библиотеку роботов от различных производителей, включая ABB, Fanuc, KUKA, Motoman, HwashiRobots и Universal Robots. RoboDK API позволяет создавать симуляции для промышленных роботов, конкретных механизмов и генерировать программы для роботов для конкретных поставщиков. С помощью RoboDK API для Python можно моделировать и программировать любого промышленного робота с использованием языка программирования Python. API RoboDK доступен для Python, C#, Visual Basic, C++ и Matlab. API RoboDK позволяет расширить функционал контроллера робота, используя универсальный язык программирования. Тот же сценарий, который используется для моделирования, можно использовать для программирования робота в автономном режиме. Это означает, что на контроллере робота будет автоматически сгенерирована программа для воспроизведения движений робота. RoboDK поддерживает большое количество контроллеров роботов и с помощью постпроцессоров позволяет легко обеспечить совместимость с новыми контроллерами. Большое количество научных исследований и разработок проводится с применением RoboDK<sup>2</sup>:

1. Онлайн-планирование / перепланирование движения с обратной связью в динамических средах с использованием инвариантных воронок.
2. Демонстрация прямой и обратной кинематики с использованием RoboDK и C#.
3. Преобразование позиции шарнирных соединений RoboDK в MATLAB<sup>3</sup>.

MATLAB – высокоуровневый интерпретируемый язык программирования, который включает пакет прикладных программ и интегрированную среду для разработки и выполнения инженерных и математических расчетов. MATLAB позволяет работать с матричными данными, визуализировать функции и данные, реализовывать

---

<sup>1</sup> Pandey A., Panwar V. S., Hasan Md. E., Parhi D. R. V-REP-based navigation of automated wheeled robot between obstacles using PSO-tuned feedforward neural network // Journal of Computational Design and Engineering. 2020. Vol. 7, is. 4. P. 427–434; Olivares-Mendez M. A., Kannan S., Voos H. Vision based fuzzy control autonomous landing with UAVs: From V-REP to real experiments // 23<sup>rd</sup> Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) (July 16, 2015). Torremolinos: IEEE, 2015. P. 14–21.

<sup>2</sup> Chakraborty S., Aithal P. S. Forward and Inverse Kinematics Demonstration using RoboDK and C# // International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML). 2021. Vol. 5, no. 1. P. 97–105.

<sup>3</sup> Salihović I., Škamo A., Jokić D. RoboDK to MATLAB Joint Position Transformation // 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE). (September 13–15, 2021, Rzeszow, Poland). IEEE, 2021. P. 1–6.

различные алгоритмы работы с данными, создавать пользовательские интерфейсы, а также взаимодействовать с программами, написанными на различных языках программирования.

Simulink – это среда, предназначенная для моделирования линейных и нелинейных динамических систем. Simulink основан на принципах визуально ориентированного программирования, в котором используются модели в виде комбинаций компонентов-блоков. Среда Simulink имеет много различных возможностей, начиная от функционального представления устройства и до генерирования кодов, используемых для программирования микропроцессоров. Simulink интегрирован с MATLAB, что позволяет использовать алгоритмы MATLAB в модели и экспортировать результаты моделирования в MATLAB для дальнейшей работы и анализа. При работе с роботами моделирование и симуляция в MATLAB Simulink позволяют быстро создавать прототипы алгоритмов и тестировать сценарии, имитируя поведение реальных систем. Эти функции предоставляют кинематические модели как для манипуляторов, так и для мобильных роботов при моделировании их движения. Набор инструментов также поддерживает синхронизированное пошаговое выполнение Simulink с Gazebo для разработки алгоритмов робототехники с физическим моделированием.

В пакете MATLAB существует настройка Robotics System Toolbox. Robotics System Toolbox – это набор инструментов и алгоритмов для проектирования, моделирования, тестирования и развертывания приложений манипулятора и различных мобильных роботов. Для манипуляторов в Robotics System Toolbox включен набор инструментов: алгоритмы проверки столкновений, планирование пути, генерация траектории, прямая и обратная кинематика и динамика с использованием представления твердого тела. Для мобильных роботов разработаны алгоритмы картографирования, локализации, планирования пути, следования по пути и управления движением. Набор инструментов Robotics System позволяет создавать тестовые сценарии и использовать предоставленные справочные примеры для проверки распространенных промышленных роботизированных приложений. Он также включает библиотеку имеющихся в продаже моделей промышленных роботов, которые можно импортировать, визуализировать, моделировать и использовать с эталонными приложениями.

Каждое рассмотренное программное обеспечение для моделирования робототехнических систем, несмотря на обширные возможности, не является эталонным и содержит ряд недостатков. Учитывая особенности средств моделирования робототехнических систем, разрабатываемая модель процессов укладки и выгрузки посылок должна соответствовать следующим требованиям:

- 1) модель должна содержать функциональный блок имитации работы промышленного робота-манипулятора, обеспечивающий имитацию процесса перемещения посылки из пункта укладки в пункт выгрузки;
- 2) функциональный блок робота в режиме имитации должен реалистично отражать процессы захвата и перемещения посылки;
- 3) компоненты функционального блока робота должны быть цифровыми аналогами реального промышленного робота-манипулятора;

4) модель должна содержать функциональные блоки имитации пунктов укладки и выгрузки посылок;

5) функциональные блоки имитации пунктов укладки и выгрузки посылок должны включать в себя датчики определения наличия посылки.

В качестве среды для реализации имитационной модели выбран инженерный пакет MATLAB. Исходя из функциональных требований, архитектура имитационной модели процессов укладки и выгрузки посылок содержит три функциональных блока:

1) функциональный блок имитации работы промышленного робота-манипулятора;

2) функциональный блок имитации пункта укладки посылок;

3) функциональный блок имитации пункта выгрузки посылок.

Функциональные блоки 2 и 3 включают датчики определения наличия посылки.

Для обеспечения большей реалистичности функциональный блок робота представлен в виде имитационной модели реального промышленного робота youBot производства компании KUKA<sup>1</sup>. Функциональные блоки пунктов укладки и выгрузки посылок представлены в виде двух конвейерных линий. В качестве объекта перемещения, для простоты моделирования, решено использовать посылку кубической формы. Архитектура разрабатываемой имитационной модели представлена на рис. 1.

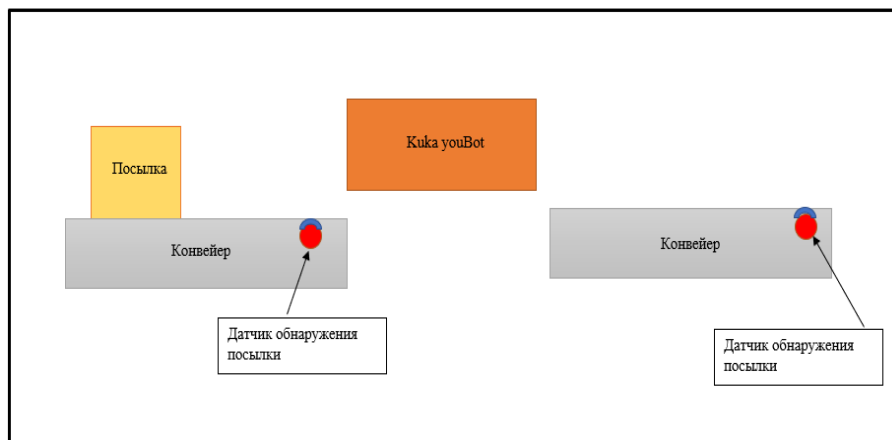


Рис. 1. Архитектура имитационной модели процессов укладки и выгрузки посылок

Основным компонентом разрабатываемой модели является функциональный блок промышленного робота-манипулятора youBot, входящий в состав пакета Simulink MATLAB.

<sup>1</sup> Gordón C., Encalada P., Lema H., León D., Castro C., Chicaiza, D. Intelligent Autonomous Navigation of Robot KUKA youBot // Intelligent Systems and Applications; ed. by Bi Y., Bhatia R., Kapoor S. Springer; Cham: Springer Nature Switzerland, 2019. Vol. 1038. P. 954–967.

KUKA youBot – это мобильный манипулятор, который был разработан в первую очередь для обучения и исследований<sup>1</sup>. KUKA youBot поставляется с полностью открытыми интерфейсами и позволяет разработчикам получать доступ к системе практически на всех уровнях управления оборудованием.

Кроме того, он поставляется с интерфейсом прикладного программирования (KUKA youBot API), с интерфейсами и оболочками для последних роботизированных сред, таких как ROS или OROCOS, с симуляцией с открытым исходным кодом в Gazebo и с некоторым примером кода, демонстрирующего, как запрограммировать KUKA youBot. Платформа и доступное программное обеспечение позволяют пользователю быстро разрабатывать свои собственные мобильные приложения для манипулирования.

Пользователи могут разрабатывать приложения, функциональные возможности которых ограничены только кинематической структурой KUKA youBot, его приводной электроникой и двигателями. Неправильное применение таких приложений может повредить самого робота или другие объекты в его рабочей области, а также нанести вред человеку. KUKA youBot относится к так называемым частично укомплектованным машинам<sup>2</sup>.

Манипулятор KUKA youBot представляет собой последовательную цепь с пятью вращающимися осями. Захватывающее устройство представляет собой съемный захват с двумя пальцами. Для посылок должен применяться вакуумный захват. На рис. 2 показана основная кинематическая структура<sup>3</sup>.

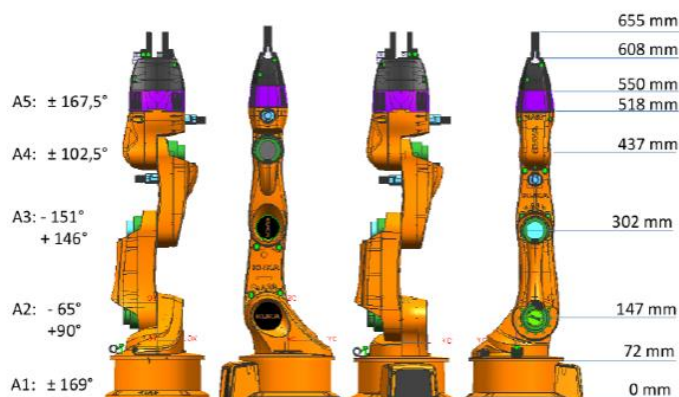


Рис. 2. Кинематическая структура youBot

<sup>1</sup> Kampa A., Gołda G., Konysz D. Design of production systems using computer modelling of human-robot interaction // ModTech International Conference: Modern Technologies in Industrial Engineering IX (June 23–26, 2021, Eforie Nord, Romania). IOP Publishing, 2021. Vol. 1182. P. 012034.

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Мусалимов В. М., Заморуев Г. Б., Калапышина И. И., Перечесова А. Д., Нуждин К. А. Моделирование мехатронных систем в среде MATLAB (Simulink / SimMechanics). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2013. 114 с.

Пять осей вращения модели робота реализуются модулями pivot, bicep, forearm, wrist, gripper, представленными на рис. 3.

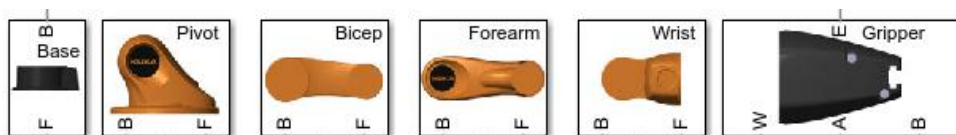


Рис. 3. Функциональные модули youBot

Представленные модули двигаются за счет электрических моделей двигателя, показанных на рис. 4.

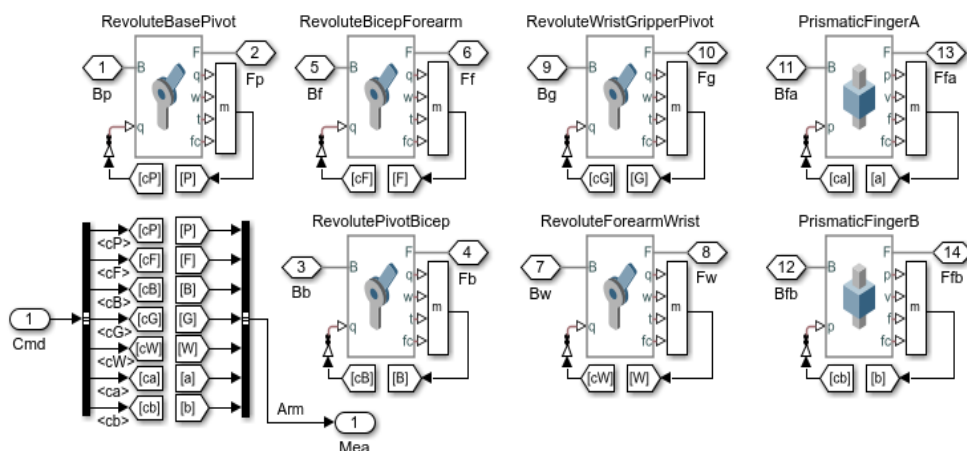


Рис. 4. Блоки управления движением youBot

Блоки настроены на использование заданного движения, где угол для каждой оси вращения робота задается входным сигналом. Эти модули вычисляют крутящий момент, необходимый для создания этого движения. Радиальные и осевые усилия для подшипников двигателя также рассчитываются для каждого соединения. Эта информация полезна для уточнения требований к двигателю, редукторам и механических требований к подшипникам<sup>1</sup>.

Крутящий момент, обеспечиваемый электрической моделью двигателя, приложен к соединению<sup>2</sup>. Скорость вращения электродвигателя и шарнира во время симу-

<sup>1</sup> Константинов Д. В., Корчунов А. Г. Мультимасштабное компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г. И. Носова. 2015. № 1. С. 36–43.

<sup>2</sup> Сагадиев С. Р., Ильина Е. А., Логунова О. С., Кухта Ю. Б., Николаев А. А. Консолидация информации для ассистирующей роботехнической системы: трансформация и визуализация // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2020. Т. 8, № 1. С. 31–37.

Эта подсистема моделирует контроллер двигателя, схему привода двигателя, двигатель, коробку передач и трение в подшипниках двигателя.

Моделирование работы робота-манипулятора является важной задачей при проектировании роботизированных комплексов укладки и выгрузки посылок. В работе рассмотрены программные решения для моделирования робототехнических систем. С учетом особенностей средств моделирования робототехнических систем и установленных требований к работе робота-манипулятора разработана модель процессов укладки и выгрузки посылок.

Модель содержит функциональный блок работы промышленного робота-манипулятора, обеспечивающий имитацию процесса перемещения посылки из пункта укладки в пункт выгрузки. Компоненты функционального блока робота являются цифровыми аналогами реального промышленного робота-манипулятора и включают в себя датчики определения наличия посылки.

Разработанная компьютерная модель процессов укладки и выгрузки посылок представляет собой программный модуль среды MATLAB, позволяющий визуализи-

зировать процессы укладки и выгрузки посылок, а также собирать информацию об изменениях значений параметров робота-манипулятора KUKA youBot.

Полученные результаты могут использоваться при проектировании процессов укладки и выгрузки посылок в объектах почтовой связи и логистических центрах. Разработанная модель может дорабатываться и совершенствоваться с целью охвата большего количества технологических процессов, включающих использование роботов-манипуляторов<sup>1</sup>.

#### **Список источников**

Константинов Д. В., Корчунов А. Г. Мультимасштабное компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением // Вестник Магнитогорского государственного технического университета имени Г. И. Носова. 2015. № 1. С. 36–43.

Логунова О. С., Кухта Ю. Б., Ильина Е. А., Сагадиев С. Р., Николаев А. А., Вознюк М. О. Обработка информации в ассистирующей робототехнической системе: трансформация и визуализация // Вестник Череповецкого государственного университета. 2021. № 1 (100). С. 20–40.

Мусалимов В. М., Заморуев Г. Б., Калапышина И. И., Перечесова А. Д., Нуждин К. А. Моделирование мехатронных систем в среде MATLAB (Simulink / SimMechanics). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2013. 114 с.

Сагадиев С. Р., Ильина Е. А., Логунова О. С., Кухта Ю. Б., Николаев А. А. Консолидация информации для ассистирующей робототехнической системы: трансформация и визуализация // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2020. Т. 8, № 1. С. 31–37.

Chakraborty S., Aithal P. S. Forward and Inverse Kinematics Demonstration using RoboDK and C# // International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML). 2021. Vol. 5, no. 1. P. 97–105.

Gordón C., Encalada P., Lema H., León D., Castro C., Chicaiza, D. Intelligent Autonomous Navigation of Robot KUKA youBot // Intelligent Systems and Applications; ed. by Bi Y., Bhatia R., Kapoor S. Springer; Cham: Springer Nature Switzerland, 2019. Vol. 1038. P. 954–967.

Kampa A., Golda G., Konysz D. Design of production systems using computer modelling of human-robot interaction // ModTech International Conference: Modern Technologies in Industrial Engineering IX (June 23–26, 2021, Eforie Nord, Romania). IOP Publishing, 2021. Vol. 1182. P. 012034.

Olivares-Mendez M. A., Kannan S., Voos H. Vision based fuzzy control autonomous landing with UAVs: From V-REP to real experiments // 23<sup>rd</sup> Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) (July 16, 2015). Torremolinos: IEEE, 2015. P. 14–21.

Pandey A., Panwar V. S., Hasan Md. E., Parhi D. R. V-REP-based navigation of automated wheeled robot between obstacles using PSO-tuned feedforward neural network // Journal of Computational Design and Engineering. 2020. Vol. 7, is. 4. P. 427–434.

---

<sup>1</sup> Логунова О. С., Кухта Ю. Б., Ильина Е. А., Сагадиев С. Р., Николаев А. А., Вознюк М. О. Обработка информации в ассистирующей робототехнической системе: трансформация и визуализация // Вестник Череповецкого государственного университета. 2021. № 1(100). С. 20–40.

Salihović I., Škamo A., Jokić D. RoboDK to MATLAB Joint Position Transformation // 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE). (September 13–15, 2021, Rzeszow, Poland). IEEE, 2021. P. 1–6.

### References

Konstantinov D. V., Korchunov A. G. Mul'timasshtabnoe komp'iuternoe modelirovanie protsessov obrabotki metallov davleniem [Multi-scale computer simulation of metal forming processes]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni G. I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2015, no. 1, pp. 36–43.

Logunova O. S., Kukhta Iu. B., Il'ina E. A., Sagadiev S. R., Nikolaev A. A., Vozniuk M. O. Obrabotka informatsii v assistiruiushchei robototekhnicheskoi sisteme: transformatsiia i vizualizatsiia [Information processing in the assisting robotechnical system: transformation and visualization]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta* [Cherepovets State University Bulletin], 2021, no. 1 (100), pp. 20–40.

Musalimov V. M., Zamoruev G. B., Kalapyshina I. I., Perechesova A. D., Nuzhdin K. A. *Modelirovanie mekhatronnykh sistem v srede MATLAB (Simulink / SimMechanics)* [Modelling of mechatronic systems in MATLAB environment (Simulink / SimMechanics)]. St Petersburg: Sankt-Peterburgskii natsional'nyi issledovatel'skii universitet informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki, 2013. 114 p.

Sagadiev S. R., Il'ina E. A., Logunova O. S., Kukhta Iu. B., Nikolaev A. A. Konsolidatsiia informatsii dlia assistiruiushchei robotekhnicheskoi sistemy: transformatsiia i vizualizatsiia [Consolidation of information for assisting robotechnical system: transformation and visualization]. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoi i sotsial'noi sferakh* [Software of systems in the industrial and social fields], 2020, Vol. 8, no. 1, pp. 31–37.

Chakraborty S., Aithal P. S. Forward and Inverse Kinematics Demonstration using RoboDK and C#. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML)*, 2021, vol. 5, no. 1, pp. 97–105.

Gordón C., Encalada P., Lema H., León D., Castro C., Chicaiza, D. Intelligent Autonomous Navigation of Robot KUKA youBot. *Intelligent Systems and Applications*; ed. by Bi Y., Bhatia R., Kapoor S. Springer; Cham: Springer Nature Switzerland, 2019, vol. 1038, pp. 954–967.

Kampa A., Gołda G., Konysz D. Design of production systems using computer modelling of human-robot interaction. *ModTech International Conference: Modern Technologies in Industrial Engineering IX (June 23–26, 2021, Eforie Nord, Romania)*. IOP Publishing, 2021, vol. 1182, p. 012034.

Olivares-Mendez M. A., Kannan S., Voos H. Vision based fuzzy control autonomous landing with UAVs: From V-REP to real experiments. *23<sup>rd</sup> Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) (July 16, 2015)*. Torremolinos: IEEE, 2015, pp. 14–21.

Pandey A., Panwar V. S., Hasan Md. E., Parhi D. R. V-REP-based navigation of automated wheeled robot between obstacles using PSO-tuned feedforward neural network. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2020, vol. 7, iss. 4, pp. 427–434.

Salihović I., Škamo A., Jokić D. RoboDK to MATLAB Joint Position Transformation. 2021 Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE). (September 13–15, 2021, Rzeszow, Poland). IEEE, 2021, pp. 1–6.

### Сведения об авторах

Людмила Геннадьевна Егорова – кандидат технических наук, доцент;  
<https://orcid.org/0000-0002-8763-9653>, [egorov-lyudmil@yandex.ru](mailto:egorov-lyudmil@yandex.ru), Магнитогорский государ-

ственный технический университет имени Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Lyudmila G. Egorova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-8763-9653>, [egorov-lyudmil@yandex.ru](mailto:egorov-lyudmil@yandex.ru), Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, pr. Lenina, 455000 Magnitogorsk, Russia).

**Александр Николаевич Калитаев** – кандидат технических наук, доцент; <https://orcid.org/0000-0002-5984-967X>, [alex\\_mgtu@mail.ru](mailto:alex_mgtu@mail.ru), Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Alexander N. Kalitaev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-5984-967X>, [alex\\_mgtu@mail.ru](mailto:alex_mgtu@mail.ru), Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, pr. Lenina, 455000 Magnitogorsk, Russia).

**Оксана Сергеевна Логунова** – доктор технических наук, профессор; <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>, [logunova66@mail.ru](mailto:logunova66@mail.ru), Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Oksana S. Logunova** – Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-7006-8639>, [logunova66@mail.ru](mailto:logunova66@mail.ru), Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, pr. Lenina, 455000 Magnitogorsk, Russia).

**Дмитрий Анатольевич Панов** – старший лаборант; <https://orcid.org/0009-0002-0399-1527>, [dimamgn74@gmail.com](mailto:dimamgn74@gmail.com), Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (д. 38, пр-т Ленина, 455000 Магнитогорск, Россия); **Dmitry A. Panov** – Senior Laboratory Assistant, <https://orcid.org/0009-0002-0399-1527>, [dimamgn74@gmail.com](mailto:dimamgn74@gmail.com), Nosov Magnitogorsk State Technical University (38, ul. Lenina, 455000 Magnitogorsk, Russia).

**Заявленный вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.11.2023; одобрена после рецензирования 12.03.2024; принята к публикации 26.03.2024.

The article was submitted 30.11.2023; Approved after reviewing 12.03.2024; Accepted for publication 26.03.2024.