

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-95-104

\*Чуев К.В., Дуюн И.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

\*E-mail: kirill.chuev@gmail.com

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОТОТИПА

**Аннотация.** В статье представлена методика имитационного моделирования кинематических и динамических параметров робота-манипулятора модели KUKA KR 6 R900-2. Моделирование выполнено с использованием виртуального прототипа робота, спроектированного в системе автоматизированного проектирования КОМПАС 3-D и экспортированного в программный комплекс MSC Adams. Прототип робота представлен идеализированными деталями, соответствующими реальным звеньям конструкции. Сочленения звеньев реализованы шарнирными соединениями. Исследованы различные варианты отработки роботом заданной траектории движения при варьировании угловой скорости его поворотов и приложенной нагрузки потенциального груза: максимальная скорость при максимальной массе груза, номинальная скорость при номинальной массе груза и минимальная скорость при минимальной массе груза. Заданная траектория движения разбита на отдельные этапы, в каждом из которых при моделировании прикладывался определенный комплект рабочих нагрузок. Моделирование осуществлялось в трехкоординатном пространстве. Результатом моделирования являются кинематические параметры, такие как перемещение, скорость, ускорение и динамические параметры – моменты в шарнирах робота. Полученные результаты позволяют выполнить сравнительный анализ действующих нагрузок на различных этапах траектории, выявить неблагоприятные условия, такие как критические пиковые значения ускорений и возникающих моментов сил.

**Ключевые слова:** робот манипулятор, моделирование, виртуальный прототип, кинематические и динамические характеристики.

**Введение.** Широкое внедрение в различные типы производств роботов-манипуляторов связано с необходимостью замены человеческого труда на технологических этапах, требующих однотипных движений, таких как перемещение грузов, с целью повышения производительности и снижения риска ошибок в связи с утомляемостью исполнителя. Особенно актуально внедрение роботов-манипуляторов там, где требуется обеспечить высокую скорость перемещения объекта, его точное позиционирование в пространстве и стабильное во времени повторение циклов рабочих движений. При определении требуемого пространственного положения исполнительного звена робота необходимо обеспечить ряд условий и учесть накладываемые ограничения. Перемещаемый роботом объект должен двигаться с

заданной скоростью, иметь определенную точность позиционирования, а его траектория должна учитывать возможность столкновения с другими производственными объектами. Важным моментом являются также кинематические и динамические характеристики самого робота, возникающие под действием рабочих нагрузок при выполнении функциональных задач. Вопросы оптимизации траектории движения и ее моделирования исследуются рядом авторов и являются актуальной задачей [1–12].

**Основная часть.** В качестве исследуемого объекта выбран робот-манипулятор KUKA KR 6 R900-2. Данная модель представляет собой компактную шестиосевую конструкцию (рис. 1), рассчитанную на максимальную скорость работы, технические характеристики представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1

### Технические характеристики робота-манипулятора KUKA KR 6 R900-2

Максимальный рабочий радиус	901 мм
Максимальная грузоподъемность	6,7 кг
Стабильность повторяемости позиций (ISO 9283)	± 0,02 мм
Количество осей	6
Площадь установки	208×208 мм
Вес	55 кг

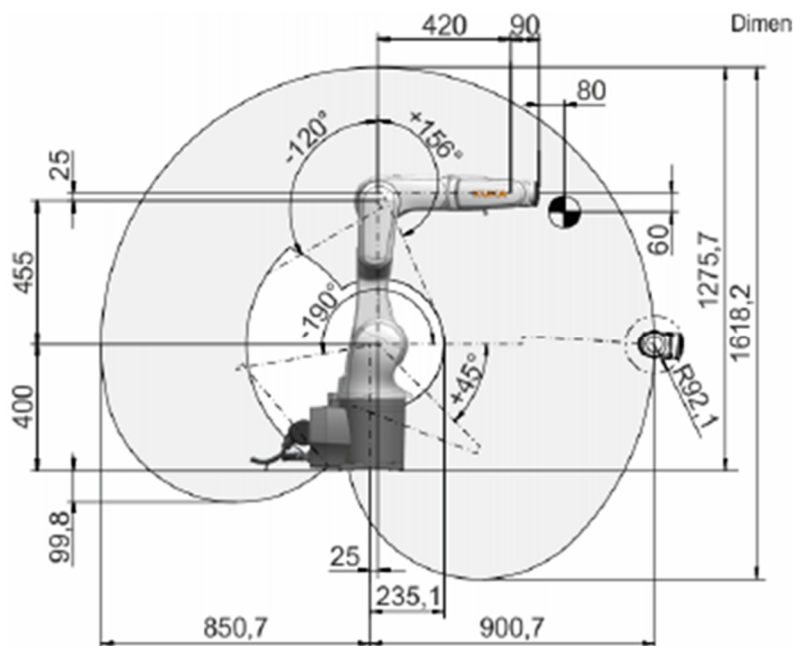


Рис. 1. Рабочая зона робота-манипулятора KUKA KR6 R900 sixx

Таблица 2

**Диапазон перемещений и максимально возможная скорость по осям робота-манипулятора KUKA KR 6 R900-2**

Ось	Диапазон перемещений	Максимальная скорость при номинальной нагрузке (3 кг)
1	+/- 170°	360 °/с
2	+ 45° до -190°	300 °/с
3	+156° до -120°	360 °/с
4	+/-185°	381 °/с
5	+/- 120°	388 °/с
6	+/- 350°	615 °/с

Виртуальный прототип робота-манипулятора, представленный на рис.2, создан в системе автоматизированного проектирования КОМПАС 3-D и состоит из 6 идеализированных деталей (table\_0, forearm\_1, shoulder\_2, elbow\_3, wrist\_4, brush\_5), соответствующих звеньям робота: от основания (table\_0) до исполнительного конечного звена (brush\_5). Отдельные детали сопряжены друг с другом при помощи команд позиционирующего сопряжения (соосность/ параллельность/ совпадение). Массы и моменты инерции определены автоматически в системе. Созданная модель экспортирована в программный комплекс MSC Adams для дальнейшего имитационного моделирования кинематических и динамических параметров, характеризующих эксплуатационные условия под действием рабочих нагрузок.

Модель манипулятора расположена в трёхмерном координатном виртуальном пространстве: ось  $OZ$  направлена вертикально вверх и совпадает с осью вращения манипулятора, ось  $OX$  перпендикулярна оси  $OZ$  и направлена вдоль оси вращения конечного звена, ось  $OY$  направлена по

правилу левой руки. Для фиксации основания робота звено table\_0 лишено всех степеней свободы с использованием команды FixedJoint. Конструктивные сопряжения звеньев робота реализованы шарнирными соединениями типа RevolutionJoint. Для имитации рабочих нагрузок к шарнирам table\_0–forearm\_1, forearm\_1–shoulder\_2 и shoulder\_2–elbow\_3 посредством команды RevolutionJointMotion приложены скорости вращения, заданные при помощи шаговой функции STEP. В качестве внешних сил приложены: сила тяжести  $G$ , направленная вертикально вниз (по оси  $OZ$ ), и вес предполагаемого груза  $P$ , приложенный к конечному звену манипулятора brush\_5, направленный вертикально вниз, также заданный при помощи функции STEP.

Функция STEP аппроксимирует идеальную математическую кусочно-заданную функцию, но без разрывов. Синтаксис функции STEP: STEP( $q, q1, f1, q2, f2$ ), где:  $q$  – независимая переменная;  $q1$  – начальное значение для  $q$ ;  $f1$  – начальное значение для  $f$ ;  $q2$  – конечное значение для  $q$ ;  $f2$  – конечное значение для  $f$ .

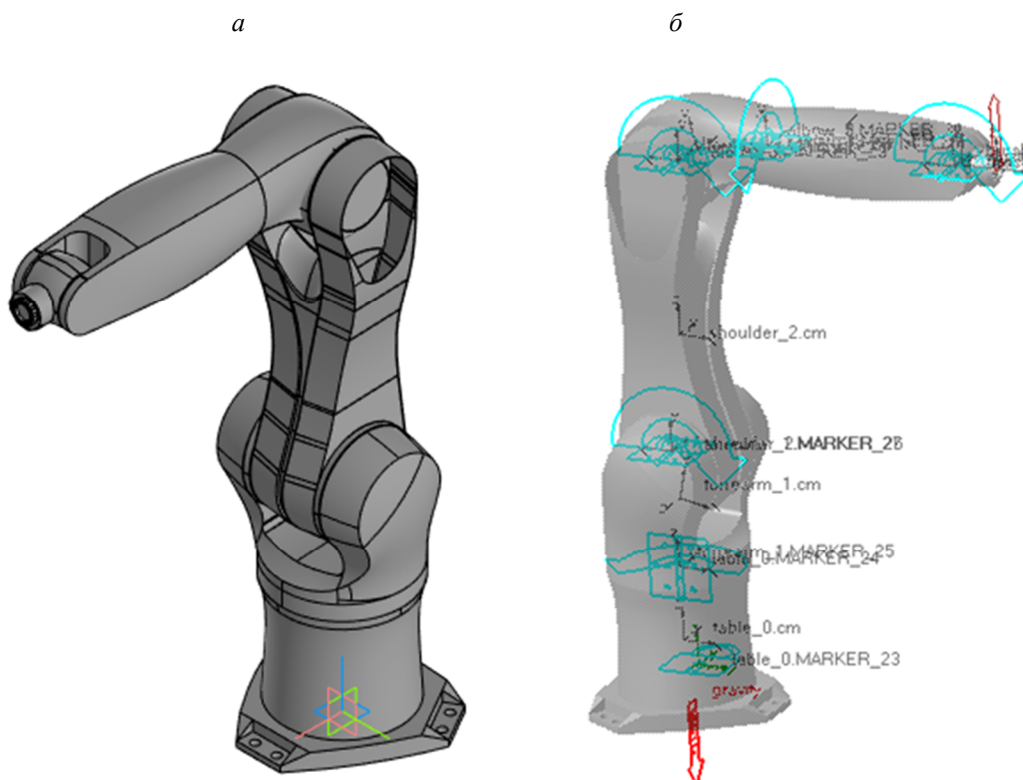


Рис. 2. Виртуальный прототип робота-манипулятора: *а* – модель, построенная в КОМПАС 3-D; *б* – имитационная модель, построенная в MSC Adams, с приложенными силами и моментами

Точность позиционирования робота не является одинаковой в пределах всего рабочего пространства. Ошибки позиционирования исполнительного звена связаны с положением груза в рабочем пространстве, с весом груза, а также с формой и направлением траектории движения. Измерения позиционных ошибок робота KUKA KR 210 R2700 (точность позиционирования 0,06 мм), выполненные с использованием лазерного трекера API Tracker3™ и беспроводной измерительной системы QC20-W Ballbar, показали существенные отклонения фактических погрешностей

от паспортных и их зависимость от зоны работы и траектории движения исполнительного звена [2]. Точность позиционирования снижалась при увеличении расстояния плеча от основания робота и уменьшения высоты рабочей зоны, значения погрешностей отличались при прямолинейной и криволинейной траектории. Паспортные характеристики диаграммы грузоподъемности робота KUKA KR 6 R900-2 представлены на рис. 3.

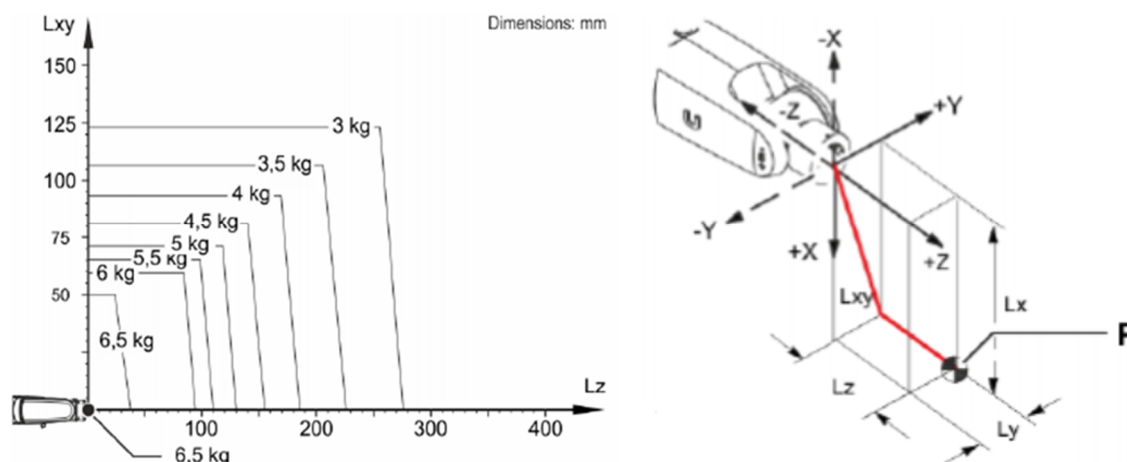


Рис. 3. Диаграмма грузоподъемности (LXYZ – расстояние от центра тяжести груза по осям X, Y, Z)

Влияние положения исполнительного звена на точность его позиционирования связано с конструктивными особенностями робота и возникающими в процессе движения кинематическими и динамическими нагрузками, такими как скорость, ускорение, силы и моменты сил. С использованием виртуального прототипа робота KUKA KR 6 R900-2 (рис. 2) было выполнено имитационное моделирование возникающих в процессе движения кинематических и динамических характеристик. Исследовались три варианта реализации заданной траектории: вариант №1 – движение с максимальной скоростью согласно паспортным характеристикам и с максимальной нагрузкой при массе груза 6,7 кг; вариант №2 – движение при номинальной средней скорости,

составляющей 50% от максимального значения, и при номинальной средней массе груза 3,35 кг; вариант №3 – движение с низкой скоростью, составляющей 10 % от максимального значения, и при минимальной нагрузке (масса груза 0,67 кг). Значения угловых скоростей в шарнирах table\_0-forrearm\_1 (M1), forrearm\_1-shoulder\_2 (M2), shoulder\_2-elbow\_3 (M3), а также значение силы, имитирующей массу груза, для указанных вариантов приведены в таблице 3. Коэффициент  $k$  характеризует интенсивность скорости и нагрузки: для минимальной скорости и нагрузки  $k = 0,1$  (10 %); для номинальной скорости и нагрузки  $k = 0,5$  (50 %), для максимальной скорости и нагрузки  $k = 1$  (100 %).

Таблица 3

Значения угловых скоростей в шарнирах и приложенной силы

	Вариант №1	Вариант №2	Вариант №3
M1, °/с	$\omega_{1max}=360$	$\omega_{1n}=k \cdot \omega_{1max}=180$	$\omega_{1min}=k \cdot \omega_{1max}=36$
M2, °/с	$\omega_{2max}=300$	$\omega_{2n}=k \cdot \omega_{2max}=150$	$\omega_{2min}=k \cdot \omega_{2max}=30$
M3, °/с	$\omega_{3max}=360$	$\omega_{3n}=k \cdot \omega_{3max}=180$	$\omega_{3min}=k \cdot \omega_{3max}=36$
$P$ , Н	$P_{max}=67$	$P_n=k \cdot P_{max}=33.5$	$P_{min}=k \cdot P_{max}=6.7$

Исследование кинематических и динамических характеристик робота выполнялось для траектории движения, представленной на рисунке 4. Моделирование заданной траектории движения с использованием виртуального прототипа реализовано с применением модуля Adams.View. Указанная траектория разбита на этапы, при этом для имитации реального движения робота каждому этапу соответствует определенный набор нагрузок, приложенных к модели:

0–1 – подвод манипулятора из начального положения без груза, вращение в шарнирах M2 (90°) и M3 (-90°) без приложения силы;

1–2 – поднятие груза весом  $P$ , вращение в шарнирах M2(-45°) и M3 (45°) с приложенной силой;

2–3 – поворот манипулятора с грузом весом  $P$ , вращение в шарнире M1 (180°) относительно оси OZ с приложенной силой;

3–4 – опускание груза весом  $P$ , вращение в шарнирах M2(45°) и M3 (-45°) с приложенной силой;

4–5 – отвод манипулятора без груза, вращение в шарнирах M2 (-90°) и M3 (90°).

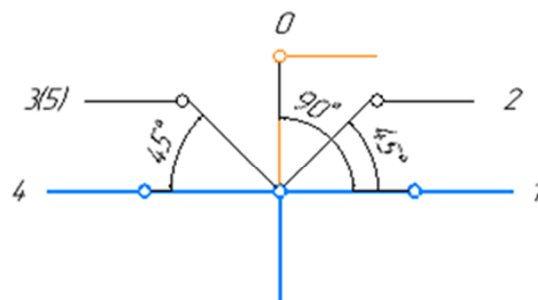
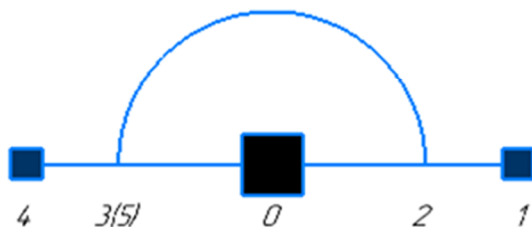


Рис. 4. Траектория движения робота-манипулятора

Таким образом, для данной траектории на каждом из указанных этапов необходимо осуществить поворот в шарнирах, относительно определенной координатной оси, с приложением или без приложения нагрузки. При моделировании это реализовано функцией STEP. Например, при движении 2–3 происходит поворот манипулятора

в шарнире table\_0-forrearm\_1 (M1). Функция приложенной угловой скорости будет выглядеть следующим образом: STEP (time, 0.45/k, 0, 0.95/k, 0.5) ×  $\omega_{1max}$ , где time – независимая переменная, в данном случае время;  $\omega_{1max}$  – максимальная угловая скорость для первого шарнира (360°/с); 0.45/k

– начальное значение времени; 0 – начальное значение угла; 0.95/k – конечное значение времени; 0.5 – конечное значение угла. Аналогичным образом записываются функции для всех этапов, затем объединяются в общую траекторию. Функции угловых скоростей, приложенных к шарнирам, и силы для заданной траектории приведены в таблице 4.

Так как скорость для трёх исследуемых вариантов движения по заданной траектории различна, то время работы манипулятора также изменяется. При реализации функции STEP это учитывается при помощи коэффициента  $k$ , который регулирует интенсивность скорости и нагрузки при отработке вариантов траектории.

Таблица 4

Функции скорости вращения в шарнирах и силы

	Функция
M1	$STEP (time, 0.45/k, 0, 0.95/k, 0.5) \times \omega_{1max}$
M2	$STEP (time, 0, 0, 0.3/k, 0.3) \times \omega_{2max} + STEP (time, 0.3/k, 0, 0.45/k, -0.15) \times \omega_{2max} + STEP (time, 0.95/k, 0, 1.1/k, 0.15) \times \omega_{2max} + STEP (time, 1.1/k, 0, 1.25/k, -0.15) \times \omega_{2max}$
M3	$STEP (time, 0, 0, 0.25/k, 0.25) \times \omega_{3max} + STEP (time, 0.3/k, 0, 0.425/k, -0.125) \times \omega_{3max} + STEP (time, 0.95/k, 0, 1.075/k, 0.125) \times \omega_{3max} + STEP (time, 1.1/k, 0, 1.225/k, -0.125) \times \omega_{3max}$
P	$STEP (time, 0, 1, 0.001, 1) \times (P \times k) + STEP (time, 0.3/k, 0, 0.3001/k, -1) \times (P \times k) + STEP (time, 1.09999/k, -1, 1.1/k, 0) \times (P \times k)$

**Результаты.** Результатом моделирования являются кинематические параметры, такие как перемещение, скорость и ускорение, а также динамические – моменты сил в шарнирах. Все указанные параметры определяются как функции времени в привязке к выполняемой траектории для трех координатных осей. На графиках рис. 5 и рис. 6 изображены ускорения исполнительного звена в различных комбинациях движения по заданной траектории: при номинальной нагрузке (рис. 5) и совмещенный график трех вариантов интенсивности (рис. 6).

На графиках рис.7 и рис.8 представлены примеры возникающих под действием рабочей

нагрузки моментов в шарнирах конструкции робота, а в таблицу 5 сведены результаты моделирования для конструктивных шарнирных соединений робота (M1, M2, M3) при всех исследуемых вариантах движения по заданной траектории. Все полученные графики привязаны к траектории движения посредством функции времени, например, для варианта номинальной интенсивности подвод 0–1 осуществляется за период времени от 0 с до 0,6 с; этап движения 1–2 происходит за время 0,6 с – 0,9 с; поворот 2–3 реализуется за время 0,9 с – 1,9 с; подвод 3–4 – за время 1,9 с – 2,2 с; отвод 4–5 – за время 2,2 с – 2,5 с.

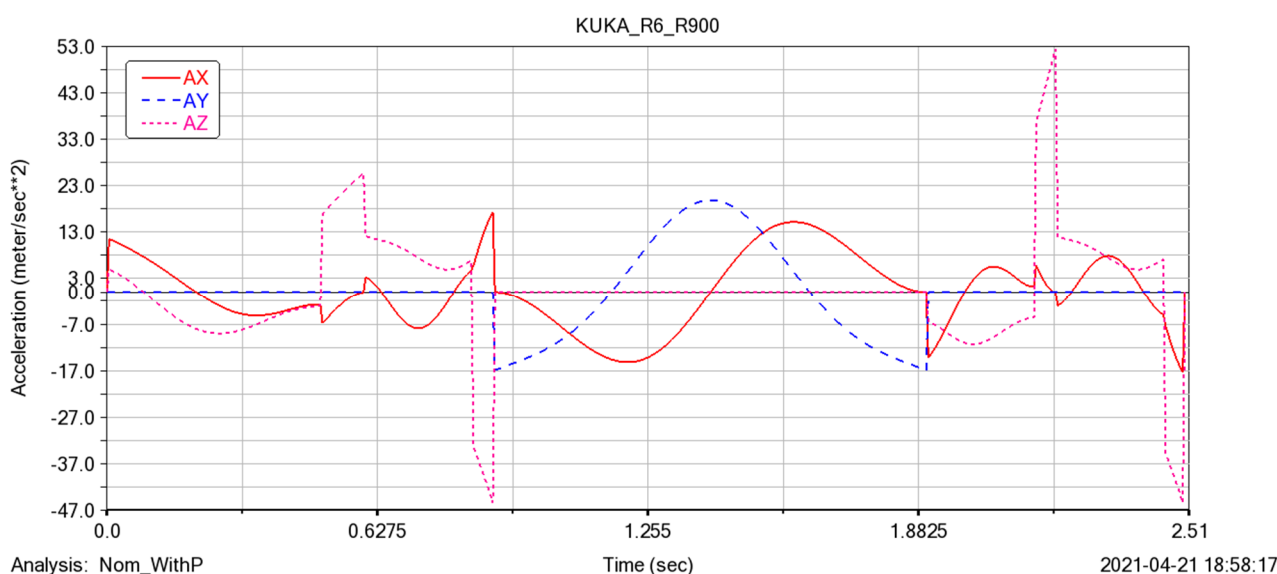


Рис. 5. Ускорение исполнительного звена при движении по заданной траектории при номинальной интенсивности (вариант №2)

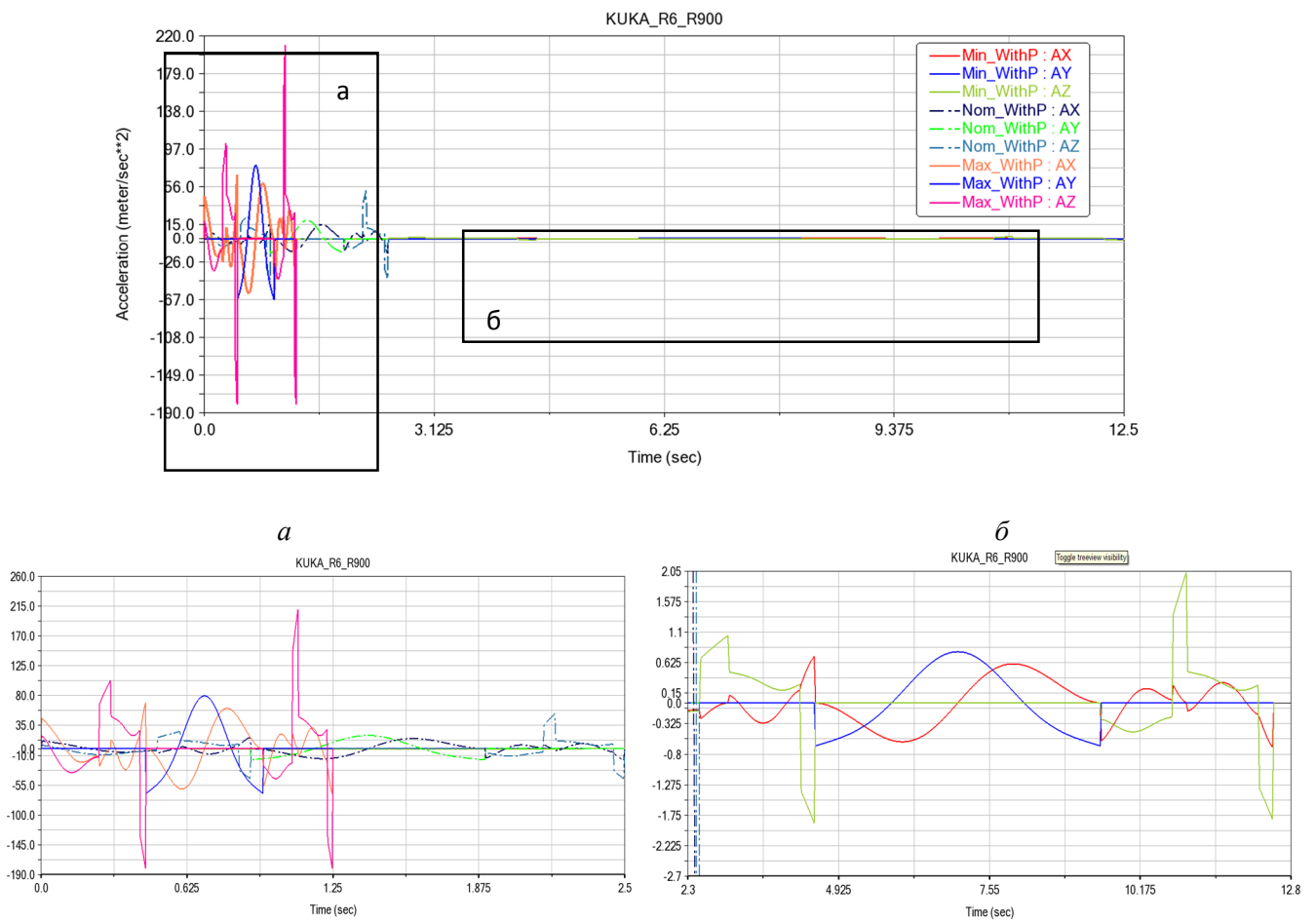


Рис. 6. Ускорение исполнительного звена при движении по заданной траектории для трех вариантов: с максимальной, номинальной и минимальной интенсивностью

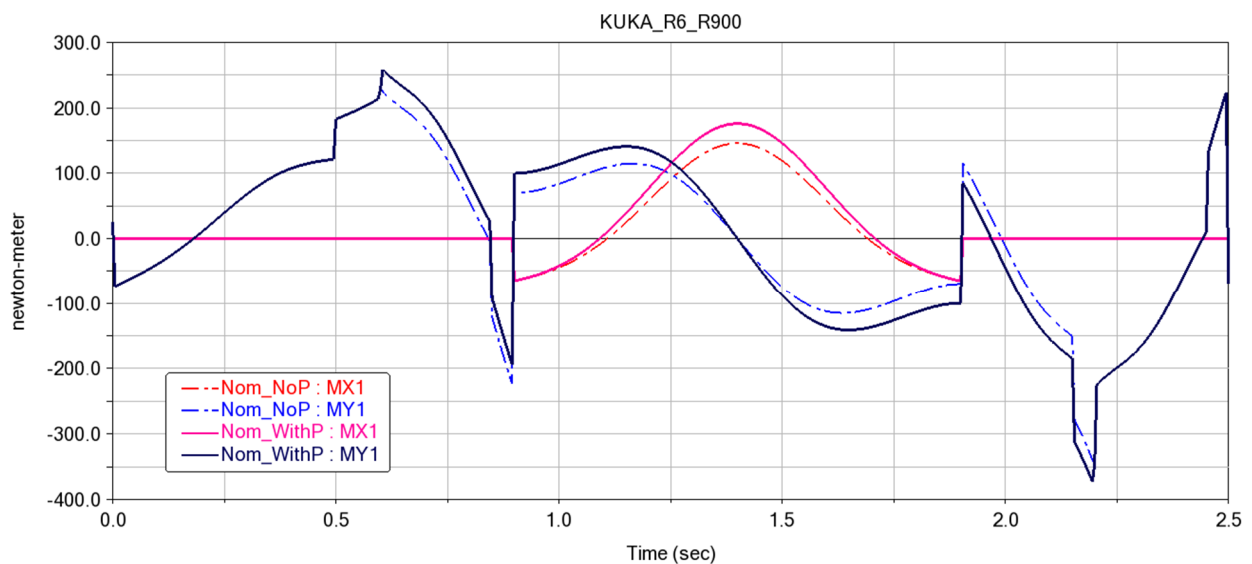


Рис. 7. Моменты в шарнире table\_0 – forearm\_1 (M1) при номинальной интенсивности (сплошные линии) и при минимальной интенсивности (штрихпунктирные линии)

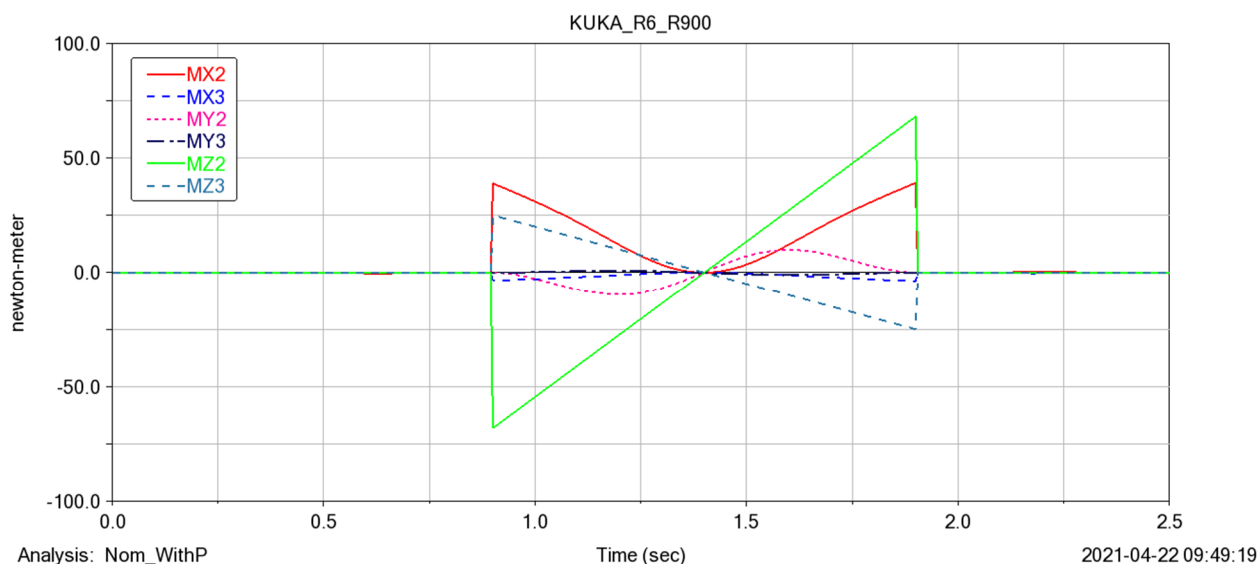


Рис. 8. Моменты в шарнирах forearm\_1 – shoulder\_2 (M2), shoulder\_2 – elbow\_3 (M3) при номинальной интенсивности (вариант №2)

Таблица 5

**Пиковые значения моментов в шарнирах**

Момент, Н/м	Наименование шарнира		
	table_0 – forearm_1 (M1)	forearm_1 – shoulder_2 (M2)	shoulder_2 – elbow_3 (M3)
Минимальная интенсивность (вариант №3)			
MX	78.75	1,66	- 0,29
MY	-101.15	0,47	- 0,17
MZ	0	2.7	- 0,97
Номинальная интенсивность (вариант №2)			
MX	175.86	39.25	- 3,7
MY	-372.71	9,93	- 0,96
MZ	0	68,17	- 25,06
Максимальная интенсивность (вариант №1)			
MX	434.24	156,65	- 14,58
MY	-1170.87	39,48	- 3,70
MZ	0	272,69	- 100,23

**Выводы.** Имитационное моделирование кинематических и динамических параметров с использованием программного комплекса MSC Adams позволяет получить ряд важных эксплуатационных характеристик исследуемой конструкции, в данном случае робота-манипулятора KUKA KR 6 R900-2. Результаты моделирования могут быть применены для сравнительного анализа действующих нагрузок на различных этапах движения по заданной траектории, выявления неблагоприятных условий, таких как критические пиковые значения ускорений и возникающих моментов сил. Например, для исследуемой конструкции при максимальной интенсивности скорости и массы груза в отдельные моменты движения по траектории наблюдаются моменты сил

свыше 1000 Н/м. Представленная методика применима для анализа и выбора возможных вариантов траектории, ее оптимизации по критерию снижения пиковых значений ускорений и моментов сил, которые оказывают неблагоприятное воздействие на эксплуатационный ресурс.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Чупрова Ю.К. Оптимизация траекторий рабочего органа манипулятора с шестью степенями свободы // Труды СПбГТУ. 2013. С. 62–67
2. Семёнов Е.Н., Сидорова А.В., Беломестных А.С., Чапышев А.П. Эффективное зонирование рабочего пространства промышленного ро-

бота KUKA KR210 R2700 EXTRA // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. №12(107). С. 86–96

3. Артеменко Ю.Н., Волкоморов С.В., Карпенко А.П. Система поддержки принятия решений для синтеза и оптимизации геометрии многосекционного робота-манипулятора типа хобот // Экстремальная робототехника. 2015. Т1. №1. С. 11–121.

4. Усачёв Ю.И. Моделирование роботизированных комплексов // Евразийский союз ученых. 2016 №2-4 (23) С. 98–100.

5. Каганов Ю.Т., Карпенко А.П. Синтез многосекционных роботов-манипуляторов параллельной структуры типа хобот // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2020). 2020. С. 270–272.

6. Илюшин И.Э., Кожевников М.М. Алгоритмы управления сварочными роботами-манипуляторами на основе статистической модели конфигурационного пространства // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. 2016. №12. С. 22–29

7. Огородникова О.М., Путимцев И.Д. Использование облачных технологий в проектировании роботов // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. 2017. №2. С. 105–108

8. Лоборева Л.А. Программное обеспечение OLP промышленных роботов-манипуляторов //

Вестник Полоцкого государственного университета. Серия с. Фундаментальные науки. 2018. №4. С. 108–116

9. Кожевников М.М., Чумаков О.А., Шеменков В.М., Илюшин И.Э., Юркина А.А. Оптимизация траекторий промышленных роботов-манипуляторов для лазерной резки // Вестник Белорусско-Российского университета 2020. №2(67). С. 21–30

10. Чуев К.В., Дуюн Т.А., Чуева Ю.А. Имитационное моделирование динамических характеристик промышленного робота с использованием программного комплекса MSC Adams // Всероссийская научно-методическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Н.П. Малевского : Сборник докладов, 2020. С. 19–23.

11. Чуев К.В., Пашнев А.А., Чуева Ю.А., Кузнецова А. Д. Исследование деформаций, возникающих под воздействием статических нагрузок в промышленном роботе «ТУР-10» // XI международный молодежный форум "ОБРАЗОВАНИЕ. НАУКА. ПРОИЗВОДСТВО" Материалы форума. Белгород, 2019. С. 939–943.

12. Чуев К.В., Черкасов В.В., Чуева Ю.А. Решение прямой задачи о положениях для промышленного робота «ТУР-10» // XI международный молодежный форум "ОБРАЗОВАНИЕ. НАУКА. ПРОИЗВОДСТВО" Материалы форума. Белгород, 2019. С. 944–949.

#### Информация об авторах

**Чуев Кирилл Витальевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения. E-mail: kirill.chuev@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Дуюн Иван Александрович**, студент кафедры технической кибернетики. E-mail: duyun77@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 25.04.2021 г.

© Чуев К.В., Дуюн И.А., 2021

**\*Chuev K.V., Duyun I.A.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*

*\*E-mail: kirill.chuev@gmail.com*

## SIMULATION OF KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A ROBOT MANIPULATOR USING A VIRTUAL PROTOTYPE

**Abstract.** The article presents a method for modeling the kinematic and dynamic parameters of the robot manipulator model KUKA KR 6 R900-2. The simulation is performed using a virtual prototype of a robot designed in the KOMPAS 3-D computer-aided design system and exported to the MSC Adams software package. The prototype of the robot is represented by idealized parts corresponding to the real links of the structure. The joints of the links are implemented by articulated joints. Various options of the robot working out a given trajectory of movement with varying the angular velocity of its turns and the applied load of the potential load are investigated: the maximum speed at the maximum weight of the load, the nominal speed at the nominal



weight of the load and the minimum speed at the minimum weight of the load. The specified trajectory of movement is divided into separate stages, a certain set of workloads is applied during the simulation in each. The simulation is carried out in a three-coordinate space. The result of the simulation is kinematic parameters, such as movement, speed, acceleration, and dynamic parameters – moments in the robot's joints. The obtained results allow to perform a comparative analysis of the operating loads at different stages of the trajectory, to identify unfavorable conditions, such as critical peak values of accelerations and emerging moments of forces.

**Keywords:** robot manipulator, simulation, virtual prototype, kinematic and dynamic characteristics.

## REFERENCES

1. Chuprova I.K. Trajectory optimization for the end-effector of the 6-dof manipulator [Optimizatsiya traektorij rabocheho organa manipulyatora s shest'yu stepenyami svobody]. Proceedings of SPBSTU 2013. Pp. 62–67. (rus)
2. Semenov E., Sidorova A., Belomestnykh A., Chapyshev A. Effective zoning of KUKA KR210 R2700 EXTRA industry robot working space [E'ffektivnoe zonirovanie rabocheho prostranstva promy'shlennogo robota KUKA KR210 R2700 EXTRA]. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2015. No. 12(107). Pp. 86–96. (rus)
3. Artemenko Yu.N., Volkomorov S.V., Karpenko A.P. decision support system providing geometry optimization of multisection arm robot manipulators [Sistema podderzhki prinyatiya reshenij dlya sinteza i optimizatsii geometrii mnogosekcionnogo robota-manipulyatora tipa xobot]. Extreme robotics. 2015. 1 (1). Pp. 11–121. (rus)
4. Yu I. Usachyov Simulation of robotic systems [Modelirovanie robotizirovanny'x kompleksov]. Eurasian Union of Scientists . 2016. No. 2-4 (23). Pp. 98–100. (rus)
5. Kaganov Y.T., Karpenko A.P. Synthesis of trunk-type parallel structure multisectional robots-manipulators [Sintez mnogosekcionny'x robotov-manipulyatorov parallel'noj struktury' tipa xobot] Design, technology and innovation in the textile and light industry (INNOVATION-2020) 2020. Pp. 270–272. (rus)
6. Iliushyn I., Kozhevnikov M. Algorithms for control of welding robotic-manipulator based on a statistical model of a configuration space [Algoritmy' upravleniya svarochny'mi robotami-manipulyatorami na osnove statisticheskoy modeli konfiguratsionnogo prostranstva]. Bulletin of the Polotsk state university. Series C. Fundamental sciences. 2016. No. 12. Pp. 22–29. (rus)
7. Ogorodnikova O.M., Putimcev I.D. Using cloud technologies in robot design Using cloud technologies in robot design [Ispol'zovanie oblachny'x tehnologij v proektirovanii robotov. Rossiya molodaya: peredovy'e tehnologii – v promy'shlenost']. Young Russia: advanced technologies-in the industry. 2017. No. 2. Pp. 105–108. (rus)
8. Loboreva L. Software of OLP for industrial robots-manipulators [Programmnoe obespechenie OLP promy'shlenny'x robotov-manipulyatorov]. Bulletin of the Polotsk state university. Series C. Fundamental sciences. 2018. No. Pp. 108–116. (rus)
9. Kozhevnikov M.M., Chumakov O.A, Shemenkov V.M., Ilushin I.E., Jurkina A.A. Trajectory optimization of industrial robot manipulators for laser cutting [Optimizatsiya traektorij promy'shlenny'x robotov-manipulyatorov dlya lazernoj rezki]. Bulletin of the Belarusian-Russian University. 2020. No. 2(67). Pp 21–30. (rus)
10. Chuev K.V., Duyun T.A., Chueva Yu.A. Simulation of the dynamic characteristics of an industrial robot using the MSC Adams software package [Imitatsionnoe modelirovanie dinamicheskix xarakteristik promy'shlennogo robota s ispol'zovaniem programmnoy kompleksa] All-Russian scientific and Methodological conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of N. P. Malevsky: Collection of reports. 2020. Pp. 19–23. (rus)
11. Chuev K.V., Pashnev A.A., Chueva Yu.A., Kuznecova A.D. Research of deformations arising under the influence of static loads in the industrial robot "TUR-10" [Issledovanie deformatsij, vznikayushix pod vozdejstviem staticheskix nagruzok v promy'shlennom robote «TUR-10»] XI International Youth Forum " EDUCATION. THE SCIENCE. PRODUCTION" Forum materials. Belgorod. 2019. Pp. 939–943. (rus)
12. Chuev K.V., Cherkasov V.V., Chueva Yu.A. Solution of the direct position problem for the industrial robot "TUR-10" [Reshenie pryamoj zadachi o polozheniyax dlya promy'shlennogo robota "TUR-10"] XI International Youth Forum " EDUCATION. THE SCIENCE. PRODUCTION" Forum materials. Belgorod. 2019. Pp. 944–949. (rus)

### Information about the authors

**Chuev, Kirill V.** Postgraduate student. E-mail: kirill.chuev@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Duyun, Ivan A.** Student. E-mail: duyun77@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 25.04.2021*

**Для цитирования:**

Чуев К.В., Дуюн И.А. Моделирование кинематических и динамических характеристик робота-манипулятора с использованием виртуального прототипа // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 5. С. 95–104. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-95-104

**For citation:**

Chuev K.V., Duyun I.A. Simulation of kinematic and dynamic characteristics of a robot manipulator using a virtual prototype. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 5. Pp. 95–104. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-95-104