Научная статья
Original article
УДК 004.942

# ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РОБОТА МЕТОДАМИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА

# ROBOT CONSTRUCTION OPTIMIZATION BY GENERATIVE DESIGN METHODS

**Бухтояров Игорь Вячеславович,** студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, г. Москва, i.buhtoyarov@gmail.com
**Кошкина Ирина Николаевна,** студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, г. Москва, irinakoshkina9@mail.ru

**Bukhtoyarov Igor Viacheslavovich,** student**,** Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow, i.buhtoyarov@gmail.com
**Koshkina Irina Nikolaevna,** student**,** Bauman Moscow State Technical University, Russia, Moscow, irinakoshkina9@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается разработка конструкции робота-манипулятора, предназначенного для перемещения небольших грузов, либо удержания их в течение некоторого времени. Построена 3D-модель всей системы с использованием системы автоматизированного проектирования Solid Edge, далее произведена оптимизация конструкции с использованием

методов генеративного дизайна. Произведен подбор управляющих компонентов.

**Abstract.** The article describes the development of the design of a robotic arm designed to move small loads, or hold them for some time. A 3D model of the entire system was built using the Solid Edge computer-aided design system, then the design was optimized using generative design methods. Selected control components.

**Ключевые слова:** генеративный дизайн, оптимизация конструкции, 3D-моделирование, робот-манипулятор, система автоматизированного проектирования Solid Edge.

**Keywords:** generative design, design optimization, 3D modeling, robotic arm, Solid Edge CAD.

В настоящее время набирает все большую популярность бионический метод проектирования. С одной стороны, идет математическое моделирование и проектирование на основе математического моделирования, суперкомпьютерные технологии, технологии оптимизации. С другой стороны, идет стремительное развитие аддитивных технологий, аддитивного производства. Благодаря этому появляется возможность создавать принципиально новые конструкции.

Для создания таких решений используют генеративный дизайн – подход к проектированию и дизайну цифрового или физического продукта, при котором человек делегирует часть процессов компьютерным технологиям и платформам. В первую очередь речь идёт о так называемых эволюционных алгоритмах, в основе которых лежат математические модели механизмов естественной эволюции. Широко используются следующие методы: клеточные автоматы, фракталы, нейросети, «искусственная жизнь», системы Линденмайера (L-системы), «математический хаос», рандомизация, «шум Перлина» и другие.

Таким образом, для уменьшения веса разрабатываемой конструкции при сохранении прочностных характеристик было принято решение оптимизировать элементы робота с помощью методов генеративного дизайна, реализованных в Solid Edge. Проектируемая конструкция представляет собой антропоморфный манипулятор, состоящий из трех звеньев, соединенных между собой поворотными шарнирами.

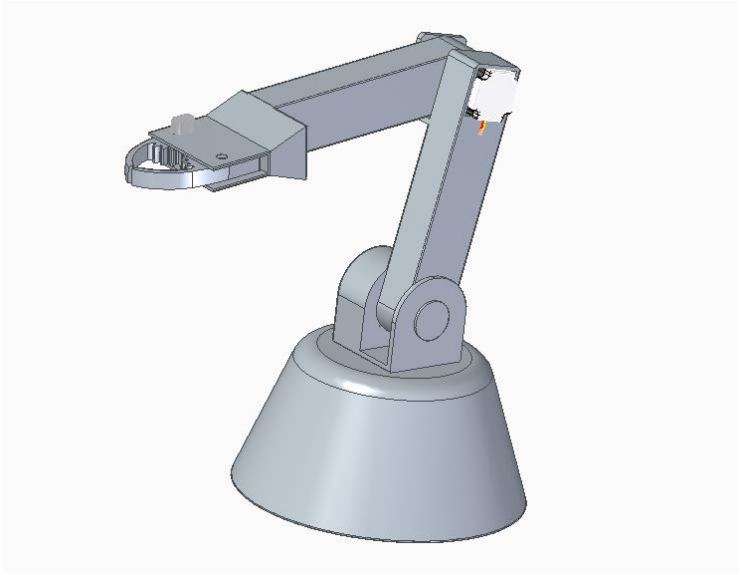

***Рисунок 1. Общий вид***

Основание состоит из массивной опорной детали, для предотвращения падений при подъеме грузов, и сустава, представляющего собой конструкцию, на которой закреплены плечо и двигатель первой ступени, передающий вращательное движение на второе звено. Плечо состоит из жесткой конструкции, представляющей собой тело плеча, на котором предусмотрено место крепления двигателя второй ступени, передающего вращение на следующее звено, и сустава, который соединяет вторую и третью ступень. Тело предплечья неподвижно соединено с захватывающим устройством, которое представляет собой серводвигатель управляющий двумя частями схвата с помощью зубчатой передачи.

На первой и второй ступенях используются шаговые двигатели SUMTOR 86HS9860A4 (NEMA 34). На третьей ступени используется

серводвигатель DYNAMIXEL XL-320 – это роботизированный интеллектуальный сервопривод, одновременно сочетающий в себе: электродвигатель постоянного тока, редуктор, контроллер и драйвер мотора. Для своих малых размеров, серводвигатель XL-320 является высокоточным. Высокая степень надежности и точности позиционирования, благодаря ПИД-регулятору.

Для создания 3D-модели конструкции робота-манипулятора использовалась система Solid Edge. Также были произведены расчеты основных физических характеристик робота (таблица 1) для дальнейшего исследования прочностных и кинематических характеристик.

***Таблица 1.***

**Основные физические характеристики**

| | |
|---|---|
| **Физические свойства:** | |
| Объем: | 40509780,770 мм$^3$ |
| Масса: | 44,987 кг |
| **Относительно системы координат:** | |
| Центр масс: | X= -12,60 мм |
| | Y= 3,42 мм |
| | Z= 205,19 мм |
| Геометрический центр: | X= -15,36 мм |
| | Y= 4,03 мм |
| | Z= 186,33 мм |
| Моменты инерции: | $I_{xx}$= 4,370 кг-м$^2$ |
| | $I_{yy}$= 4,674 кг-м$^2$ |
| | $I_{zz}$= 1,182 кг-м$^2$ |
| | $I_{xy}$= -0,081 кг-м$^2$ |
| | $I_{xz}$= -0,377 кг-м$^2$ |
| | $I_{yz}$= 0,083 кг-м$^2$ |
| **Относительно главных осей:** | |
| Главные моменты инерции: | $I_1$= 2,793 кг-м$^2$ |
| | $I_2$= 2,508 кг-м$^2$ |

| | |
|---|---|
| | $I_3$= 1,122 кг-м$^2$ |
| Радиусы инерции: | $K_1$= 249,15 мм |
| | $K_2$= 236,12 мм |
| | $K_3$= 157,91 мм |

Для исследования формы и определения её оптимального вида элемент исследуется при максимальных допустимых нагрузках. Для возможности последующей сборки места крепления и габаритные размеры детали остаются неизменными. Задача генеративного дизайна состоит в том, чтобы уменьшить количество используемого материала в тех местах, где напряжения не столь велики. Результаты оптимизации конструкции представлены на рисунках 2, 3.

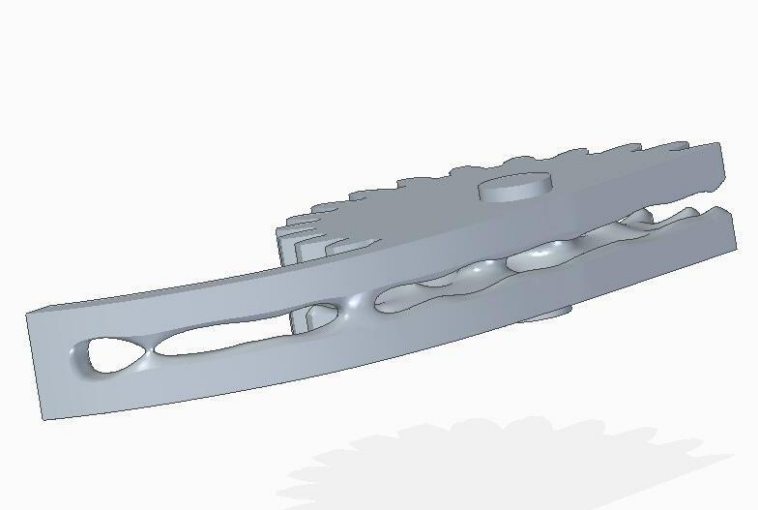

***Рисунок 2. Оптимизированная конструкция элемента захватывающего устройства***

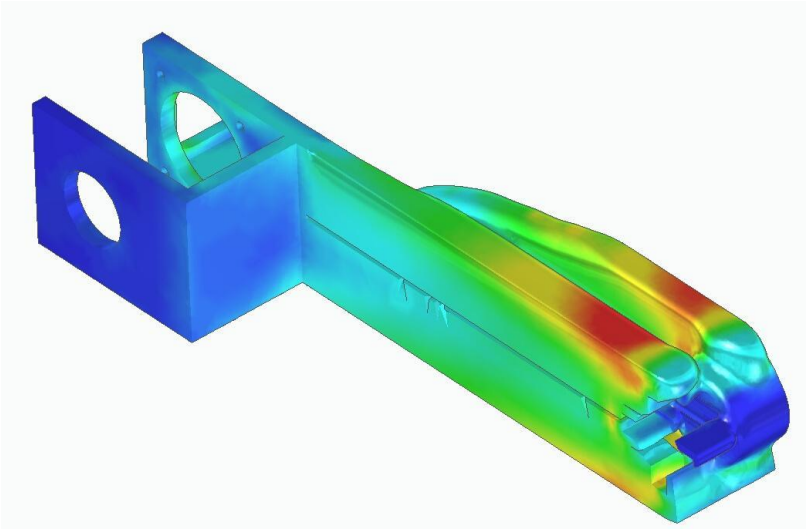

***Рисунок 3. Оптимизированная конструкция плеча робота***

Первоначальная реализация робота предполагается с использованием аддитивных технологий. Все элементы разработанной конструкции могут быть распечатаны на 3D-принтере. В качестве материала целесообразно использовать высокопрочный полистирол (HIPS), так как он лучше поддается механической постобработке, не поглощает влагу, лучше переносит условия внешней среды, не подвержен разложению.

Подобный робот может использоваться для изучения конструктивных особенностей подобных систем и способов управления манипуляторами, способными схватывать и перемещать предметы, разработки программного обеспечения для полностью автоматизированных механизмов.

**Литература**

1. Основы конструирования в Solid Edge. Пособие по проектированию изделий в приборостроении. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 272 с.: ил.
2. Емельянов А. В., Шаговые двигатели: учеб. пособие/ А. В. Емельянов, А. Н. Шилин/ВолгГТУ. – Волгоград, 2005. – 48 с.
3. А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина., Компьютерный инжиниринг: учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 93 с.

4. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С., Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов. – 2-е изд., исправ. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 480 с.: ил. (Робототехника / Под. ред. С.Л. Зенкевича, А.С. Ющенко).

**References**

1. Fundamentals of design in Solid Edge. Manual for the design of products in instrumentation. – M.: DMK Press, 2014. – 272 p.: ill.
2. Emelyanov A.V., Stepper motors: textbook. allowance / A. V. Emelyanov, A. N. Shilin / VolgGTU. - Volgograd, 2005. - 48 p.
3. A.I. Borovkov, S.F. Burdakov, O.I. Klyavin, M.P. Melnikova, A.A. Mikhailov, A.S. Nemov, V.A. Palmov, E.N. Silina., Computer engineering: textbook. allowance A.V. I. Borovkov [i dr.]. - St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic. un-ta, 2012. - 93 p.
4. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S., Fundamentals of Manipulating Robots Control: Textbook for Universities. - 2nd ed., corrected. and additional M.: Publishing house of MSTU im. N. E. Bauman, 2004. - 480 p.: ill. (Robotics / Edited by S.L. Zenkevich, A.S. Yushchenko).

*© Бухтояров И.В., Кошкина И.Н., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №1/2022.*

**Для цитирования:** Бухтояров И.В., Кошкина И.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РОБОТА МЕТОДАМИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №1/2022.