

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИИ МАНИПУЛЯТОРА

Швецов А. Д.

*Научный руководитель – к. т. н., доцент Пузанов А. В.
Ковровская государственная технологическая академия
имени В.А. Дегтярева, puzanov@dksta.ru*

Аннотация. В работе исследованы массоинерционные параметры и жесткостные характеристики конструкции при изменении материала и конструкционного исполнения звена манипулятора.

Ключевые слова: робототехника, ангулярный манипулятор, производительность, жесткость, массоинерционные характеристики.

Робототехника является одним из перспективных направлений в развитии науки, техники и технологий во многих странах мира [1].

Применение манипуляционных роботов в промышленном производстве освобождает человека от работ, связанных с опасностями для здоровья или с тяжелым физическим трудом, а также от простых монотонных операций, не требующих высокой квалификации [1; 2].

Наиболее распространенным является манипулятор ангулярного типа (рис. 1). Он работает в полярной системе координат и применяется на сборочных операциях [3].



Рисунок 1 – Манипулятора ангулярного типа

Использование высокопроизводительных манипуляторов в промышленном производстве призвано сократить время технологических процессов.

Увеличение производительности манипулятора происходит за счет снижения его массоинерционных характеристик.

Во время технологического процесса под воздействием нагрузки происходит деформация звеньев манипулятора. Возникающее из-за деформации звеньев отклонение инструмента от рабочего положения приводит к нарушению техпроцесса.

Величина отклонения инструмента зависит от жесткости конструкции.

Целью данной работы является исследование жесткостных характеристик конструкции манипулятора.

Модель базовой конструкции представлена на рис. 2.

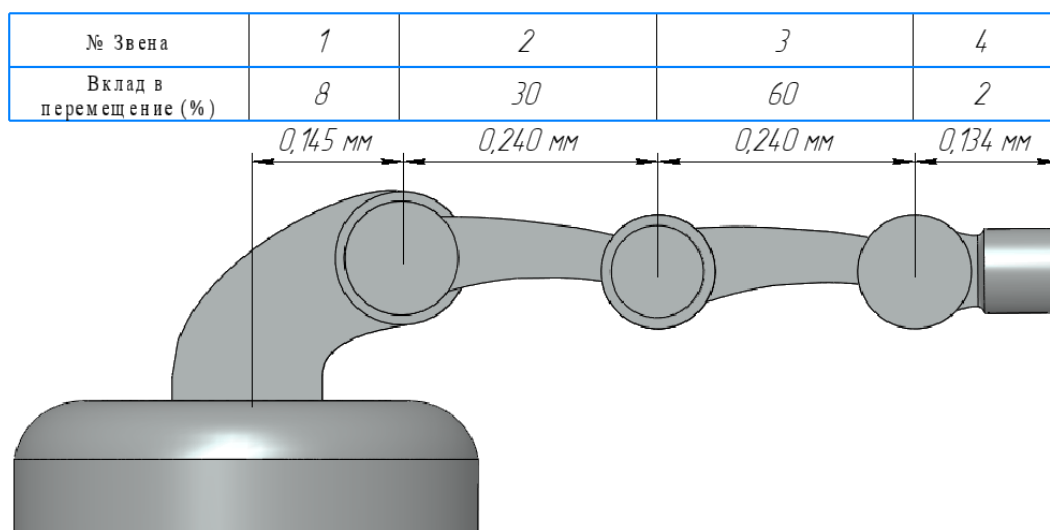


Рисунок 2 – Базовое конструктивное исполнение манипулятора

Массоинерционные характеристики манипулятора определяются инерцией звеньев I , которая находится по формуле (1).

$$I = m \cdot R^2, \quad (1)$$

где, R – расстояние до окружности;

m – масса звена.

$$m = \rho \cdot V,$$

здесь ρ – плотность;

V – объем.

В программном комплексе SolidWorks посредством анализа напряженно-деформированного состояния было проведено исследование жесткостных характеристик. Анализ проводился с заменой материала и модернизацией конструктивного исполнения звена манипулятора.

Деформированное состояния конструктивного исполнения манипулятора представлено на рис. 3.

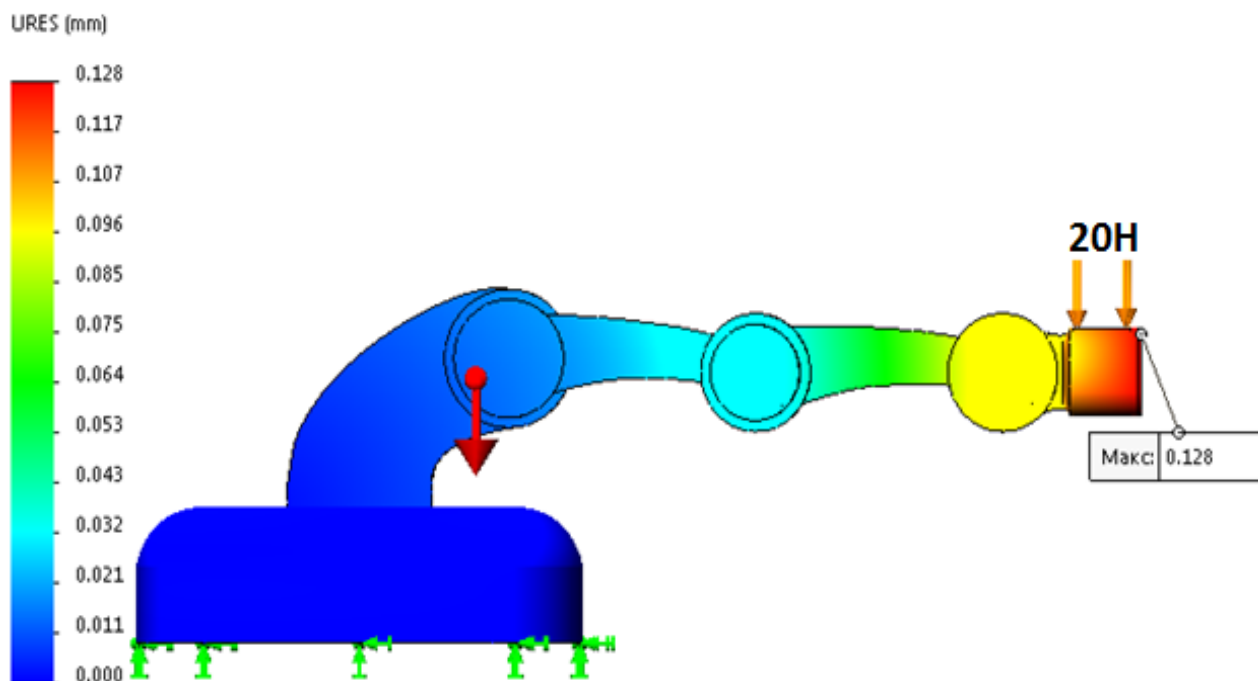


Рисунок 3 – Деформация конструкции манипулятора

Значения перемещений занесены в табл.1.

Таблица 1 – Значения перемещений

№ звена	Перемещение (мм)		
	Материал		
	сталь	алюминий	пластик
1	0,011	0,022	0,421
		(+100 %)	(+3727 %)
2	0,04	0,077	1,545
		(+93 %)	(+3763 %)
3	0,081	0,155	3,12
		(+91 %)	(+3752 %)
Итоговое отклонение (мм)	0,129	0,244	4,901
		(+89 %)	(+3699 %)

В скобках в процентном соотношении указано изменение относительно базового (стального) варианта.

Расчитанная инерция по формуле (1), а также значения параметров масс сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Инерция и масса звеньев

	№ звена	Материал		
		сталь	алюминий	пластик
Масса звена (кг)	1	17	6 (-62,7 %)	3 (-80,4 %)
	2	3	1 (-61,7 %)	0,6 (-79,8 %)
	3	2,5	0,9 (-62,9 %)	0,5 (-80,5 %)
Масса манипулятора (кг)		58	27 (-53,4 %)	18 (-69 %)
Инерция (кг · м ²)	1	0,357	0,133 (-63 %)	0,070 (-80 %)
	2	0,173	0,066 (-62 %)	0,035 (-80 %)
	3	0,144	0,053 (-63 %)	0,028 (-80 %)
Инерция манипулятора (кг · м ²)		0,708	0,287 (-59 %)	0,167 (-76 %)

В скобках в процентном соотношении указано изменение относительно базового (стального) варианта.

Из анализа таблиц 1 и 2 базовая стальная конструкция имеет меньшее отклонение и наибольшие массоинерционные характеристики. Облегчение конструкции с помощью замены материала приводит к снижению инерционности звеньев манипулятора и снижению жесткости его конструкции. Имеющая наименьшую жесткость пластиковая конструкция, будет иметь максимальное отклонение.

На основании полученных данных было выявлено, что 3 звено имеет наибольший вклад в перемещение. Поэтому следующим этапом проводилась модернизация конструкции данного звена манипулятора (рис. 4).

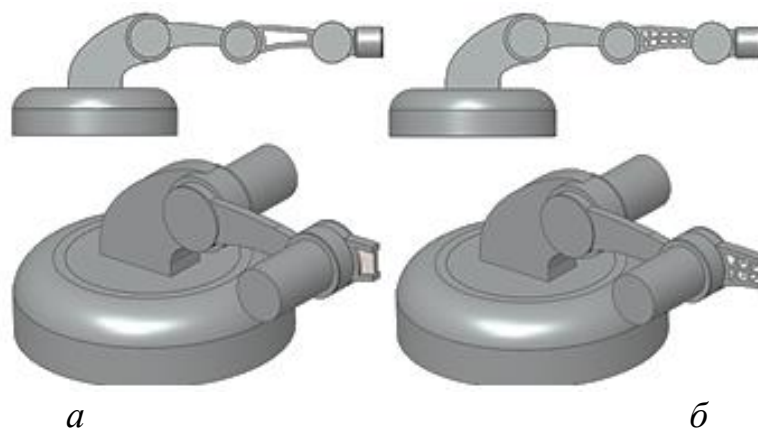


Рисунок 4 – Конструктивное исполнение
a – с двутавровым звеном; *б* – с ячеистым звеном

Результаты проведенного анализа занесены в табл. 3.

Таблица 3 – Параметры третьего звена

	Структура 3 звена		
	Базовая	Двугавровая	Ячеистая
Перемещение 3 звена (мм)	0,081	0,083 (+2,5 %)	0,085 (+4,9 %)
Итоговое отклонение (мм)	0,129	0,133 (+3 %)	0,135 (+5 %)
Масса 3 звена (кг)	2,5	2,227 (-10,9 %)	2,199 (-12 %)
Масса конструкции (кг)	58	57,727 (-0,5 %)	57,699 (-1 %)
Инерция 3 звена (кг · м ²)	0,144	0,128 (-10,9 %)	0,127 (-12 %)
Инерция манипулятора (кг · м ²)	0,714	0,699 (-2,2 %)	0,629 (-2,4 %)

В скобках в процентном соотношении указано изменение относительно базового варианта.

Из анализа табл. 3 наименьшие массоинерционные характеристики имеет звено с ячеистой структурой. Перемещение такого звена является наибольшим из-за меньшей жесткости конструкции.

В результате исследования конструкция в пластиковом исполнении с ячеистой структурой звеньев обладает наименьшей жесткостью и наибольшим отклонением рабочего инструмента.

Использование других материалов (стали, алюминия) при ячеистой структуре звена приведет к меньшему отклонению и к большей жесткости конструкции.

Отклонения возникающие при смене материала или структуры звеньев необходимо компенсировать коррекцией системы управления.

Заключение

В результате проведенных работ спроектирована базовая конструкция манипулятора. Для которой посредством анализа напряженно-деформированного состояния были получены значения перемещений, а также исследованы массоинерционные и жесткостные характеристики манипулятора.

Список используемых источников:

1. Лесков, А. Г. Кинематика и динамика исполнительных механизмов манипуляционных роботов: учебное пособие / А. Г. Лесков, К. В. Бажинова, Е. В. Селиверстова. – Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 102, [2] с. : ил.
2. Захаров, Д. Н. Моделирование и управление движением роботов /

Д. Н. Захаров, Д. М. Куровский, Е. А. Ракшин [и др] // Учебно-методическое пособие. – СПб. : Университет ИТМО, 2023. – 84 с.

3. Смирнов, А. Б. Промышленные и сервисные роботы: учеб. пособие // А. Б. Смирнов, А. Н. Тимофеев. – СПб, 2019. – 139 с.