

Федеральное государственное автономное научное учреждение  
«Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский  
институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК)  
194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 21  
+7 (812) 552-01-10  
E-mail: rtc@rtc.ru  
<https://rtc.ru/>

### **Рецензия**

на магистерскую диссертацию  
студента гр.5040103/00301 ВШТМиМФ СПбПУ Д.А. Балхошиной  
**«Расчет жесткости пружин с малым числом витков при различных  
видах нагружения и проектирование приспособлений  
для гибки упругих элементов»**

#### ***Актуальность проведенного исследования.***

В робототехнике динамические столкновения между роботами с жесткой структурой и жесткими объектами с высокой инерцией приводят к кратковременному воздействию на звенья робота больших значений силы и ускорения, что с высокой степенью вероятности может привести к выходу механизма из строя. Обеспечить безопасность механизма можно либо достижением упругого характера взаимодействия путём перевода всей энергии удара в упругую энергию некоторой пружины, либо податливого характера поведения робота в целом как формы пластической деформации. Широкое распространение получили приводы с фиксированной податливостью, содержащие пассивную механическую пружину. Модуль на основе пружины помогает уменьшить максимальный момент в приводе между двигателем и выходным звеном, и, если он обладает достаточной упругостью, защищает привод от перегрузки. Такие приводы могут не только поглощать резкие удары, но и запасать энергию.

Поэтому работа, посвященная исследованию жесткости пружин с малым числом витков при различных видах нагружения и проектированию приспособлений для гибки упругих элементов, представляет определенный интерес не только в области робототехники, но и техники в целом, и является актуальной.

#### ***Краткое содержание работы, ее предмет и объект, цели и задачи.***

Исследование состоит из введения, двух глав, содержащих 6 разделов, и заключения.

В начале исследования автор анализирует имеющиеся источники, приводит информацию о традиционных пружинах из прутка различной формы сечения и анализирует формулы для расчёта жесткости. Затем следует краткий обзор аддитивных технологий и рассматриваются зависимости ряда

механических характеристик новых перспективных материалов для изготовления пружин.

В первой главе автор рассматривает жесткость традиционной винтовой цилиндрической пружины из прутка круглого сечения и напечатанных на 3D принтере пружин из PLA для двух случаев нагружения, и упругого элемента в виде скобы, изготовленного из полосы прямоугольного сечения. Приводятся аналитические расчеты, расчеты в программных пакетах Ansys Workbench и SolidWorks Simulation, а также проводится сравнение с результатами экспериментальных исследований. Отмечено хорошее совпадение результатов и проанализированы причины их неполного соответствия.

Вторая глава посвящена проектированию приспособлений для изготовления упругих элементов небольшого размера на инструменте для гибки Blacksmith MB21-30.

### ***Результаты***

Работа выполнена с достаточной степенью раскрытия в полном соответствии с утвержденным планом.

По результатам работы на международной конференции «International Conference on Sustainable Materials, Manufacturing and Renewable Technologies-2021» был сделан доклад, и совместно с научным руководителем опубликована статья «Tensile and compression spring stiffness under various loading conditions» в сборнике материалов конференции ISBN 978-81-951626-3-5.

### ***Замечания***

1. Рассматриваемые в главе 1 объекты имеют отношение к различным постановкам задач и должны быть разнесены на две главы.
2. При выполнении КЭ расчетов не учтена анизотропия тел, напечатанных послойно.
3. Предлагаемое приспособление для гибки имеет несомненно практическую ценность, но не связана с исследовательским характером магистерской диссертации.

### ***Выводы***

Несмотря на ряд замечаний, выпускная квалификационная работа Балхошиной Д.А. по теме «Расчет жесткости пружин с малым числом витков при различных видах нагружения и проектирование приспособлений для гибки упругих элементов» соответствует требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям, и заслуживает оценки «хорошо».

### **РЕЦЕНЗЕНТ**

Спасский Борис Андреевич, к.т.н,  
учёный секретарь ЦНИИ РТК

