

УДК 621.318.44:629.783

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ОРГАНА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

© Аксенов А.А., Кумарин А.А., Ивлиев А.В.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: evenreven@mail.ru

Для изменения ориентации космического аппарата относительно его центра масс используются различные органы управления, в том числе и магнитные – основанные на взаимодействии с магнитным полем Земли [1]. Занимаемый магнитными органами управления объем внутри аппарата мог бы быть применен для размещения других бортовых систем, а также создаваемое ими электромагнитное излучение может негативно влиять на полезную нагрузку и иную аппаратуру.

В качестве альтернативы возможно размещение магнитных катушек вне корпуса аппарата. Такой подход позволяет избежать недостатков внутреннего. Подобное размещение диктует форм-фактор используемых катушек: наилучшим образом подойдут цилиндрические катушки малого диаметра (порядка нескольких миллиметров). Целевой характеристикой катушки является магнитный момент, он пропорционален числу витков, их площади, а также увеличивается при применении ферромагнитных сердечников [2]. Ввиду малой площади витков достижение требуемого момента катушки предполагается достигать большим числом витков и применением магнитомягкого сердечника.

Для изготовления катушек можно использовать намоточный станок, однако существующие станки не приспособлены для столь малого диаметра изделия, обладающего при этом большой длиной. Поэтому в данной работе был спроектирован и изготовлен станок, способный создавать катушки подходящего размера.

В основе станка лежит совместное движение двух компонентов: вращение сердечника, обеспечивающее намотку проволоки, и поступательное перемещение укладчика, обеспечивающее равномерную укладку проволоки по витку. В качестве источников движения используется пара шаговых двигателей, синхронизация их шагов осуществляется на программном уровне.

Конструкция станка приведена на рисунке, где цифрами обозначены: 1 – сердечник, 2 – укладчик, 3 – приводной вал, 4 – горизонтальная направляющая укладчика, 5 – пара шаговых двигателей.

Был разработан алгоритм, реализующий совместное движение двух шаговых двигателей: на каждый виток сердечника укладчик должен совершить перемещение, равное толщине проволоки. Так как укладчик приводится в движение с помощью резьбового вала, горизонтальное перемещение можно выразить через долю одного оборота. На каждые несколько шагов двигателя сердечника должен произойти один шаг вала укладчика. Зная толщину проволоки, легко вычислить пропорцию (например, 4 к 1) и после этого, задав вращение сердечника непрерывным, совершать один шаг вала укладчика одновременно с нужным шагом двигателя сердечника.

На этапе эксплуатации станок показал приемлемые результаты: изделия выполняются качественно, витки распределены равномерно, намотка производится для различного количества слоев с неизменной точностью. При работе выявлены следующие недостатки: неточность исполнения барабанов укладчика при 3D-печати

приводит к прохождению намоточной проволоки между слоями печати вместо расчетного положения, затрудненное горизонтальное перемещение катушки с проволокой. Решением проблем является изготовление барабанов с финишной обработкой до нужной шероховатости либо изготовление их субтрактивными методами; использование гладкой шпильки вместо резьбовой для крепления катушки, также возможно применение линейного подшипника.

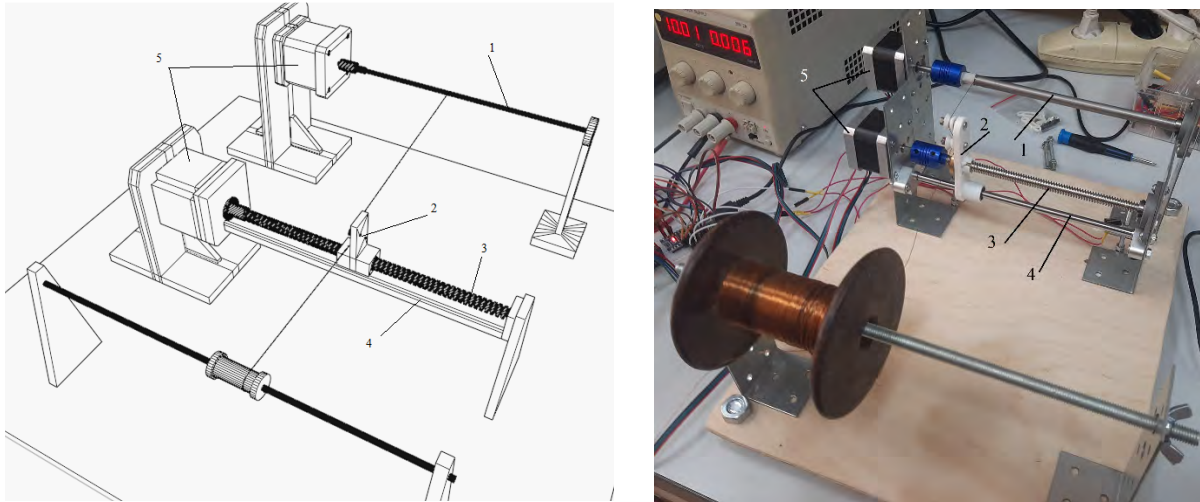


Рисунок – Эскиз и готовая сборка станка

Таким образом, в данной работе создан станок для изготовления выносных магнитных органов управления подходящего размера. Он обеспечивает стабильное качество образца, позволяя при этом варьировать толщину намоточной проволоки, длину участка намотки, количество слоев и оптимальную скорость. В перспективе работы над станком предполагается внедрение датчика, следящего за целостностью проволоки, а также замена конструктивных элементов на более качественные. Станок планируется применять для изготовления экспериментальных органов управления для аппаратов формата CubeSat.

*Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.*

### Библиографический список

1. Kumarin A.A., Sobornickaya A.N., Kudryavcev I.A. Design methods of planar magnetic actuators for small satellites attitude control systems // 2022 8th International Conference on Information Technology and Nanotechnology. ITNT, 2022.
2. Коваленко А.П. Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. М.: Машиностроение, 1975. 248 с.