

Рис. 3. Контур эксцентриковой рукоятки приспособления для зажима деталей, выполненный с помощью спирали

Спираль Архимеда в полярной системе координат имеет вид: $r = a\varphi$, где a – смещение точки кривой по лучу r при повороте на угол в 1 радиан. Рассмотрим пример нахождения длины l первого витка спирали Архимеда. Сделаем это с помощью определённого интеграла: $l = \int_0^{2\pi} \sqrt{r^2 + (r')^2} d\varphi$, т. к. $r' = a$, $\sqrt{r^2 + (r')^2} = \sqrt{(a\varphi)^2 + a^2} = a\sqrt{\varphi^2 + 1}$, то $l = a \int_0^{2\pi} \sqrt{1 + \varphi^2} d\varphi$.

Для вычисления интеграла на данном этапе изучения математики воспользуемся таблицей неопределённых интегралов.

$$l = a \left(\frac{1}{2} \varphi \sqrt{1 + \varphi^2} + \frac{1}{2} \ln \left| \varphi + \sqrt{1 + \varphi^2} \right| \right) \Big|_0^{2\pi} = a \left(\frac{1}{2} 2\pi \sqrt{1 + (2\pi)^2} + \frac{1}{2} \ln \left| 2\pi + \sqrt{1 + (2\pi)^2} \right| - \frac{1}{2} \cdot 0 \cdot \sqrt{1 + (0)^2} + \frac{1}{2} \ln \left| 0 + \sqrt{1 + (0)^2} \right| \right) = a\pi \sqrt{1 + 4\pi^2} + \frac{a}{2} \ln \left| 2\pi + \sqrt{1 + 4\pi^2} \right|.$$

Вывод: кривые второго порядка (и в частности спираль Архимеда), изучаемые в математике, используются во многих технических конструкциях, поэтому следует отметить, что молодые люди, которые в дальнейшем хотят изучать точные науки для будущей профессиональной деятельности, должны уметь пользоваться базовыми знаниями по математике для решения практических задач.

Список использованных источников:

1. Голицин А.С. Построение геометрии диска измельчителя длинностебельных кормов, основанное на втором витке спирали Архимеда / А.С. Голицин // Научный журнал КубГАУ. – 2019. – № 154 (10).
2. Тюрина Л.В. Об истории кривых и их применении / Л.В. Тюрина, И.В. Пролева // Инновационные технологии в науке и образовании. – 2016. – № 3 (7). – С. 11–13.
3. Carl Pfeiffer «An UWB Hemispherical Vivaldi Array» / Carl Pfeiffer, Jeffrey Massman // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2022. – Vol. 70, № 10. – P. 9214–9224.
4. Analysis of Archimedes Spiral Wind Turbine Performance by Simulation and Field Test / H. Jang, D. Kim, Y. Hwang [и др.] // Energies. – 2019. –12. – 4624. – URL: <https://doi.org/10.3390/en12244624> (дата обращения: 23.05.2023). – Текст: электронный.

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ МОТОРОВ ДЛЯ БПЛА

А.В. Алексин^а, студент гр. 10А11

Научный руководитель: Проскоков А.В., к.т.н, доц.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ^аaliginasir@gmail.com

Аннотация: В статье представлен пример конструирования бесколлекторного мотора, предназначенного для использования на мобильной робототехнике и на малом летательном аппарате.

Ключевые слова: бесколлекторный мотор, оснастка для сборки изделия, технические характеристики.

Abstract: The article presents an example of the design of a brushless motor designed for use on mobile robotics and on a small aircraft.

Keywords: brushless motor, accessories for product assembly, technical specifications.

Эволюция совершенствования технологий, переход на цифровые системы и роботизация всех сфер человеческой деятельности оказывают влияние на уровень востребованности новых машин, на варианты ее применения без участия человека. Одним из стратегически важных и быстроразвивающихся в РФ направлений является отрасль малой беспилотной авиации. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) совершенствуются как в плане развития систем управления, так и в создании новых электросиловых установок, обеспечивающих движение летательного аппарата. С развитием компактной микроконтроллерной электроники появилась возможность применения бесколлекторных моторов, как представителя высокоэффективного устройства с возможностью мгновенной регулировки скорости вращения ротора.

С целью дальнейшего совершенствования технических характеристик бесколлекторных двигателей (BLDC – Brushless DC electric motor) и проработки возможной технологии их изготовления в условиях лаборатории металлорежущих станков ЮТИ ТПУ была поставлена задача изучения особенностей конструкции и систематизации типоразмеров.

Эффективность и мощность являются ключевыми характеристиками бесколлекторных моторов для БПЛА. При конструировании моторов необходимо учесть требуемую мощность и как можно более компактный размер для обеспечения оптимальной производительности и веса самого БПЛА. Это может быть достигнуто через оптимизацию материалов, геометрии и конфигурации компонентов мотора.

Следующий важный аспект – теплоотвод. При работе на высоких скоростях и нагрузках мотор может нагреваться, что может вызвать проблемы с его работоспособностью. Поэтому особое внимание необходимо уделить разработке эффективной системы теплоотвода, например, используя радиаторы или вентиляторы. Это позволит увеличить надежность работы мотора и продлить его срок службы.

С целью определения технологических характеристик процесса сборки моторов был приобретен неисправный BLDC мотор производства Китая. Типоразмер A12 (VC1290). Мотор был разобран и протестирован на наличие неисправностей. Установлено, что в нем нарушена целостность обмотки и повышенное биение подшипников качения. Поэтому была произведена перемотка двигателя и заменены два подшипника на новые.

Основным геометрическим параметром для конструирования является статор, который имеет размеры наружного диаметра и толщину на данной модели размеры статора составляют 83x12мм. Также важным параметром будет количество пазов для намотки обмоточного провода. Количество пазов всегда меньше на единицу числа установленных на статор магнитов. На данной модели число магнитов равно 40 размером 5x2x13 мм. Для трехфазного двигателя количество катушек для намотки должно быть кратно трем и равно 36.

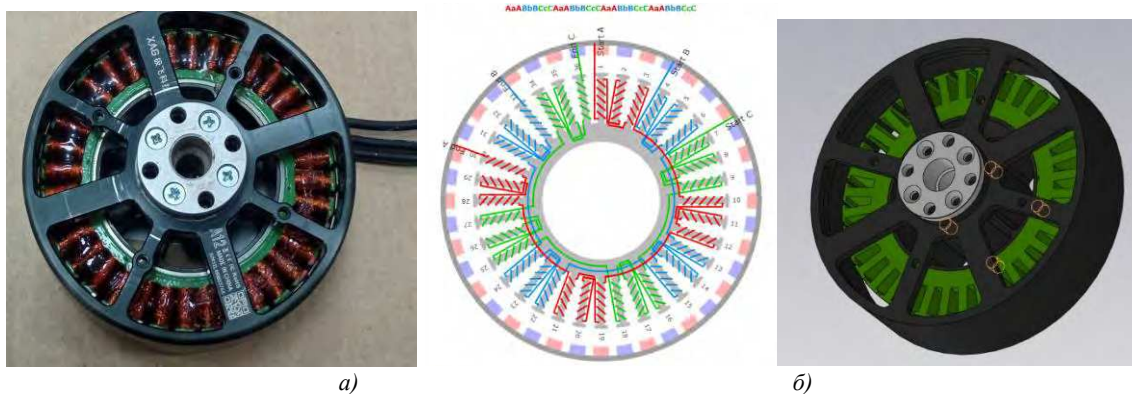


Рис. 1. Мотор серии A12:

а) общий вид восстановленного мотора; б) схема намотки для трехфазного двигателя; в) 3D-модель

По заявленным характеристикам данный двигатель работает на напряжении 50,4 Вольта и должен обеспечить максимальную мощность до 2,5 кВт. Следовательно ток в цепи может соответствовать до 50 А.

На одну обмотку максимальный ток будет соответствовать трети от общей нагрузки 16.6 А.

Для удобства намотки катушек и обеспечения плотности и равномерности заполнения пространства между зубьями статора общее сечение провода разбивают на несколько изолированных жил эмалированного провода.

На данном моторе количество ниток равно 9, диаметр одной нитки провода составил 0,2 мм.

Общая площадь поперечного сечения провода обмотки статора составила $S = 0,283 \text{ мм}^2$. С учетом измеренных характеристик общая длина провода на одну фазу с учетом подключения обмоток по схеме «Звезда» и сечением одного зуба статора составила $l = 4048 \text{ мм}$.

Определим общее сопротивление для восстановленного двигателя, которое должно быть на обмотке статора по формуле [1]:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 4,048}{0,283} = 0,25 \text{ Ом},$$

где $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ – удельное сопротивление медного проводника.

После намотки обмоток на статор двигателя, катушки были пропитаны эпоксидной смолой. После застывания слоя клея произведена сборка и мотор был подвергнут испытаниям под нагрузкой.

С целью разработки технологии изготовления подобных двигателей в системе Компас21 на данный мотор была подготовлена 3Д-модель, состоящая из всех деталей электродвигателя. Были подготовлены чертежи, которые отработали на технологичность изготовления. На рис. 2 показан общий вид специальной оснастки, предназначенной для вклеивания магнитов в ротор. При сборке ротора необходимым и важным параметром для дальнейшей работы является равномерность зазоров между соседними магнитами по внутреннему радиусу. При этом, необходимо учесть, что магниты, которые установлены на роторе установлены противоположными полюсами, а, следовательно, они имеют возможность притягиваться. Оснастка состоит из трех основных частей. Внутреннего сепаратора, наружного кольца и распорной внутренней втулки. Предварительно на поверхность сепаратора наносится слой жидкого воска. Затем на сепаратор, имеющий разделительные перемычки, устанавливаются неодимовые магниты. Для надежности установки производится фиксация магнитов наружным кольцом оснастки.

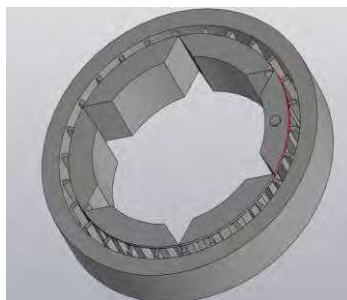


Рис. 2. Общий вид технологической оснастки для вклеивания магнитов



Рис. 3. Бесколлекторный мотор, изготовленный из пластика PetG

После нанесения слоя эпоксидной смолы на поверхность ротора, оправка вместе с магнитами вставляется внутрь ротора. При этом кольцо снимается по мере продвижения сепаратора внутрь отверстия. После отвердевания эпоксидной смолы с магнитами на сепараторе перерезаются перемычки. Таким образом он разделяется на четыре части и выдавливается внутрь ротора. За счет того, что поверхность была пропитана воском, при извлечении оснастки магниты остаются внутри ротора

В результате проведенной работы сделаны выводы, что наибольшую технологическую сложность в изготовлении имеет статор, который состоит из специальной электротехнической стали, а технологический процесс включает наличие специальной оснастки. Все остальные детали будут включать в себя традиционные способы механической обработки на металлорежущем оборудовании.

При наличии готового статора возможно проектирование оборудования для автоматизации намотки катушек и также возможна сборка роторов.

Список использованных источников:

1. Управление синхронными машинами с постоянными магнитами : учебное пособие / Р.С. Гаврилов, Ю.Н. Мустафаев. – Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2019. – 78 с.