

**Вести высших учебных заведений Черноземья**  
**Научно-технический и производственный журнал**

**№ 1 (63) – июнь 2021 г.**

**Основан в 2005 году**

**Главный редактор**

д-р техн. наук, проф.

Шпиганович Александр Николаевич

**Заместитель главного редактора**

д-р техн. наук, проф. каф. электрооборудования

Зацепина Виолетта Иосифовна

**Ответственный секретарь**

Шачнев Олег Ярославович

**Члены редакционной коллегии:**

Сараев Павел Виктрович, д-р техн. наук, доц.  
(Россия), Липецк

Погодаев Анатолий Кириянович, д-р техн.  
наук, проф. (Россия), Липецк

Бялы Витольд, д-р техн. наук, проф. (Польша)

Волтчев Станимир, д-р техн. наук, проф.  
(Португалия)

Руомей Ли, д-р техн. наук, проф. (Китай)

Краснянский Михаил Николаевич, д-р техн.  
наук, проф. (Россия), Тамбов

Лукас Вильмар Адольфович, д-р техн. наук,  
проф. (Германия)

Найзабеков Абдрахман Батырбекович, д-р  
техн. наук, проф. (Казахстан)

Степанов Владимир Михайлович, д-р техн.  
наук, проф. (Россия), Тула

Сухинин Борис Владимирович, д-р техн. наук,  
проф. (Россия), Тула

Тимошин Сергей Иванович, д-р физ.-мат. наук,  
проф. (Беларусь)

Трояновска Малгорзата, д-р техн. наук, проф.  
(Польша)

Моркун Владимир Станиславович, д-р техн.  
наук, профессор (Украина)

Реза Дерахшани, д-р филос. наук (Нидерланды)

**Редакционная коллегия выпуска:**

**Электроэнергетика**

Мещеряков В.Н., д-р техн. наук, проф., Липецк

Абрамович Б.Н., д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербург

Брейдо И.В., д-р техн. наук, проф., Караганда

Гамазин С.И., д-р техн. наук, проф., Москва

Грачева Е.И., д-р техн. наук, проф., Казань

Качанов А.Н., д-р техн. наук, проф., Орел

Шевырев Ю.В., д-р техн. наук, проф., Москва

**Автоматизация и информатика**

Блюмин С.Л., д-р физ.-мат. наук, проф., Липецк

Калинин В.Ф., д-р техн. наук, проф., Тамбов

Качановский Ю.П., канд. техн. наук, доц., Липецк

Литвиненко А.М., д-р техн. наук, проф., Воронеж

Федоров О.В., д-р техн. наук, проф., Нижний Новгород

**Настоящий номер журнала подготовлен к печати Липецким государственным техническим университетом**

**Адрес редакции:**

398055, Липецк, ул. Московская, 30.

E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru

Контактные телефоны: (4742) 32-80-48; 32-80-49

Факс: (4742) 32-80-48

## ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВодОВ НА ОСНОВЕ СЛОЖНОСКОНСТРУИРОВАННЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ МАШИН

Воронежский государственный технический университет

А.А. Агапов, Ю.М. Крылов, Д. Набигира, А.М. Литвиненко  
A.A. Agapov, Yu.M. Krylov, D. Nabigira, A.M. Litvinenko

Рассматривается новый метод моделирования объектов со сложным пространственным распределением отдельных элементов, когда применение трансляционного способа передачи свойств в пределах единого объекта в рамках плоской постановки задачи не применим. Создание и применение в исполнительных механизмах роботизированных систем новых типов электрических машин малых габаритов на основе обмоток со сложной геометрией активной части не позволяло производить исследования плоских моделей. Трехмерное моделирование, в свою очередь, требовало значительных вычислительных и временных ресурсов. Выходом из сложившейся ситуации может стать дискретное моделирование, в основе которого лежит предположение, что позиционное распределение элементов математической модели вдоль определенной оси не происходит с резким переходом, следовательно, возможно произвести расчет указанной модели при плоской постановке задачи путем многократной дискретизации вдоль выбранной оси с последующим формированием массива данных и объединения полученных результатов. Такого рода моделирование возможно осуществить при помощи скриптового языка APDL, который является параметрическим языком программирования различных сценариев, позволяющего обеспечить динамическое перестроение модели в пределах одного скрипт-файла. Представленные технические решения нашли применение при разработке отечественных исполнительных электродвигателей механизмов манипуляционных многокоординатных систем обеспечения движения.

A new method for modeling objects with complex spatial distribution of individual elements is considered, when the use of a translational method for transmitting properties within a single object in the framework of a flat problem statement is not applicable. The creation and application of new types of small-sized electric machines based on windings with complex geometry of the active part in the actuators of robotic systems did not allow for the study of flat models. Three-dimensional modeling, in turn, required significant computational and time resources. A way out of this situation can be discrete modeling, which is based on the assumption that the positional distribution of elements of the mathematical model along a certain axis does not occur with a sharp transition, therefore, it is possible to calculate the specified model with a flat problem statement by repeatedly sampling along the selected axis, followed by the formation of a data array and combining the obtained results. This kind of modeling can be performed using the APDL script language, which is a parametric programming language for various scenarios that allows for dynamic model reconstruction within a single script-file. The presented technical solutions have found application in the development of domestic Executive electric motors for manipulative multi-coordinate motion support systems.

### Введение

Бесконтактные электродвигатели постоянного тока (БДПТ) являются наиболее распространенными электромеханическими преобразователями в самых разнообразных областях техники. Высокая надежность и широкий диапазон регулирования частоты вращения открыли путь к использованию данных электрических машин (ЭМ) в наиболее ответственных системах. Стоит отметить, что такого рода машины широко используются в качестве исполнительных механизмов приводов манипуляторов и других объектов обеспечения движения, начи-

ная от оборудования массового потребления и заканчивая сверхсложными комплексами космического базирования [1].

С учетом вышесказанного к машинам подобного уровня предъявляются особые требования еще на этапе проектирования. В области электромашиностроения помимо таких основополагающих характеристик, как КПД, развиваемый момент и частота вращения, немаловажную роль играет массогабаритный показатель. Ввиду этого довольно часто инженерам, разрабатывающим новые машины, требуется оптимизировать все электромеханические характеристики в строго ограниченном по габаритному пока-