

ра. По результатам вычислений стоит отметить, что различие в плотности магнитного потока сохраняется до соизмеримых размеров межполюсных расстояний и не превышает погрешность для плоского зазора – 11 %, эквидистантного зазора – 6÷10 %, серповидного зазора – 5÷9 %.

#### Список использованных источников

1. Скворчевский, Н.Я. Научные основы повышения эффективности магнитно-абразивной обработки созданием сверхсильных магнитных полей и новых технологических сред : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.08 ; 05.03.01 / Н.Я. Скворчевский ; БГПА. – Минск, 1994. – 35 с.

2. Майборода, В.С. Магнитно-абразивная обработка деталей сложной формы / В.С. Майборода, И.В. Слободянюк, Д.Ю. Джулий. – Житомир : ПП «Рута», 2017. – 272 с.

3. Акулович, Л.М. Магнитно-абразивная обработка сложнопрофильных поверхностей деталей сельскохозяйственных машин / Л.М. Акулович, Л.Е. Сергеев. – Минск : БГАТУ, 2019. – 272 с.

УДК 621.923

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Автор: А.О. Сакович, студент

Научные руководители: Л.М. Акулович, д-р техн. наук, профессор;

Л.Е. Сергеев, канд. техн. наук, доцент

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

Компьютерное программирование служит одним из эффективных способов решения физических задач и среди его инженерных приложений имеется ряд приемлемых и часто используемых численных методов расчета [1]. Важным сегментом проектирования различных приборов и устройств является компьютерное моделирование как одна из форм современных конечно-элементных тех-

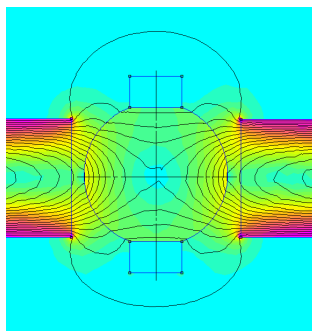
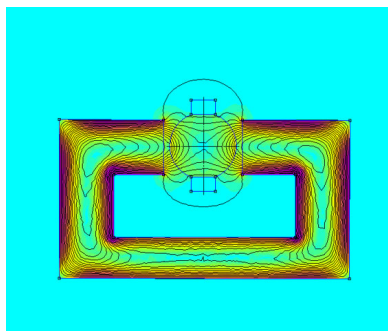
нологий, что связано с сокращением сроков и этапов их разработки ввиду использования высокоэффективных программ и алгоритмов, в том числе и для компьютерного моделирования магнитных полей (МП). Компьютерное моделирование состоит в численном решении системы уравнений Максвелла при заданных граничных условиях. Для эффективного моделирования физических задач путем выполнения электромагнитных расчетов в настоящее время наиболее целесообразно использовать программные комплексы Femm. Данная программная среда дает широкие возможности при расчете магнитных полей, что позволяет проводить комплексное моделирование физических полей при магнитно-абразивной обработке (МАО) как одной из самых современных программных платформ. Основная задача применения метода конечных элементов при компьютерном моделировании МП заключается в анализе его топографии и в отличие от теоретического подхода значительно уменьшает громоздкость и сложность инженерного расчета [2–5]. Достаточность результатов анализа топографии МП при использовании метода конечных элементов и построении их сетки и размеров ячеек обеспечивается при достаточно небольшом объеме вычислительного ресурса. Важность этапа моделирования МП определяется правильностью постановки задачи, выбора граничных условий и установлением оптимально-ориентированного количества узлов сетки.

Распределение магнитного поля электромагнитной системы (ЭМС) в виде двумерной модели, развернутой в пространстве, представлено на рисунке 1. В области плоского зазора наибольшая концентрация линий магнитной индукции достигается в его средней части между поверхностью разрыва магнитопровода и максимальным диаметром неполной сферы исследуемого образца (0,74 Тл). На верхней и нижней границе рабочего зазора величина магнитной индукции у поверхности разрыва магнитопровода составляет величину  $0,16 \pm 0,18$  Тл. Изменение рабочего зазора на два порядка (от 0,5 до 5 мм) существенно уменьшает величину поля до 0,05 Тл. В пространстве вне рабочего зазора происходит выпучивание магнитного потока, заключающееся в вытеснении магнитного потока из рабочего зазора и образовании флюкуляции, величина которой равна 0,13 Тл, что достигает порядка 15 % от общей величины магнитного потока, рисунок 1, а. В эквидистантном зазоре

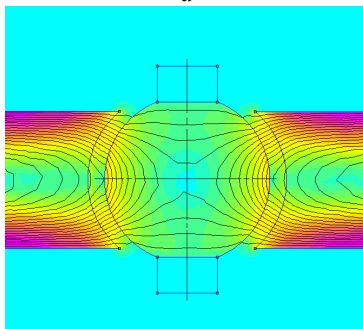
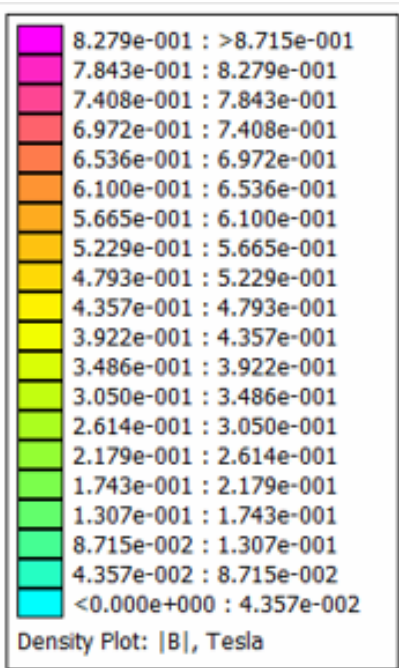
наблюдается достаточно равномерное распределение магнитного поля по радиусу объекта и низкий уровень образования флюкул за границами рабочего зазора.

Сближение полюсов электромагнита и образующей сферической поверхности ограничивается длиной цепочек, создающих необходимую магнитодвижущую силу. Поэтому на малых зазорах наблюдается концентрация МП, что приводит к уплотнению зерен ферроабразивного порошка (ФАП) и исключению их переориентации. Увеличение давления на подобных локальных участках является причиной разрушения зерен ФАП ввиду непрочности соединения частиц железа и абразива. На рисунке 1, б представлено распределение магнитной индукции поля вдоль образующей на сферической поверхности объекта. Распределение магнитной индукции на поверхности объекта при различных зазорах от 0,5 до 5 мм составляет значения от 0,69 до 0,071 Тл на всех трех плоскостях измерения. Преодоление указанных ограничений заключается в уменьшении локального межполюсного расстояния при использовании встречно направленных асимметрично серповидных наконечников на полюсах электромагнита.

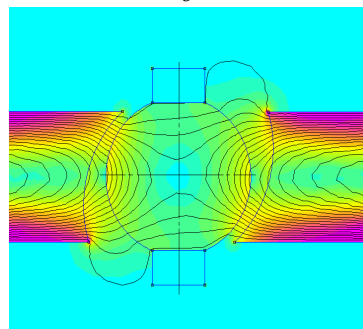
На рисунке 1, в представлено распределение магнитной индукции поля вдоль образующей на сферической поверхности объекта. Величина магнитной индукции на поверхности разрыва магнитопровода на верхней границе рабочего зазора составляет величину 0,57, на нижней – 0,83, в средней части – 0,72 Тл. При величине рабочего зазора  $\delta = 1$  мм происходит наиболее равномерное распределение магнитного поля в рабочей зоне (от 0,83 до 0,33 Тл). При увеличении зазора до 5 мм осуществляется плавное уменьшение магнитной индукции при удалении от центра ЭМС (от 0,83 до 0,25 Тл). При равных геометрических размерах обрабатываемого изделия значение магнитной индукции в межполюсном пространстве превышает 0,9 Тл, а на высоте 4 мм индукция меняется в пределах  $0,3 \div 0,22$  Тл, что значительно превышает индукцию вблизи поверхности плоского зазора ЭМС (0,13 до 0,03 Тл). В пространстве вне рабочего зазора происходит выпучивание магнитного потока, заключающееся в его вытеснении из рабочего зазора и образование флюкуляции, величина которой равна 0,07 Тл, что достигает порядка 7 % от общей величины магнитного потока.



*a*



*б*



*в*

*a* – плоский; *б* – эквидистантный; *в* – серповидный

Рисунок 1 – Топография МП в рабочем зазоре для наружных сферических поверхностей

### Список использованных источников

1. Резинкина, М.М. Численный расчет магнитного поля и магнитного момента ферромагнитных тел сложной пространственной

конфигурации / М.М. Резинкина // Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79. – Вып. 8. – С. 8–17.

2. Размышляев, А.Д. Расчет магнитного поля для систем с осесимметричным распределением токов / А.Д. Размышляев, В.Р. Мавевский // Вестн. Приазовского гос. техн. ун-та. Сер. техн. науки. – 1999. – Вып. № 8. – С. 143–146.

3. Суворкова, Е.Е. Расчет магнитного поля и индуктивных параметров синхронных реактивных двигателей / Е.Е. Суворкова, Ю.Н. Дементьев, Л.К. Бурулько // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 6–1. – С. 112–116.

4. Милых, В.И. Автоматизированные расчеты в программной среде FEMM динамики электромагнитных процессов турбогенераторов / В.И. Милых, Н.В. Полякова // Электротехника і електромеханіка. – 2015. – № 6. – С. 24–30.

5. Милых, В.И. Автоматизированное формирование расчетных моделей турбогенераторов для программной среды FEMM / В.И. Милых, Н.В. Полякова // Электротехника і електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 7–14.

УДК 621.77.04

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТВАЛОВ ПЛУГОВ**

Автор: Д.И. Копчик, магистрант

Научный руководитель: Н.К. Толочко, д-р физ.-мат. наук, профессор

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

Изготовление деталей сельхозтехники из полимеров позволяет повысить их эксплуатационные свойства, уменьшает их массу и себестоимость. Характерный пример таких деталей – отвалы лемешных плугов. Вспашка имеет низкую экономическую эффективность из-за большой энергоемкости, обусловленной высоким коэффициентом трения почвы о рабочую поверхность отвала, ее налипанием на эту поверхность. Для решения данной