

УДК 621. 313: 621.318.122

*д.т.н. Заблодский Н.Н.,  
Филатов М.А.,  
Грицюк В.Ю.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПОЛЫМ ПЕРФОРИРОВАННЫМ РОТОРОМ**

*Проведено дослідження магнітного поля та напруженості електричного поля вихрових струмів в ПЕМП з порожнистим перфорованим ротором. Показано прийнятне узгодження експериментальних даних з даними чисельного експерименту.*

**Ключові слова:** *поліфункціональний електромеханічний перетворювач, перфорований ротор, магнітна індукція, вихрові струми.*

*Проведено исследование магнитного поля и напряженности электрического поля вихревых токов в ПЭМП с полым перфорированным ротором. Показано приемлемое согласование экспериментальных данных с данными численного эксперимента.*

**Ключевые слова:** *полифункциональный электромеханический преобразователь, перфорированный ротор, магнитная индукция, вихревые токи.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Численный эксперимент, полностью или частично замещающий физический, может рассматриваться, как основа при создании систем автоматизированного проектирования электромеханических устройств. Построение приемлемой математической модели, которая, с одной стороны, достаточно полно отражает физику протекающих процессов, а с другой – может быть решена на персональном компьютере, должно осуществляться путем постепенного уточнения. Одним из способов такого уточнения является сопоставление данных численного и физического экспериментов, что особенно актуально, если речь идет о создании нового класса электромеханических устройств. К таким устройствам относятся полифункциональные электромеханические преобразователи (ПЭМП) с полым ферромагнитным ротором имеющим перфорированную структуру [1].

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является экспериментальная проверка и сравнение полученных данных с расчетными зависимостями, которые получены при решении трехмерной полевой задачи методом конечных элементов в работе [2].

**Описание эксперимента.** Эксперимент проводился на образцах ПЭМП с двумя конструктивными исполнениями полого ферромагнитного ротора – гладким и перфорированным. Конструктивные параметры гладкого ротора: наружный диаметр – 85 мм; длина – 75 мм; толщина стенки – 3,5 мм. Перфорированный ротор имеет аналогичные линейные размеры, число радиальных отверстий – 24, диаметр отверстий – 4 мм. Ряды отверстий выполнены равномерно по длине окружности ротора (восемь аксиальных рядов по три отверстия). Расстояние между центрами отверстий одного ряда – 19 мм. Общий вид полого перфорированного ротора представлен на рисунке 1.

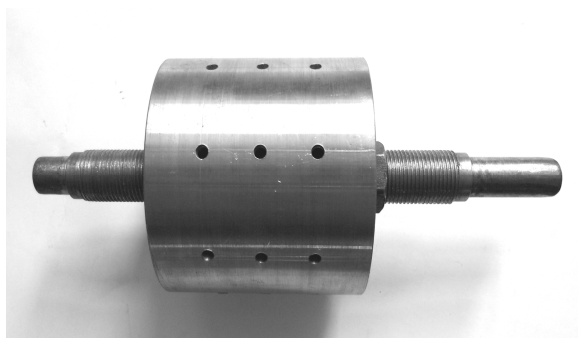


Рисунок 1 – Общий вид полого перфорированного ротора

В качестве базы был использован статор асинхронного двигателя АОЛ-21-2, который имеет следующие конструктивные параметры: наружный диаметр – 140 мм; внутренний диаметр – 88 мм; длина сердечника – 75 мм; воздушный зазор – 1,5 мм (увеличен с целью размещения индуктивных датчиков); число зубцов – 24.

Измерение магнитной индукции в воздушном зазоре ПЭМП выполнялось с помощью измерительных витков и катушек. Расположение измерительных витков показано на рисунке 2. Измерительные витки были заложены на поверхности статора и использовались для определения среднезонных значений магнитной индукции в пределах полюсного деления статора, а также в пределах условного зубца ротора. На рисунке 3 представлен общий вид измерительной катушки, используемой для определения локальных значений индукции в воздушном зазоре. Число витков измерительной катушки – 120, внешний диаметр – 14 мм, внутренний – 8 мм. Измерительные витки и катушки изготовлены в соответствии с рекомендациями [3,4].

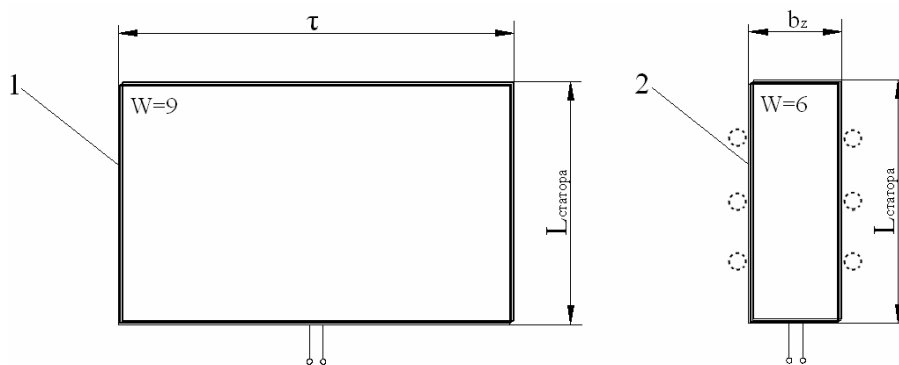


Рисунок 2 – Расположение измерительных витков



Рисунок 3 – Общий вид измерительной катушки

Величина и форма измеряемых ЭДС регистрировались с помощью цифрового осциллографа RIGOL DS5062M.

**Изложение материала и его результаты.** На рисунке 4 представлены результаты измерения ЭДС наводимой в измерительных витках 1 в режиме холостого хода, для образца ПЭМП с гладким и перфорированным ротором.

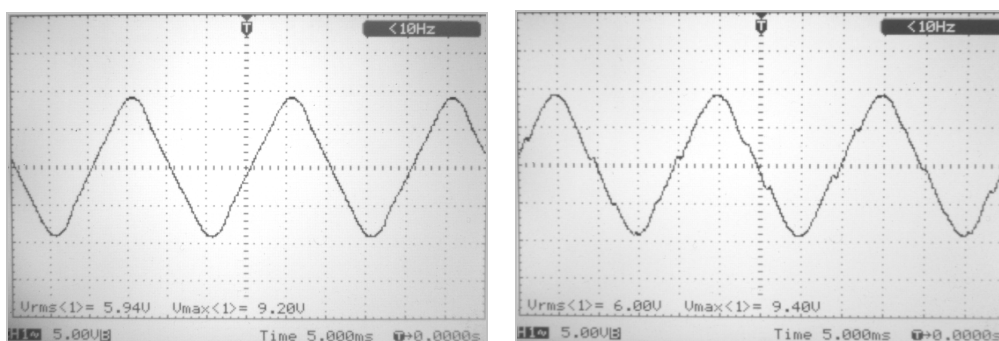


Рисунок 4 – Результаты измерения ЭДС измерительных витков 1 в режиме холостого хода

Для кривой индукции образца ПЭМП с перфорированным ротором характерны незначительные провалы, что обусловлено технологическими погрешностями при выполнении отверстий в роторе, а также при изготовлении измерительных витков, т.к. суммарный магнитный

поток пронизывающий измерительные витки на полюсном делении остается постоянным независимо от угла поворота ротора. Среднее значение индукции на полюсном делении составило 0,454 Тл.

На рисунке 5 представлены результаты измерения ЭДС измерительных витков 2 для образцов ПЭМП с гладким и перфорированным ротором в режиме холостого хода. Пиковое значение индукции для ПЭМП с перфорированным ротором составило 0,783 Тл. Минимальное значение индукции в зоне наибольшего провала – 0,509 Тл.

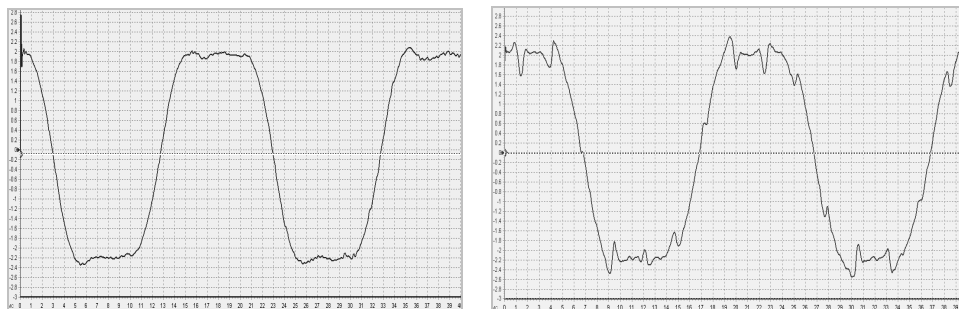


Рисунок 5 – Результаты измерения ЭДС измерительных витков 2 в режиме холостого хода

Из рисунка видно, что в кривой индукции для ПЭМП с перфорированным ротором (справа) присутствуют восемь провалов и четыре пика в течение одного периода. Такой характер кривой объясняется снижением плотности силовых линий поля в пределах площади отверстия, и их сгущением в зоне кромки отверстия. Характер распределения индукции в зазоре ПЭМП вполне соответствует данным, полученным в ходе численного расчета (рисунок 6). Зона отверстия на рисунке ограничена пунктирными линиями.

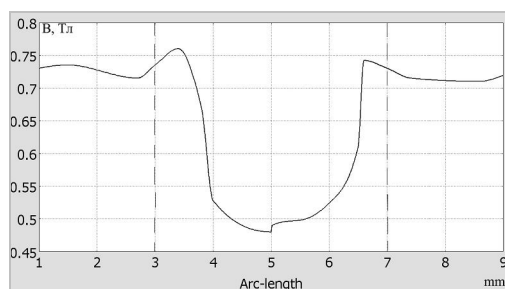


Рисунок 6 – Распределение нормальной составляющей магнитной индукции вдоль середины воздушного зазора над отверстием (расчет)

По результатам измерений локальных значений магнитной индукции в пределах площади сплошных участков ротора наибольшее амплитудное значение индукции составило 0,722 Тл.

Оценка распределения вихревых токов и определение напряженности электрического поля выполнялась на внутренней поверхности перфорированного ротора с применением потенциального зонда. Измерения выполнены в квазиустановившемся тепловом режиме при неподвижном роторе. Игольчатые электроды располагались поперек оси ротора. Расстояние между электродами потенциального зонда составляет 10 мм.

На рисунке 7 представлены некоторые результаты измерений напряженности электрического поля вихревых токов. Первая кривая (слева) представляет собой напряжение между электродами для случая расположения потенциального зонда в краевой зоне ротора. Вторая кривая – напряжение для случая расположения потенциального зонда по середине длины перфорированного ротора.

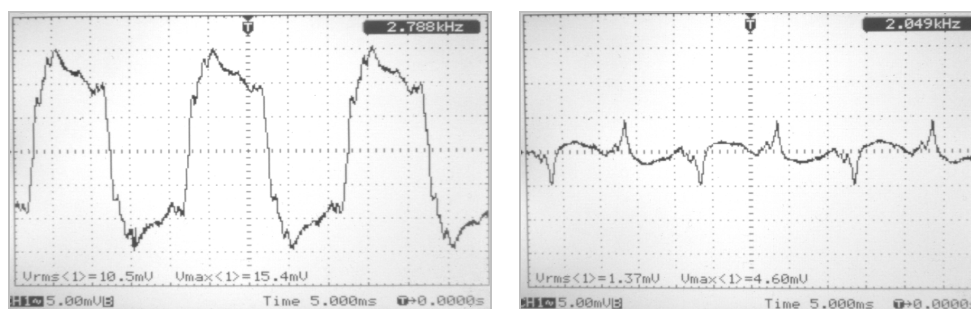


Рисунок 7 – Результаты измерений напряженности электрического поля вихревых токов

На рисунке 8 представлена кривая распределения плотности тока вдоль длины перфорированного ротора, построенная по результатам измерений напряженности электрического поля. Значения плотности тока отложены в относительных единицах. За единицу приняты значения плотности тока по краям перфорированного ротора.

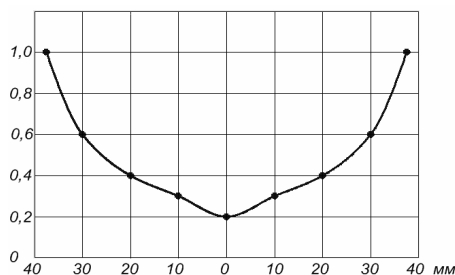


Рисунок 8 – Распределение плотности тока вдоль длины перфорированного ротора

На рисунке 9 представлена кривая распределения плотности тока вдоль длины перфорированного ротора в режиме короткого замыкания полученная при решении трехмерной полевой задачи численным методом. Характер рассчитанной кривой хорошо согласуется с данными физического эксперимента. Пики в кривой на рисунке 9 – это расчетная погрешность, обусловленная грубой сеткой конечных элементов. Провалы по краям кривой связаны с наличием в модели ферромагнитного дна со стороны торцов ротора, которое играет роль шунта. Ввиду малого воздушного зазора измерение напряженности электрического поля выполнялось на внутренней поверхности ротора, с предварительно снятыми ферромагнитными крышками.

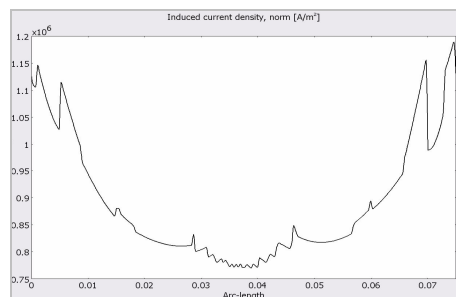


Рисунок 9 – Расчетная кривая распределения плотности тока вдоль длины перфорированного ротора

### Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Проведено исследование магнитного поля и напряженности электрического поля вихревых токов в ПЭМП с полым перфорированным ротором. Показано приемлемое согласование экспериментальных данных с данными численного эксперимента.

2. Дальнейшие исследования должны быть направлены на определение распределения плотности вихревых токов, а также объемной плотности электромагнитных сил в полым перфорированном роторе ПЭМП на основе численных экспериментов.

### Библиографический список

1. *Заблодский Н.Н. Полифункциональные электромеханические преобразователи технологического назначения: монография. // Заблодский Н.Н. – Алчевск: ДонГТУ. – 2008. – 296 с.*

2. *Заблодский Н.Н., Численное моделирование электромагнитных полей в полифункциональных электромеханических преобразователях с полым перфорированным ротором / Заблодский Н.Н., Филатов М.А., Грицюк В.Ю. // Електротехніка і Електромеханіка. - 2012. - №1.*

3. *Шаповаленко О.Г Основы электричних вимірювань: підручник. / Шаповаленко О.Г., Бондар В.М. - К.: Либідь, 2002. – 320 с.*

4. [http://imlab.narod.ru/M\\_Fields/MF\\_Coil/MF\\_Coil.htm](http://imlab.narod.ru/M_Fields/MF_Coil/MF_Coil.htm)

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Лущиком В.Д.*

