

Особенности моделирования малогабаритных экранированных магнитоиндукционных преобразователей карандашного типа с использованием метода конечных элементов для толщиномеров покрытий.

<sup>1</sup>Васильев А. Ю.

<sup>1</sup> ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, Санкт-Петербург, Россия, [vasilev.ay@bk.ru](mailto:vasilev.ay@bk.ru), +79818909442

Научный руководитель: Сясько В. А., д.т.н.

Особенностью современного промышленного производства является повышение спроса на малогабаритные магнитоиндукционные двухобмоточные трансформаторные преобразователи толщиномеров для контроля толщины токопроводящих ферромагнитных и диэлектрических покрытий на ферромагнитных основаниях или ферромагнитных покрытий на токопроводящих немагнитных или диэлектрических основаниях.

Измерение толщины покрытий малогабаритными преобразователями, в основном, на малоразмерных изделиях и в труднодоступных местах изделий сложной геометрической формы, что влечет за собой влияние двух мешающих параметров: краевого эффекта и угол наклона оси преобразователя относительно касательной к поверхности изделия (эффект качания). Эти мешающие параметры вносят разный вклад в систематическую погрешность результатов измерения, которую можно минимизировать оптимизацией, в том числе:

1. относительного расположения обмоток;
2. геометрических параметров обмоток (диаметры и высоты обмоток);
3. геометрических параметров ферромагнитного сердечника (диаметр, высота, радиус опорной поверхности);
4. геометрических характеристик внешнего экрана из ферромагнитных материалов (внешний диаметр и толщина стенки в зоне контроля);
5. высоты расположения обмотки возбуждения;

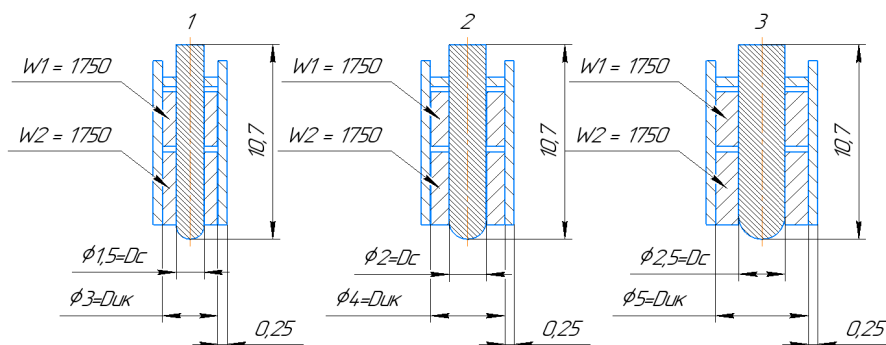
При этом должна обеспечиваться наибольшая чувствительность при минимально возможных габаритных размерах и минимальном диаметре зоны контроля.

Использование систем, реализующие метод конечных элементов (МКЭ), для задач оптимизации конструкции преобразователей требует понимания природы возникающих ошибок.

Как известно, реальная конструкция заменяется дискретной моделью элементов с конечным числом степеней свободы, а аппроксимация не дает точного описания распределения искомых величин в элементе, а лишь приближенное. Все результаты, полученные в данных системах, стоит считать приближенными к реальным. Вопросы о точности, устойчивости (определяемой выбором граничных условий, оптимальной разбивкой области на конечные элементы (КЭ) и пр.) и сходимости результатов (постепенном приближение значений к предельному), по мере уточнения параметров модели, полученных при использовании МКЭ, являются одними из основных.

При моделировании магнитоиндукционных преобразователей толщиномеров важно сгущать сетку КЭ в местах наибольшего градиента индукции поля и в области потоков рассеяния (опорная

поверхность сердечника, нижняя часть внешнего экрана, измерительная обмотка, часть объекта контроля непосредственно в зоне измерения). Однако, вместе с уменьшением размеров КЭ увеличивается время просчета модели. Эффективность уменьшения размера КЭ имеет свои пределы, после которого время просчета станет нерационально большим. Не менее эффективным оказалось использование способа усреднения результатов расчета модели, которые получаются путем многократного расчета системы при разных вариациях построения сетки модели. Однако, практика показала, что оценка достоверности модели возможна только при изготовлении макета чувствительного элемента магнитоиндукционного преобразователя. В докладе рассмотрено конструирование нескольких вариантов первичных измерительных преобразователей



карандашного типа (рис. 1) для ПАО ОДК «Сатурн».

Рис. 1. Конструкции моделируемых преобразователей

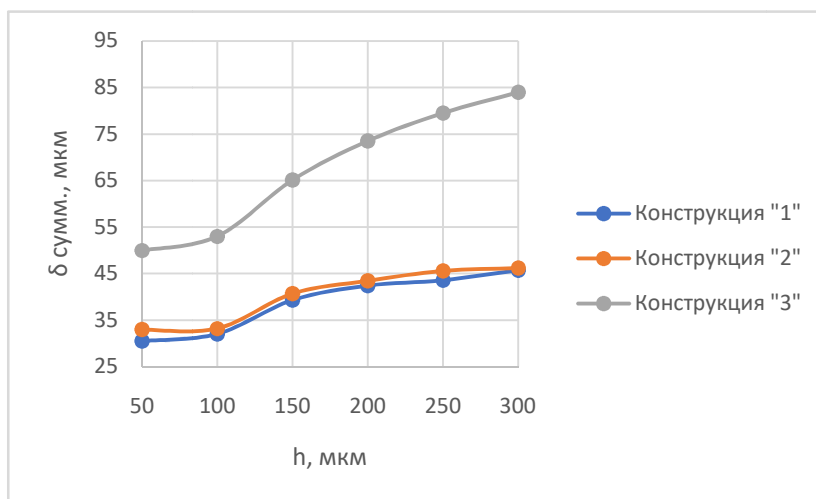


Рисунок 2. Зависимость суммарной погрешности измерения  $\delta$  от толщины  $h$  для трех конструкций моделируемых преобразователей

Рассмотрен процесс их моделирования с использованием МКЭ, методик экспериментальных исследований при макетировании и результаты внедрения, что позволило накопить практический опыт контроля достоверности моделей (их верификации), оптимизация

которой является изначальной задачей, и методик проверки теоретических результатов оптимизации практическим путем.