

*д. т. н., вед. научн. сотр. Яковенко В.В.*

*(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

*к. т. н., доц. каф. «Приборы» Шведчикова И.А.,*

*аспирант каф. «Приборы» Водолазский В.Н.*

*(ВНУ им. В. Д. Даля, г. Луганск, Украина)*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРА**

*Розглянуто методику синтезу електромагнітної системи, яка складається з кількох котушок прямокутного перетину, по заданому значенню напруженості поля. Запропоновано спосіб оптимізації розмірів та взаємного розташування котушок з метою зменшення значень струмів.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Магнитные системы, построенные на основе катушек прямоугольного сечения, находят применение в различных технических устройствах, например, в вихретоковых датчиках металлодетекторов для создания зондирующих магнитных полей [1, 2]. Обоснованный выбор параметров таких магнитных систем с целью улучшения их метрологических и функциональных характеристик, а также экономических показателей устройств, в которых они используются, представляет научный и практический интерес.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Основой параметрического синтеза магнитного поля катушек прямоугольного сечения является подход, предложенный в работе [3]. При этом исходная катушка разбивается на ряд секций из тонких катушек, витки которых имеют прямоугольную форму (рис.1). Методика синтеза, изложенная в [3], позволяет подобрать оптимальные геометрические размеры тонких катушек исходя из найденных значений токов, обеспечивающих заданную величину индукции магнитного поля в отдельных точках исследуемой области, имеющей форму параллелепипеда. При использовании данной методики предполагается, что секции катушки имеют одинаковые геометрические размеры. Дальнейшее развитие указанная методика получила в работе [4], где синтез магнитного поля электротехнического устройства (в частности, металлодетектора) выполнялся при различных геометрических размерах

секций катушек, однако без учета возможного изменения координат секций.

**Постановка задачи.** Пусть в объеме контролируемой зоны  $V$ , имеющем форму параллелепипеда, требуется создать однородное поле, направленное вдоль оси  $0y$ , с помощью катушки, представляющей собой совокупность  $N$  тонких катушек, витки которых имеют прямоугольную форму и лежат в плоскостях, параллельных плоскости  $xoz$  (рис.2). Из рис.1 следует, что координаты секций 1 и 3 по оси  $y$  являются фиксированными и обусловлены требованиями к габаритным размерам проектируемого устройства (металлодетектора). Расположение секции 2 между секциями 1 и 3 может быть произвольным. Следовательно, изменяя положение секции 2 относительно секций 1 и 3, можно подобрать ее оптимальное расположение с точки зрения значений токов в секциях катушки прямоугольного сечения. Таким образом, необходимо определить геометрические размеры тонких катушек и значение координаты  $y$  секции 2 катушки, при которых токи в секциях будут минимальными, что и является целью настоящей публикации.

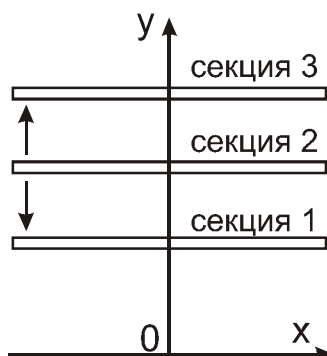


Рисунок – 1 Расположение секций катушки прямоугольного сечения

### **Изложение материала и полученные результаты.**

Алгоритм решения задачи синтеза.

Бесконечно тонкие прямоугольные витки катушки, как следует из рис.2, имеют размеры  $2a_j$  и  $2c_j$  ( $j=1, 2, 3$ ), а ось  $0y$  проходит через центры проектируемых тонких катушек.

Как было отмечено выше, синтез магнитного поля электромагнитной системы металлодетектора выполняется путем подбора размеров секций катушки и их взаимного расположения, при которых обеспечиваются минимальные значения токов в этих секциях, удовлетворяющие заданным значениям напряженности поля в контролируемой зоне (рис. 3).

Для определения токов в секциях воспользуемся зависимостью  $y$ -составляющей напряженности магнитного поля  $H_j(y)$  в  $k$ -ой точке пространства от величины тока  $j$ -ой секции [4]

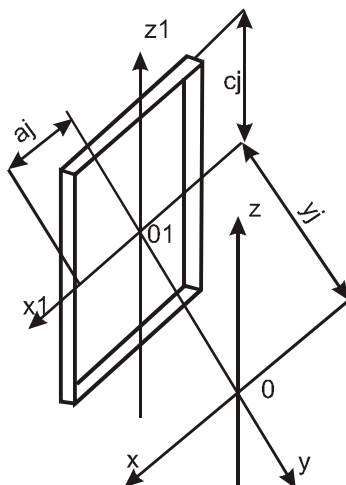


Рисунок – 2 Геометрические размеры зондирующей катушки

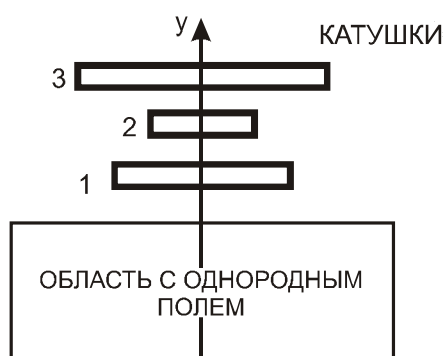


Рисунок – 3 Расположение секций катушек и зоны однородного поля

$$H_j(y) = \frac{1}{\pi} \frac{a_j c_j}{\sqrt{a_j^2 + (y_k - y_j)^2 + c_j^2}} \left[ \frac{1}{(y_k - y_j)^2 + a_j^2} + \frac{1}{(y_k - y_j)^2 + c_j^2} \right], \quad (1)$$

где  $y_k$  – координата  $k$ -той точки пространства;

$y_j$  – координата  $j$ -й секции;

Токи в секциях катушки находятся из условия:

$$\left\| \bar{H}_j(y) - \sum_{j=1}^N i_j \bar{H}_j(y) \right\| = \min, \quad (2)$$

где  $N$ - количество секций катушки.

$$y \in [0m - 1 \text{ до } + 1]$$

В приведенном выражении под нормой понимается норма в линейном Гильбертовом пространстве векторных полей, заданных в интервале [от 1 до 1-1] В этом случае мы приходим к задаче о разложении по неортогональной системе, которая сводится к системе линейных алгебраических уравнений, решением которой будет совокупность токов в секциях катушек

$$\sum_{j=1}^N (H_j; H_k) i_j = (H, H_k), k = 1, N. \quad (3)$$

По данной методике расчет производился в два этапа. На первом этапе выполнялся расчет для секций катушек, у которых был задан геометрический параметр  $a_j$ , а параметр  $c_j$  подбирался таким образом, чтобы токи секций  $i_1$ ,  $i_2$  и  $i_3$  были минимальными. При расчете было принято допущение о том, что катушка состоит из одного витка.

Синтез проводился для напряженности поля, равной  $H=200\text{А/м}$ . Значения напряженности определялись в лежащих на оси  $Oy$  точках с координатами  $y_1=0\text{м}$ ,  $y_2=0,05\text{м}$ ,  $y_3=0,15\text{м}$ . При этом нулевое значение по координате  $y$  соответствует плоскости конвейерной ленты.

На втором этапе с учетом найденных на первом этапе геометрических размеров секций токи  $i_1$ ,  $i_2$  и  $i_3$  уточнялись путем изменения положения секции 2 относительно секций 1 и 3. При этом был использован метод прямого перебора. Результаты расчета токов в секциях катушки при изменении положения секции 2 представлены на рис.4. Минимальные значения токов были достигнуты при расположении секции 2 в точке с координатой  $y=0,301\text{м}$ . В табл.1 приведены для сравнения результаты, полученные на первом и втором этапах оптимизации.

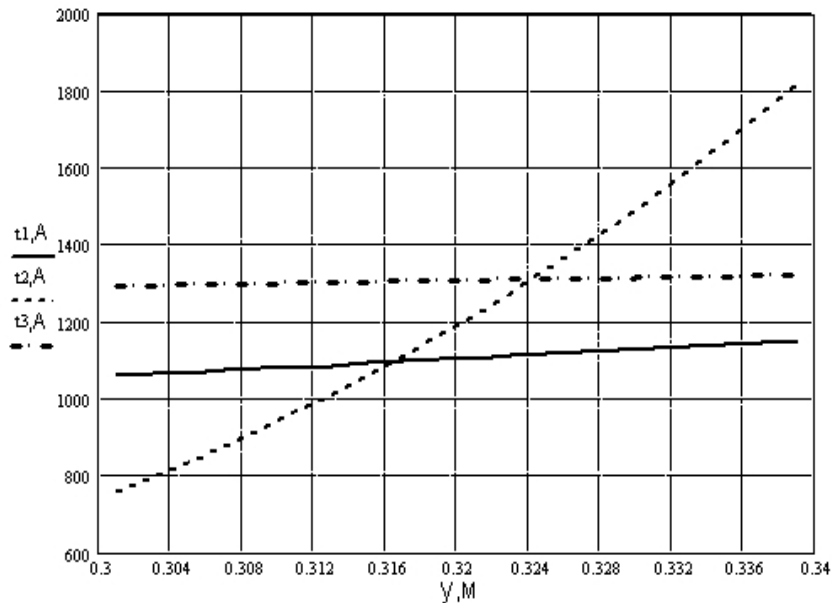


Рисунок – 4 Изменение токов в секциях катушки при изменении положения секции 2

Как видно из таблицы, удалось добиться значительного снижения значений токов в секциях катушек.

**Выводы.** Для получения однородного поля в контролируемой зоне предлагается применять блоки возбуждающих катушек прямоугольного сечения. При этом синтез геометрических размеров и взаимного расположения катушек целесообразно проводить по описанному выше методу для получения заданных значений напряженности поля.

Таблица 1 - Результаты оптимизации

Значения токов	Секция 1	Секция 2	Секция 3
До оптимизации, $\times 10^3$ А	74,152	176,071	104,267
После первого этапа оптимизации, $\times 10^3$ А	1,104	1,190	1,308
После второго этапа оптимизации (изменения положения секции 2), $\times 10^3$ А	1,059	0,758	1,292

*Рассмотрено методика синтеза электромагнитной системы, состоящей из нескольких катушек прямоугольного сечения, по заданному значению напряженности поля. Предложен способ оптимизации размеров и взаимного расположения катушек с целью уменьшения значений токов.*

*A technique of synthesis of the electromagnetic system consisting of several coils of rectangular section at prescribed value of field intensity is considered. The way of optimization of the sizes and relative position of coils with the purpose of reduction of currents values is proposed.*

### **Библиографический список.**

1. Шведчикова И.А., Водолазский В.Н. Повышение чувствительности и помехоустойчивости вихретокового металлодетектора // Вестник НТУ «ХПИ».-2004. - №22.- С.107-112.

2 Шведчикова И.А., Водолазский В.Н. Принципы построения металлодетекторов (обзор)// Вісник СНУ імені Володимира Даля.-2006.- №9(103). - С. 242-247;

3. Стадник И.П. Улучшение сходимости итерационного процесса разложения по неортогональной системе в применении к синтезу катушки прямоугольного сечения по заданному полю в объеме // Изв. вузов СССР. Электромеханика. – 1984. - №7. - С.5.-11.

4. Яковенко В.В., Водолазский В.Н. Синтез магнитного поля электротехнического устройства// Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2007. - № 3 (44), частина I. – С. 58-59.

*Рекомендовано к печати  
д. т. н., проф. Зеленовым А.Б.*