

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Электромагнитное поле в устройстве имеет сложную вихревую структуру.

2. Электромагнитные силы в канале имеют неоднородное распределение как по величине, так и по направлению, что вызовет возникновение вихревой составляющей скорости расплава, которая может несколько снизить эффективность устройства<sup>1</sup>.

### **Библиографический список**

1. А. с. 1612365 СССР, МКИ Н 02 К 44/00. Устройство для обработки расплавленного металла / Смолин Я. Г., Смолин Г. К. Оpubл. 07.12.90, Бюл. № 45.

2. Немков В. С., Демидович В. Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л., 1988.

3. Саранулов Ф. Н., Саранулов С. Ф., Шымчак П. Математические модели линейных индукционных машин на основе схем замещения. Екатеринбург, 2001.

Г. А. Марьин, Г. К. Смолин,  
С. В. Федорова

## **МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНАЛА В ПРИМЕНЕНИИ К ЗАДАЧАМ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

Компьютеры способны решать качественно новые задачи, используя методы, не восходящие к традиции. К числу последних относятся численные методы непосредственной минимизации функционала. В применении к задачам электротехники подобные методы обнаруживают ряд преимуществ. Во-первых, они исходят из фундаментальных законов физики; во-вторых, достаточно просты для вычислений; в-третьих, получаемые результаты легко обозримы и имеют достаточно прозрачную физическую интерпретацию; в-четвертых, имеется возможность работать с неаналитическими функциями, и, наконец, в-пятых, отказ от использования зависи-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 04-06-00464а).

мостей в виде дифференциальных уравнений освобождает от необходимости трудоемкой проверки решений на устойчивость.

Подобный метод был успешно применен для решения задач в следующих областях техники.

1. Магнитогидродинамика. Соотношения гидродинамики, а также магнитогидродинамики могут быть сформулированы как требование минимума мощности. Нами решались двумерные задачи определения профиля скоростей для произвольной геометрии канала. По оценкам, решение реалистичных трехмерных задач возможно в реальном масштабе времени.

2. Теоретические основы электротехники (ТОЭ). Задачи теории цепей в установившемся режиме также могут быть переформулированы как требование минимума мощности. Подход единообразен как для линейных, так и для нелинейных цепей, что может послужить основой для совершенствования курса ТОЭ. Метод пригоден также для трехмерного случая неоднородно распределенных параметров.

3. Магнитостатика. Задача определения индукции в магнитно-неоднородной среде формулировалась как требование минимума магнитостатической энергии. При этом не накладывается ограничений на вид зависимости  $B(H)$ . Составленная программа позволяет рассчитывать конфигурацию  $B(x, y, z)$  в объеме, состоящем из  $40 \times 40 \times 40$  элементов за время около часа.

4. Ряд задач по пп. 1–3, а также задачи обработки экспериментальных данных и моделирования могут быть сведены к решению интегральных уравнений первого рода, либо к обращению плохо обусловленной матрицы высокого порядка, элементы которой определяются с большой погрешностью  $D^2$ . Установлено, что устойчивое решение может быть получено путем минимизации функционала

$$D^2 = D_0^2 + (dD^2/dI) \times (I - I_0),$$

где вводимое в оборот количество информации  $I$  суммируется. Индекс «0» относится к «точной» зависимости. Приведенное выражение является аналогом термодинамического функционала  $F = U - TS^1$ .

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 04–06–00464а).