

3. Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования [Приняты и введены в действие письмом Росавтодора от 17.03.2004 № ОС-28/1270-ис]. – М., 2004. – 229 с. – URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR;n=9829> (дата обращения: 25.03.2013).

4. Загороднев Д. И., Санакулова Л. А., Салахеева А. И. Исследование методов решения транспортных задач при управлении материальными потоками предприятия // Социально-экономические и технические системы : Исследование, проектирование, оптимизация. – 2010. – № 53. – С. 10–38.

5. Черкесов А. Г. Экономика: практические задачи и решения : учеб. пособие. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2002. – 50 с.

A. A. Abramova, Resources Conservation Administration of Udmurt Republic, Izhevsk
M. Yu. Dyagelev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
V. G. Isakov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Route Planning Fresh Snow Bunding and Removal by Clarke-Wright Method

The possibility of using logistic methods for winter maintenance of the road network in the case study of Izhevsk is considered. With the help of the Clarke-Wright method the route planning of snow mass bunding and removal from a given territory is carried out.

Key words: winter maintenance of the road network, bunding, Clarke-Wright, traveling salesman problem, connected graph.

УДК: 519.711.3

Д. А. Мокроусов, аспирант, Пензенская государственная технологическая академия

Э. В. Карпунин, кандидат технических наук, Пензенская государственная технологическая академия

В. С. Дятков, Пензенская государственная технологическая академия

С. Б. Демин, доктор технических наук, Пензенская государственная технологическая академия

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРАХ

Рассмотрен способ получения системы конечно-разностных уравнений для расчета магнитных полей магнитоотрицательных преобразователей уровня (МПУ) накладного типа. Приведен оптимальный численный метод их решения.

Ключевые слова: МПУ накладного типа, численные методы.

Современные условия развития промышленности привели к наличию большого разнообразия приборов для измерения и контроля уровня. Требования, предъявляемые к ним, весьма различны и зависят от области применения. Однако главными из них остаются высокая точность и разрешающая способность, возможность работы в агрессивных средах, низкая стоимость и относительная простота конструкции. Всем этим требованиям удовлетворяют МПУ, в частности, новый подкласс устройств – МПУ накладного типа на крутильных волнах.

Отличительной особенностью накладных МПУ является применение бесконтактного метода измерения уровня. Передача информации в них происходит посредством взаимодействия через немагнитную стенку резервуара магнитного поля постоянного магнита напряженностью $H_{0,n}$ с магнитным полем магнитоотрицательного звукопровода с током. В результате этого взаимодействия в среде последнего формируется ультразвуковая волна кручения, которая далее считывается сигнальным электроакустическим преобразователем [1].

Выбор ширины H немагнитной стенки резервуара, где устанавливается МПУ, влияет на эффектив-

ность его работы, что является важной задачей, решение которой позволяет добиться улучшения характеристик МПУ накладного типа.

С целью улучшения технических и эксплуатационных характеристик МПУ накладного типа возникает задача поиска оптимальной ширины H немагнитной стенки резервуара при их использовании, при которой напряженность $H_{0,n}$ его магнитного поля подмагничивания будет достаточной для формирования ультразвуковой волны кручения в среде его звукопровода. С целью выявления такой зависимости был проведен расчет магнитного поля МПУ накладного типа с применением численных методов и реализованных в виде программы для ЭВМ [1, 2].

Ранее было показано, что конечно-разностные уравнения, описывающие поведение магнитного поля МПУ накладного типа, имеют вид [1, 2]

$$\begin{aligned} & A_1 \frac{v_4 + v_1}{2} + A_2 \frac{v_1 + v_2}{2} + A_3 \frac{v_2 + v_3}{2} + \\ & + A_4 \frac{v_3 + v_4}{2} - A_0 \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{2} = \\ & = A_1 k_1 + A_2 k_2 + A_3 k_3 + A_4 k_4 - \\ & - A_0 (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) = -i, \end{aligned} \quad (1)$$

где $k_1 = \frac{v_4 + v_1}{2}$, $k_2 = \frac{v_1 + v_2}{2}$, $k_3 = \frac{v_2 + v_3}{2}$,
 $k_4 = \frac{v_3 + v_4}{2}$; v_n – коэффициент магнитной проницаемости n -го узла сетки; A_n – магнитный потенциал n -го узла сетки; i – ток проводимости.

Система уравнений вида (1) является линейной, содержит большое число неизвестных и разреженную матрицу коэффициентов. Решать такие системы удобно с использованием ЭВМ методом верхней релаксации по формулам [3]:

$$\tilde{u}_{i,j}^{n+1} = \frac{a_{i,j-1}u_{i,j-1}^{n+1} + a_{i-1,j}u_{i-1,j}^{n+1} + a_{i,j+1}u_{i,j+1}^n + a_{i+1,j}u_{i+1,j}^n - P_i}{\sum_{i,j} a_{i,j}}, \quad (2)$$

$$u_{i,j}^{n+1} = u_{i,j}^n + \bar{\omega}(\tilde{u}_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n), \quad (3)$$

где $u_{i,j}^n$ – значения неизвестных $u_{i,j}$, вычисленные на n -м шаге; $\tilde{u}_{i,j}^{n+1}$ – уточненные значения неизвестных $u_{i,j}$; $\bar{\omega}$ – коэффициент ускорения сходимости.

Здесь и далее считаем, что начальное приближение $u_{i,j}^0$ известно.

Алгоритм использования методов релаксации предусматривает вычисление потенциала в узле $\tilde{u}_{i,j}^{n+1}$ в соответствии с формулой Зейделя (2) и коррекцию его до значения $u_{i,j}^{n+1}$ по выражению (3).

Выбор значения $\bar{\omega}$ влияет на скорость сходимости и осуществляется из условия минимума числа итераций. Как известно [3, 4], оптимальное значение коэффициента ускорения сходимости зависит от числа χ обусловленности матрицы коэффициентов системы. Поскольку оно связано с параметрами каждой конкретной задачи, в общем случае подобрать оптимальное значение коэффициента $\bar{\omega}_0$ ускорения сходимости не представляется возможным.

Оптимальное значение коэффициента $\bar{\omega}_0$ ускорения сходимости может быть определено приближенно. Например, для прямоугольной сетки размером $(N+1) \times (M+1)$, где $N > 14$; $M > 14$ и матрицы коэффициентов с $\chi \gg 1$, справедливо следующее выражение [3, 4]:

$$\bar{\omega}_0 = 2 \left(1 - \pi \sqrt{\frac{1}{M^2} + \frac{1}{N^2}} \right). \quad (4)$$

Таким образом, в соответствии с выражением (4) для сетки любого размера может быть выбрано значение коэффициента $\bar{\omega}_0$ ускорения сходимости, которое при подстановке в выражение (3) позволит за наименьшее количество итераций определить значения потенциалов во всех узлах расчетной области по методу верхней релаксации ($\bar{\omega}_0 > 1$).

Результатом данной работы является программа, позволяющая получать картину напряженности $H_{o.n}$ магнитного поля подмагничивания МПУ накладного типа в точках расчетной области (рис. 1). Преимуществом этой программы перед существующими аналогами является возможность получения непрерывной зависимости напряженности $H_{o.n}$ магнитного поля постоянного магнита 3 в точке магнитоотрицательного звукопровода 5 вблизи поплавка 4 от ширины немагнитной стенки H резервуара 1. Программа позволяет находить указанные зависимости для любых геометрических размеров расчетной области и материалов элементов МПУ накладного типа.

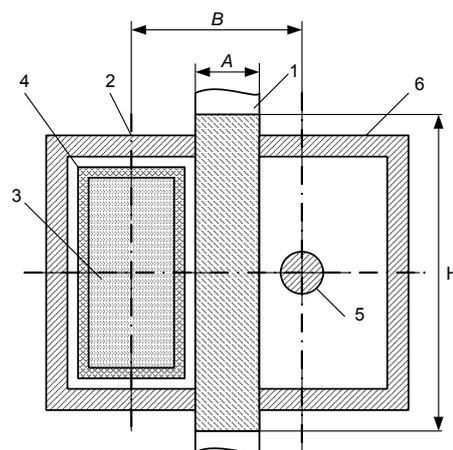


Рис. 1. Расчетная схема МПУ накладного типа: 1 – резервуар с немагнитной стенкой шириной H ; 2 – направляющий паз; 3 – постоянный магнит; 4 – корпус поплавка; 5 – звукопровод; 6 – электромагнитный экран; A – толщина немагнитной стенки резервуара 1; B – осевое расстояние между постоянным магнитом 3 и звукопроводом 5

Программа ориентирована на интеграцию в систему MATLAB, и результатом ее работы является m -файл, содержащий программу и числовые данные для указанной системы.

В результате расчета магнитного поля МПУ накладного типа с помощью разработанной программы были получены расчетные зависимости напряженности $H_{o.n}$ магнитного поля постоянного магнита 3 от ширины H немагнитной стенки резервуара 1 для разных магнитожестких материалов (рис. 2).

На рис. 3 приведены результаты расчетов магнитного поля МПУ накладного типа при выборе в качестве постоянного магнита сплава ЮНДК24Б.

Для проверки эффективности метода верхней релаксации со значением коэффициента ускорения сходимости $\bar{\omega}_0$, рассчитанным по формуле (4), было подсчитано число итераций, необходимых для достижения требуемой точности ϵ при различных значениях $\bar{\omega}$. В ходе данного вычислительного эксперимента коэффициент $\bar{\omega}$ из выражения (3) принимал значения: 0,5; 0,9; 1; 1,5; $\bar{\omega}_0$ (коэффициент $\bar{\omega}_0$ вычислялся по формуле (4)). В результате была получена зависимость, график которой изображен на рис. 4.

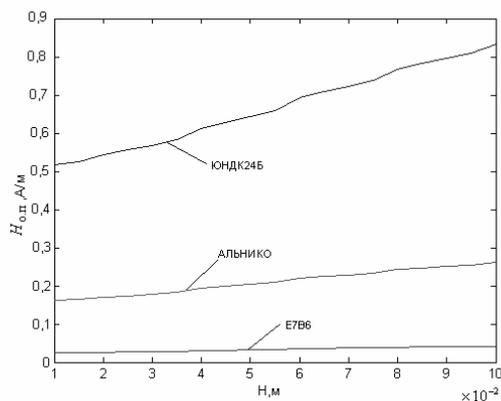


Рис. 2. Зависимость напряженности $H_{оп}$ магнитного поля постоянного магнита 3 от ширины H немагнитной стенки резервуара 1

Как видно из рис. 4, введение коэффициента ускорения сходимости $\bar{\omega}$ позволяет существенно снизить число требуемых итераций по сравнению с методом Зейделя (при $\bar{\omega} = 1$). Однако наилучший результат может быть достигнут в случае выбора оптимального значения $\bar{\omega}_0$, позволяющего решить задачу за минимальное число итераций.

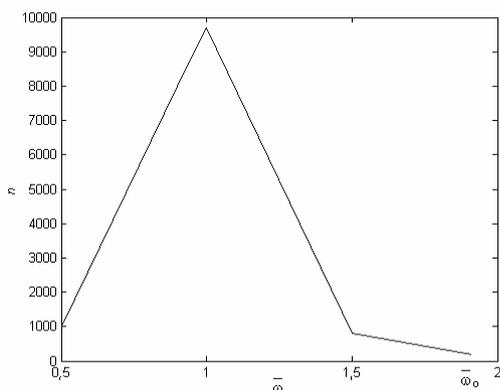


Рис. 4. Зависимость числа итераций n от коэффициента ускорения сходимости $\bar{\omega}$

Таким образом, сформулированная задача поиска оптимальной ширины H немагнитной стенки резервуара МПУ накладного типа решается путем использования конечно-разностной аппроксимации системы Максвелла. В статье показан способ получения таких уравнений на основе метода сеток и подробно рассмотрен оптимальный метод их численного решения.

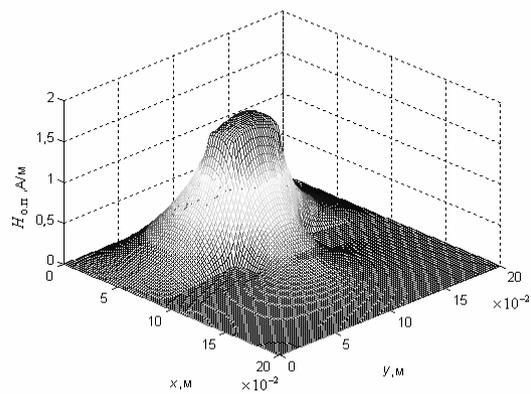


Рис. 3. Картина напряженности $H_{оп}$ магнитного поля МПУ накладного типа

Результаты математического моделирования магнитного поля МПУ накладного типа с применением разработанной программы дают возможность определить оптимальное значение ширины немагнитной стенки H резервуара МПУ накладного типа, при которой напряженность продольного магнитного поля постоянного магнита $H_{оп}$ будет достаточной для формирования ультразвуковой волны кручения в среде магнитострикционного звукопровода.

Введение коэффициента $\bar{\omega}_0$, вычисленного по приближенной формуле (4), позволяет сократить число требуемых итераций приблизительно в 50 раз. Это существенно снижает требования программы к ресурсам ЭВМ, сокращает время решения задачи и позволяет получать результаты с высокой точностью.

Библиографические ссылки

1. Карпунин Э. В., Дятков В. С., Демин С. Б. Комплекс программ для расчета магнитных полей магнитострикционных преобразователей уровня // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 1(53). – С. 109–112.
2. Карпунин Э. В., Дююкин А. А., Демин С. Б. Численные методы расчета магнитного поля магнитострикционного преобразователя уровня накладного типа // Вестник Дагестанского гос. тех. ун-та. Технические науки. – 2012. – № 1(24). – С. 65–73.
3. Демирчян К. С., Чечурин В. Л. Машинные расчеты электромагнитных полей. – М.: Высш. шк., 1986. – 240 с.
4. Самарский А. А., Гулин А. В. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – 432 с.
5. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. – М.: Бинوم, 2003. – 632 с.

D. A. Mokrousov, Post-graduate, Penza State Technological Academy
E. V. Karpukhin, PhD in Engineering, Penza State Technological Academy
V. S. Dyatkov, Penza State Technological Academy
S. B. Demin, DSc in Engineering, Professor, Penza State Technological Academy

Application of Numerical Methods for Calculation of Magnetic Fields in Magnetostrictive Converters of Level

This article considers the way of developing a system of finite-difference equations for calculation of magnetic fields of plated magnetostrictive converters of level (MCL). The optimum numerical method of their solution is resulted.

Key words: plated MCL, numerical methods.