

# МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Демин Станислав Борисович, Карпухин Эдуард Владимирович  
edvar1@rambler.ru, Воронцов Александр Анатольевич antigona81@mail.ru,  
Ермолаев Николай Александрович  
Пензенская государственная технологическая академия,  
кафедра “Электроники и электротехники” г.Пенза

## ***Аннотация***

Приведено моделирование магнитных полей первичного преобразователя магнитострикционного преобразователя перемещений в среде Elcut.

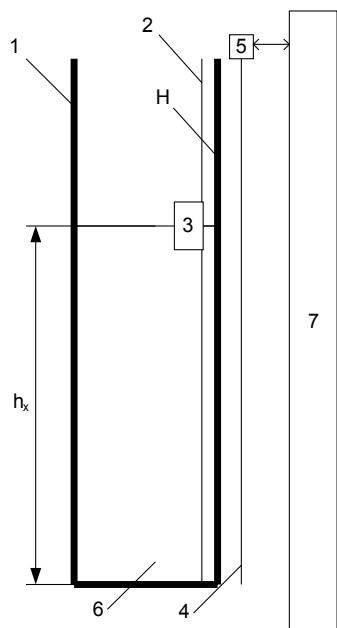
## **Введение**

В настоящее время в химической промышленности для измерения уровня жидкостных химических веществ применяются различные виды уровнемеров. По ряду основных параметров: точности, разрешающей способности, пожаро- и взрывобезопасности, стоимости, наибольший интерес вызывают ультразвуковые магнитострикционные приборы. Их принцип действия основан на явлениях продольной магнитострикции, проявляющиеся через эффекты Видемана и Виллари. Это позволяет применять бесконтактные методы измерения уровня и работать со многими агрессивными средами [1-3].

Магнитострикционные преобразователи уровня (МПУ), работающие через немагнитную стенку, будем называть *накладными*. В статье приводятся результаты моделирования накладного МПУ на крутильных волнах с целью улучшения его технических и эксплуатационных характеристик.

## **Моделирование накладных МПУ**

В качестве объекта исследования выберем накладной МПУ и проведем его математическое моделирование [2]. Его структурная схема приведена на рисунке 1.



- 1 – резервуар с немагнитной стенкой Н
- 2 – направляющий паз
- 3 – поплавок с постоянным магнитом
- 4 – звукопровод из магнитострикционного материала
- 5 – сигнальный электроакустический преобразователь
- 6 – химически агрессивная среда
- 7 – блок кодирования и вычислений

Рисунок 1 – Накладной МПУ

Здесь для измерения уровня  $h_x$  химически агрессивной среды 6 в резервуаре 1 с немагнитной стенкой Н используется система «магнит-перегородка-звуко-провод». В звукопроводе 4 из магнитострикционного материала формируются токовые импульсы, создающие вдоль него магнитное поле. Это поле взаимодействует с полем постоянного магнита поплавок 3, формируя в среде звукопровода 4 упругие волны кручения ультразвукового диапазона. Они распространяются по звукопроводу 4 и считываются сигнальным электроакустическим преобразователем 5 накладного МПУ. Этот процесс фиксируется блоком 7 кодирования и вычислений, который осуществляет измерительный процесс искомого уровня  $h_x$  с получением данных в числовом двоичном формате, удобным для дальнейшей обработки и хранения [2].

На эффективность работы накладных МПУ наибольшее влияние оказывают следующие конструктивные параметры: расстояния  $a, b$  поплавок 3 с магнитом до немагнитной стенки Н и от нее до магнитострикционного звукопровода 4 до корпуса, а также ширина  $c$  самой немагнитной стенки Н резервуара 1. Влияет ее материал и толщина, а также материал, из кото-

рого изготовлены остальные стенки резервуара 1 и звукопровод (рис. 2) [3].

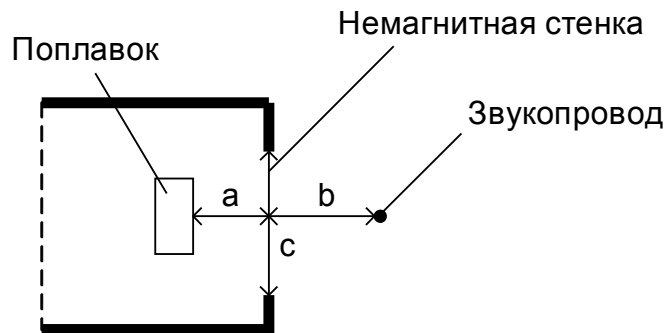


Рисунок 2 – Конструктивные параметры, влияющие на работу МПУ

Для выявления наилучшего соотношения указанных параметров  $a, b, c$  было проведено математическое моделирование магнитной системы накладного МПУ.

Связь между магнитной индукцией  $\overline{B}_1$  возникающего поля, силой тока  $I$ , пропускаемого по звукопроводу и его формой  $l$  устанавливается законом Био-Савара-Лапласа

$$\overline{B}_1 = \int_l (I \cdot d\vec{l} \times \vec{r}) / \vec{r}^3, \quad (1)$$

где  $d\vec{l}$  – элемент контура, сонаправленный с током  $I$ ,  $\vec{r}$  – расстояние между данным элементом и точкой наблюдения.

Модуль индукции магнитного поля постоянного магнита в ближайшей к нему точке на оси звукопровода может быть получен по формуле

$$B_2 = B_r (tg^{-1}(\zeta_1) - tg^{-1}(\zeta_2)) / \pi \quad (2)$$

$$\zeta_1 = (d + l) \sqrt{h^2 + H^2} + (d + l)^2 / (tw), \quad \zeta_2 = d \sqrt{h^2 + H^2} + d^2 / (tw),$$

где  $B_r$  – остаточная индукция магнита поплавка 3,  $d$  – расстояние от магнита до звукопровода 4,  $h$  – половина толщины магнита,  $H$  – половина ширины магнита,  $l$  – длина магнита. Причем в формуле (2) можно положить  $d = a + b$ .

Тогда модуль вектора индукции результирующего магнитного поля будет находится по формуле

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}.$$

Однако непосредственное применение закона Био-Савара-Лапласа (1) в данном случае затруднено, вследствие проблем с аналитическим интегрированием [1].

В настоящее время существует большое разнообразие программных средств, таких как ELCUT, ANSYS, и др., предназначенных для моделирования магнитных, электрических полей, позволяющих решать подобные задачи численными методами. В качестве среды для моделирования был выбран ELCUT, позволяющий решать задачи, связанные с расчетом нестационарных магнитных полей.

В ходе работы были составлены модели продольного и поперечного полей в сечениях накладного МПУ по срезу поплавок 3. В качестве материала для звукопровода 4 был выбран ферросплав 42НХТЮ, немагнитная стенка Н резервуара 1, корпус поплавок 3 и экран звукопровода 4 выполнены из нержавеющей стали. Постоянный магнит, закрепленный внутри корпуса поплавок 3, выполнен из сплава ЮНДК 24Б, кривая намагничивания которого представлена на рисунке 3.

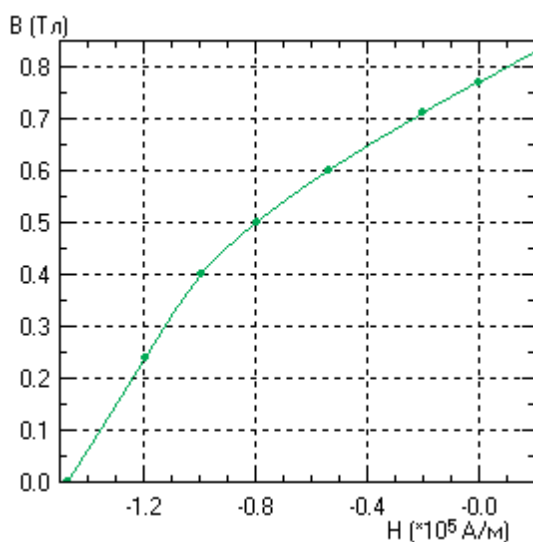


Рисунок 3 – Кривая намагничивания магнита поплавок 3 МПУ

В результате моделирования в среде ELCUT были получены картины силовых линий магнитных полей, поперечного (а) и продольного (б) сечений накладных МПУ, которые приведены на рисунке 4.

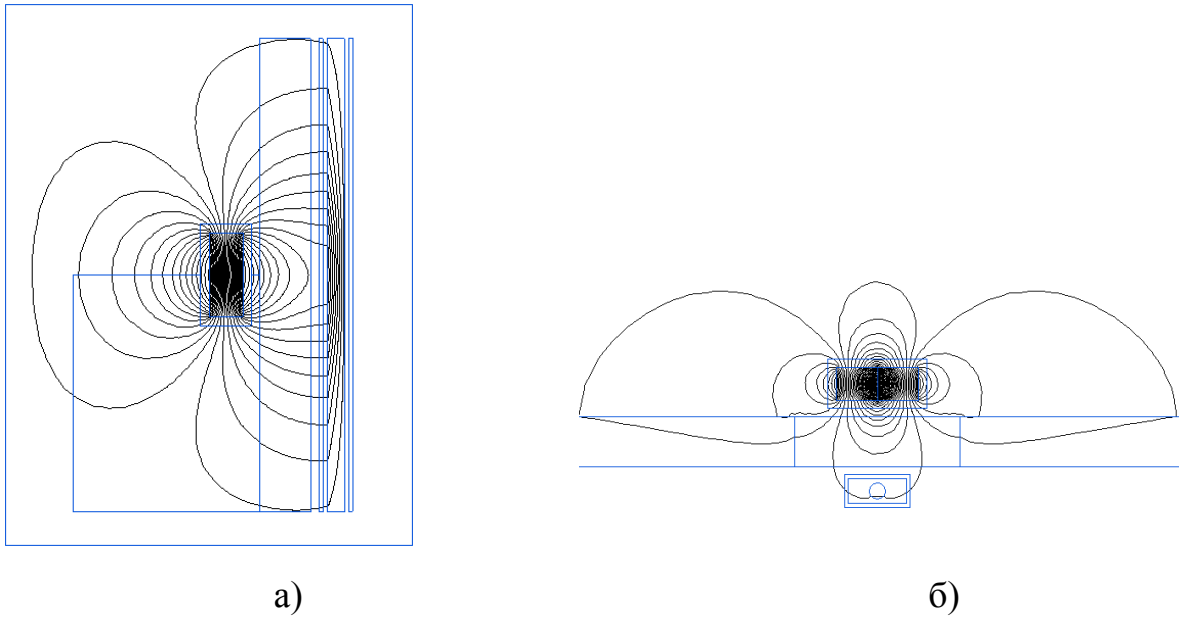


Рисунок 4 – Силовые линии магнитного поля накладных МПУ

Кроме того, была получена графическая зависимости магнитной индукции результирующего поля вдоль оси звукопровода 4 МПУ вблизи постоянно-го магнита поплавка 3 (рис. 5).

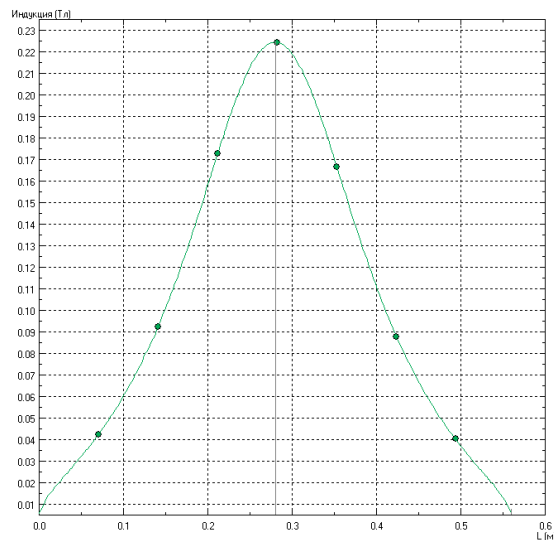


Рисунок 5 – Зависимость магнитной индукции вдоль оси звукопровода МПУ

Анализируя полученные данные, представляется возможным подобрать параметры  $a, b, c$  таким образом, чтобы на срезе положения поплавка 3 магнитная индукция результирующего поля достигала максимально возможного значения, достаточного для формирования упругой ультразвуковой волны кручения в магнитострикционном звукопроводе 4, обладающей необходимой энергией. Кроме того, полученная математическая модель

позволяет оценить влияние используемых материалов: звукопровода 4, корпуса резервуара 1, его немагнитной стенки Н, постоянного магнита поплавок 3, экранов, на параметры магнитного поля накладных МПУ.

### **Заключение**

В результате моделирования магнитного поля накладных МПУ были получены численные характеристики основных параметров поля, позволяя выработать ряд эффективных конструкторско-технологических приемов, позволяющих улучшить их технические и эксплуатационные характеристики при минимальной себестоимости изготовления.

### **Литература**

1. *Демин С.Б.* Магнитострикционные системы для автоматизации технологического оборудования: Монография. – Пенза. ИИЦ ПГУ, 2002. – 182 с.
2. *Патент RU №2298156.* МПК: G01F23/28, G01F23/30. Уровнемер-индикатор/ С.Б.Демин, И.А.Демина, А.С.Фролов, Э.В.Карпухин// Оpubл. 27.04. 2007.– Бюл. №12.
3. *Дж. Фрайден.* Современные датчики. Справочник: – Москва. Техносфера, 2005. – 592 с.