

УДК 519.711.3

Э.В. Карпухин, С.Б. Демин, В.С. Дятков, А.А. Дюдюкин

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ МАГНИСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Магнитострикционные преобразователи перемещений (МПП) нашли применение во многих отраслях современной промышленности. Работая в составе систем автоматического регулирования, они позволяют решать широкий круг задач и гарантируют высокую точность полученных результатов. Их отличает широкая область возможного применения, низкая себестоимость, простота конструкции, высокое быстродействие и разрешающая способность [1, 2].

Принцип работы МПП основан на возбуждении и считывании акустических сигналов в среде магнитострикционного звукопровода [1, 2].

Известно, что на этот процесс в наибольшей степени оказывают влияние внешние дестабили-

зирующие факторы среды, такие как температура  $T$  и упругие напряжения  $P_x$  [2]. В связи с этим возникает необходимость учета этих факторов при проведении математического моделирования МПП на УЗВ кручения.

Создание в среде ферромагнетика продольных  $P_n$  или крутильных  $P_k$  напряжений приводит к нарушению исходной доменной структуры в результате сложных обменных энергетических процессов, зависящих от предыстории состояния материала. Это в свою очередь вызывает изменение магнитной восприимчивости  $\chi$ , магнитной проницаемости  $\mu$ , коэффициента магнитострикции  $\lambda$ , удельного электрического сопротивления  $\rho_z$  ма-

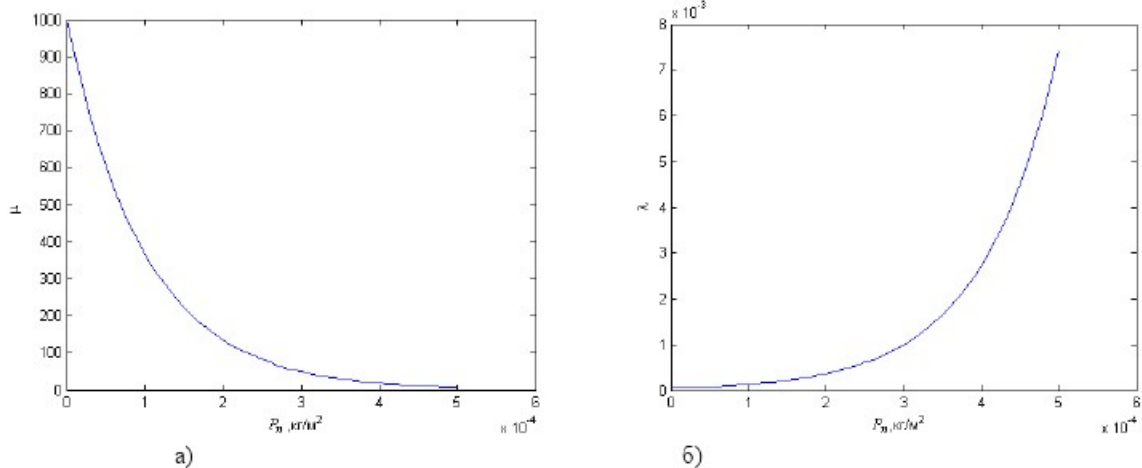


Рис. 1. Влияние растягивающего усилия  $P_n$  на магнитную проницаемость  $\mu$  (а) и коэффициент магнитострикции  $\lambda$  (б) сплава Ю14

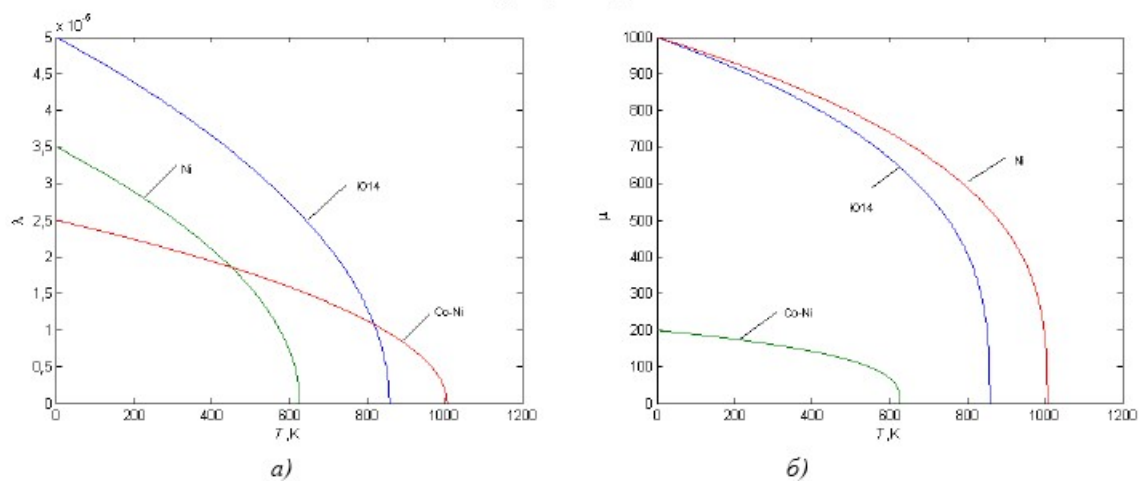


Рис. 2. Зависимости коэффициента магнитострикции  $\lambda$  (а) и магнитной проницаемости  $\mu$  (б) от температуры  $T$

териала [3].

Установлено, что изменение магнитной восприимчивости  $\chi$  ферромагнитного материала звукопровода МПП под действием растягивающих напряжений  $P_n$  происходит по закону [2]:

$$\chi_{P_n} = \pm [\chi_0 + G_T (1 + k_{P_n})^2], \quad (1)$$

где  $\chi_0$  – начальная магнитная восприимчивость материала,  $G_T$  – коэффициент энергетических потерь на гистерезис,  $k_{P_n}$  – коэффициент продольного напряжения.

Изменение магнитной восприимчивости  $\chi_{P_n}$  (1) приводит к изменению магнитной проницаемости  $\mu_{P_n}$  и коэффициента магнитострикции  $\lambda_{P_n}$  в соответствии с выражениями [2]:

$$\mu_{P_n} = \mu(1 - k_{P_n}), \quad (2)$$

$$\lambda_{P_n} = \pm \lambda(1 + k_{P_n}). \quad (3)$$

Графики зависимостей (2 - 3) для сплава Ю14 приведены на рис. 1, откуда видно, что с ростом растягивающих напряжений  $P_n$  магнитная проницаемость  $\mu$  уменьшается, а коэффициент магнитострикции  $\lambda$  увеличивается.

Другим фактором, заметно влияющим на параметры магнитострикционного звукопровода МПП, является температура  $T$  окружающей среды. Ее воздействие учитывается через коэффициент температурного изменения  $k_T$ , определяемый в соответствии с выражением [2]:

$$k_T = \left(1 - \frac{T}{T_c}\right)^{1/n}, \quad (4)$$

где  $T$  – текущее значение температуры,  $T_c$  – температура фазового перехода второго рода (точка Кюри),  $n=2, 3, 4$  – показатель влияния температуры на параметр материала.

Исследования показывают, что повышение температуры  $T$ , приводит к изменению коэффициента магнитострикции  $\lambda_T$  по зависимости [2]:

$$\lambda_T = \pm \lambda \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}}, \quad (5)$$

а магнитная проницаемость  $\mu_T$  материала магнитострикционного звукопровода МПП изменяется в соответствии с выражением [2]:

$$\mu_T = \mu \cdot 3 \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}}. \quad (6)$$

Результаты моделирования (5) и (6) для различных магнитострикционных материалов звукопровода МПП приведены на рис. 2.

Еще одним фактором, влияющим на коэффициент магнитострикции  $\lambda$  материала магнитострикционного звукопровода МПП, является гистерезис магнитострикции, возникающий при наличии продольного магнитного поля постоянного магнита в зоне магнитоупругого преобразования. При этом коэффициент магнитострикции  $\lambda$  меняется в зависимости от напряженности  $H_{o,n}$  продольного поля согласно известному выражению [2]

$$\lambda_H = \left| \lambda \left[ \frac{k_c}{H_c} \cdot \frac{(H_{o,n} - H_c)^2}{K_H + (H_{o,n} - H_c)^2} \right] \right|, \quad (7)$$

где  $k_c$  – коэффициент коэрцитивности,  $k_H$  – коэффициент напряженности магнитного поля,  $H_c$  – коэрцитивная сила ферромагнетика.

Для учета совместного влияния рассмотренных дестабилизирующих факторов, воспользовавшись выражениями (2 - 7), окончательно запишем:

$$\mu_{P_n, T} = \mu(1 - k_{P_n}) \sqrt[3]{1 - \frac{T}{T_c}}, \quad (8)$$

$$\lambda_{P_n, T, H} = \lambda_H(1 + k_{P_n}) \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}}. \quad (9)$$

Модели выражений (8), (9) для сплава Ю14 приведены на рис. 3.

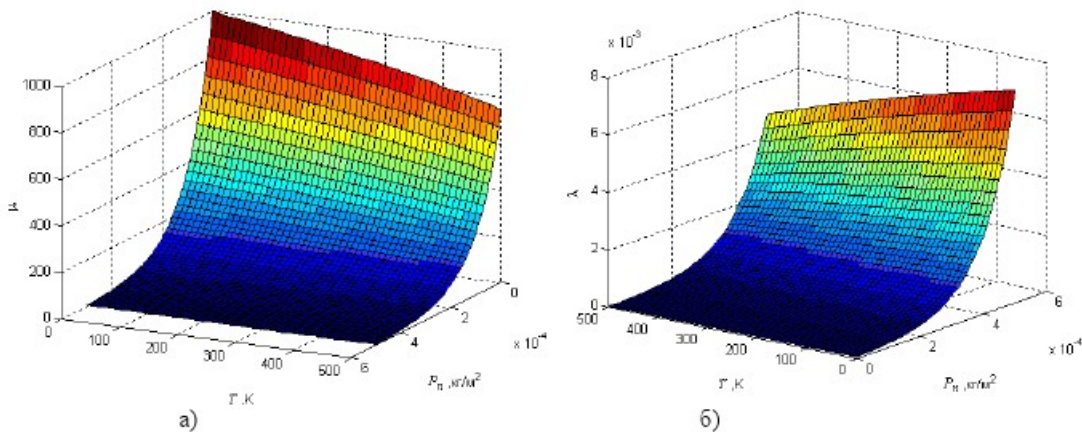


Рис. 3. Совместное влияние температуры  $T$  и растягивающих усилий  $P_n$  на магнитную проницаемость  $\mu$  (а) и коэффициент магнитострикции  $\lambda$  (б)

Как было показано в ряде работ [2, 3], влияние отмеченных внешних дестабилизирующих факторов среды на электрические параметры магнито-стрикционного звукопровода МПП, является незначительным и при моделировании им можно пренебречь.

В результате, под действием геликоидального магнитного поля в среде магнито-стрикционного звукопровода МПП формируются УЗВ кручения, распространяемые в обе стороны от места прямого магнито-стрикционного преобразования.

Таким образом, проведенное моделирование показывает, что изменение температуры  $T$  и наличие растягивающих усилий  $P_n$  в значительной степени влияют на основные характеристики МПП на УЗВ кручения. При этом увеличение упругих напряжений  $P_x$ , можно использовать в качестве температурной компенсации, для поддержания значения коэффициента магнито-стрикции  $\lambda$  в рабочем диапазоне и тем самым расширить температурный диапазон данного вида преобразователей перемещений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпухин Э.В. Моделирование магнитных полей магнито-стрикционных преобразователей перемещений/ Э.В. Карпухин, С.Б. Демин, А.А. Воронцов, Н.А. Ермолаев// Наука и образование - 2011: Сб. статей международной НТК. – Мурманск: МГТУ, 2011. – С.85-91.
2. Демин С.Б. Магнито-стрикционные системы для автоматизации технологического оборудования: Монография. – Пенза: ИИЦ ПГУ, 2002. – 182 с.
3. Надеев А.И. Математическая модель прохождения магнито-стрикционного импульса по цилиндрическому звукопроводу/А.И. Надеев, А.И. Мащенко, И.П. Мащенко// Сборник научных трудов АГТУ. Серия «Морская техника и технология». – Астрахань: АГТУ, 2000. – С.150-155.

□ Авторы статьи:

Карпухин  
Эдуард Владимирович,  
аспирант Пензенской  
государственной техно-  
логической академии,  
тел. (8412)49-62-97.  
Email: [edvar1@rambler.ru](mailto:edvar1@rambler.ru)

Демин  
Станислав Борисович,  
докт. техн. наук, профессор  
(Пензенская государст-  
венная технологическая  
академия),  
тел. (8412)49-62-97.

Дятков  
Владимир Станиславович,  
доцент (Пензенская госуда-  
рственная технологическая  
академия),  
тел. (8412)49-62-97.

Дюдюкин  
Алексей Алексеевич,  
канд. техн. наук, доцент  
(Пензенский госуд. уни-  
верситет архитектуры и  
строительства),  
тел. (8412)49-62-97.