# Математическое моделирование влияния внешних дестабилизирующих факторов на параметры магнитострикционных 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].

## Влияние растягивающего усилия

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 дестабилизирующие факторы среды, такие как [2]:**

* Температура Т.
* Упругие напряжения Рх.

В связи с этим возникает необходимость учета этих факторов при проведении математического моделирования МПП на УЗВ кручения.

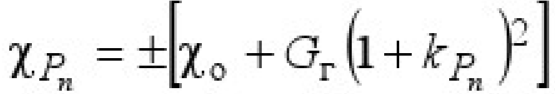
Создание в среде ферромагнетика продольных Рn или крутильных Рk напряжений приводит к нарушению исходной доменной структуры в результате сложных обменных энергетических процессов, зависящих от предыстории состояния материала.

**Это в свою очередь вызывает изменение:**

* Магнитной восприимчивости x.
* Магнитной проницаемости μ.
* Коэффициента магнитострикции λ.
* Удельного электрического сопротивления рэ материала [3].

Установлено, что изменение магнитной восприимчивости х ферромагнитного материала звукопровода МПП под действием растягивающих напряжений Рn происходит по закону [2].

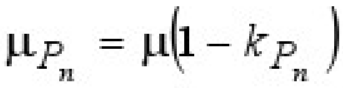
**Данный закон можно выразить следующим уравнением:**

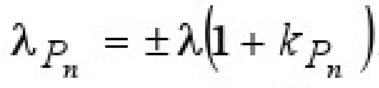
(1)

**где**

* х0 - начальная магнитная восприимчивость материала.
* GТ - коэффициент энергетических потерь на гистерезис.
* kрn - коэффициент продольного напряжения.

**Изменение магнитной восприимчивости хРn (1) приводит к изменению магнитной проницаемости μРn и коэффициента магнитострикции λPn в соответствии с выражениями [2]:**

 (2)

 (3)

**На основании уравнений (2 - 3) построим графики зависимостей для сплава Ю14 приведённые на рисунке 1:**

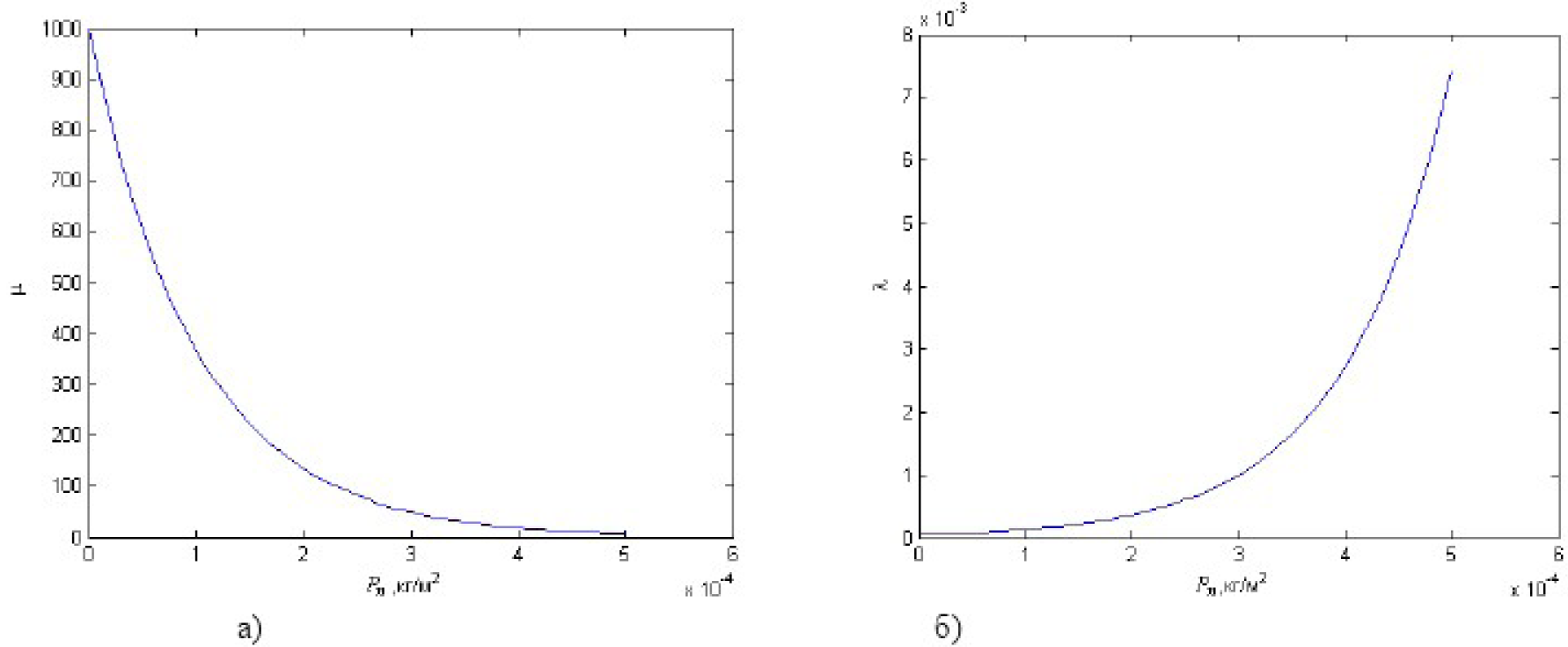


Рисунок 1 – Влияние растягивающего усилия Рn сплава Ю14

**где**

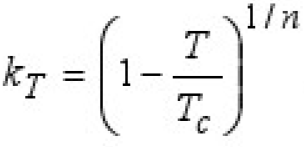
* а – влияние на магнитную проницаемость μ.
* б – влияние на коэффициент магнитострикции λ.

Из графиков видно, что с ростом растягивающих напряжений Рn магнитная проницаемость μ уменьшается, а коэффициент магнитострикции λ увеличивается.

## Влияние температуры окружающей среды

Другим фактором, заметно влияющим на параметры магнитострикционного звукопровода МПП, является температура Т окружающей среды.

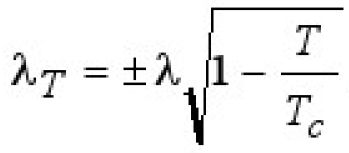
**Ее воздействие учитывается через коэффициент температурного изменения kT, определяемый в соответствии с выражением [2]:**

(4)

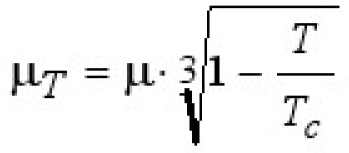
**где**

* Т - текущее значение температуры.
* ТC - температура фазового перехода второго рода (точка Кюри).
* n= 2, 3,4 - показатель влияния температуры на параметр материала.

**Исследования показывают, что повышение температуры Т, приводит к изменению коэффициента магнитострикции λT по зависимости [2]:**

 (5)

**Следовательно, магнитная проницаемость μT материала магнитострикционного звукопровода МПП изменяется в соответствии со следующим выражением [2]:**

 (6)

**Результаты моделирования уравнений (5) и (6) для различных магнитострикционных материалов звукопровода МПП приведены на рисунке 2:**

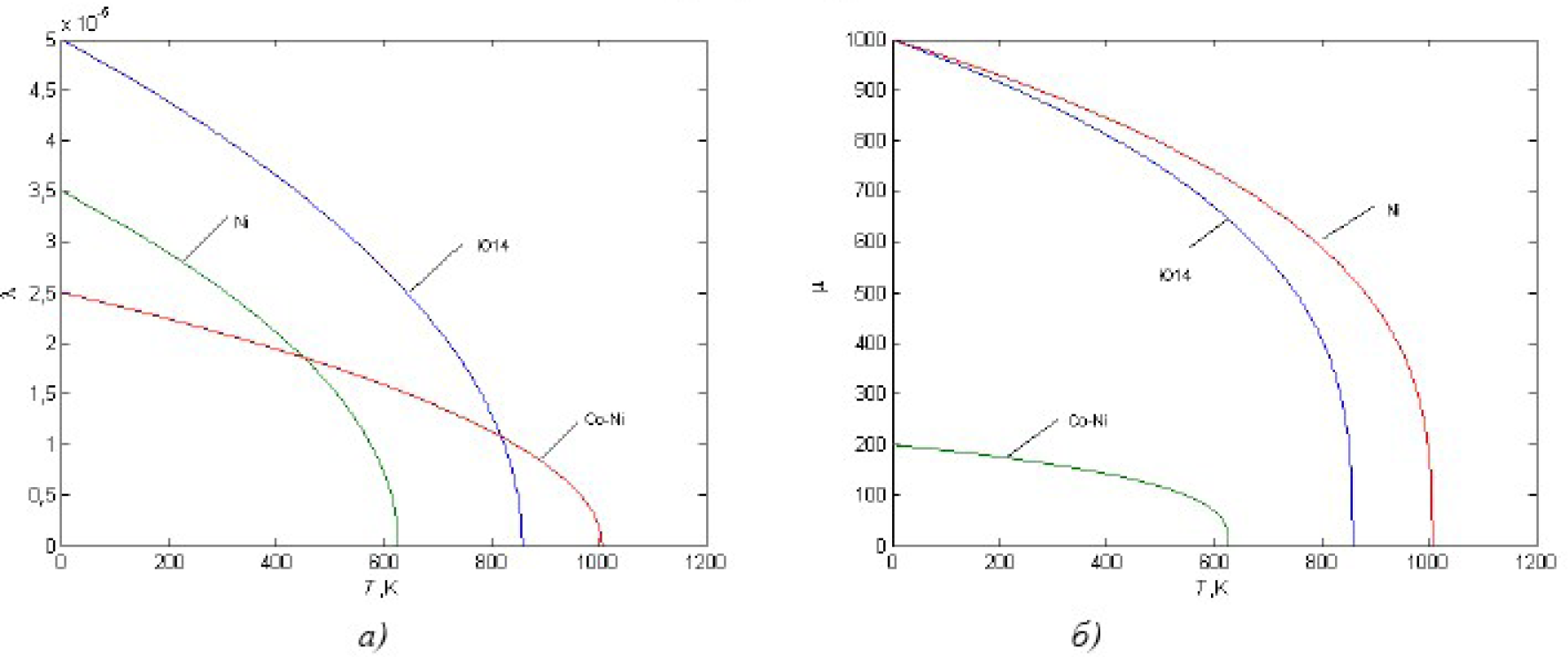


Рисунок 2 – Зависимости от температуры Т

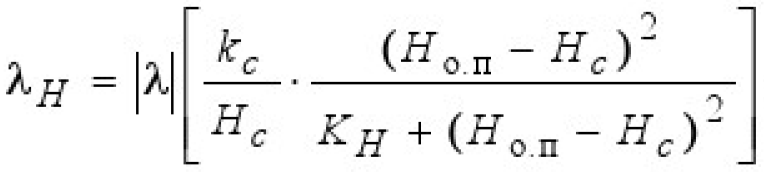
**где**

* а – зависимость коэффициента магнитострикции λ.
* б - зависимость магнитной проницаемости μ.

## Влияние гистерезиса магнитострикции

Еще одним фактором, влияющим на коэффициент магнитострикции λ материала магнитострикционного звукопровода МПП, является гистерезис магнитострикции, возникающий при наличии продольного магнитного поля постоянного магнита в зоне магнитоупругого преобразования.

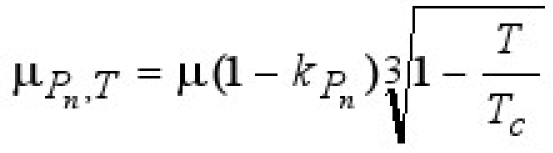
**При этом коэффициент магнитострикции λ меняется в зависимости от напряженности Нo.n. продольного поля согласно известному выражению из данной работы [2]:**

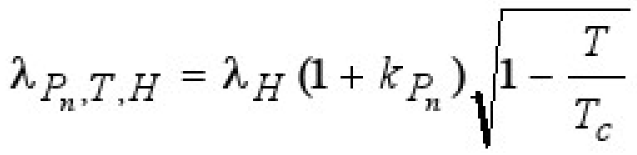
 (7)

**где**

* kC - коэффициент коэрцитивности.
* kH - коэффициент напряженности магнитного поля.
* НC - коэрцитивная сила ферромагнетика.

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

 (8)

 (9)

**Модели выражений (8), (9) для сплава Ю14 приведены на рисунке 3:**

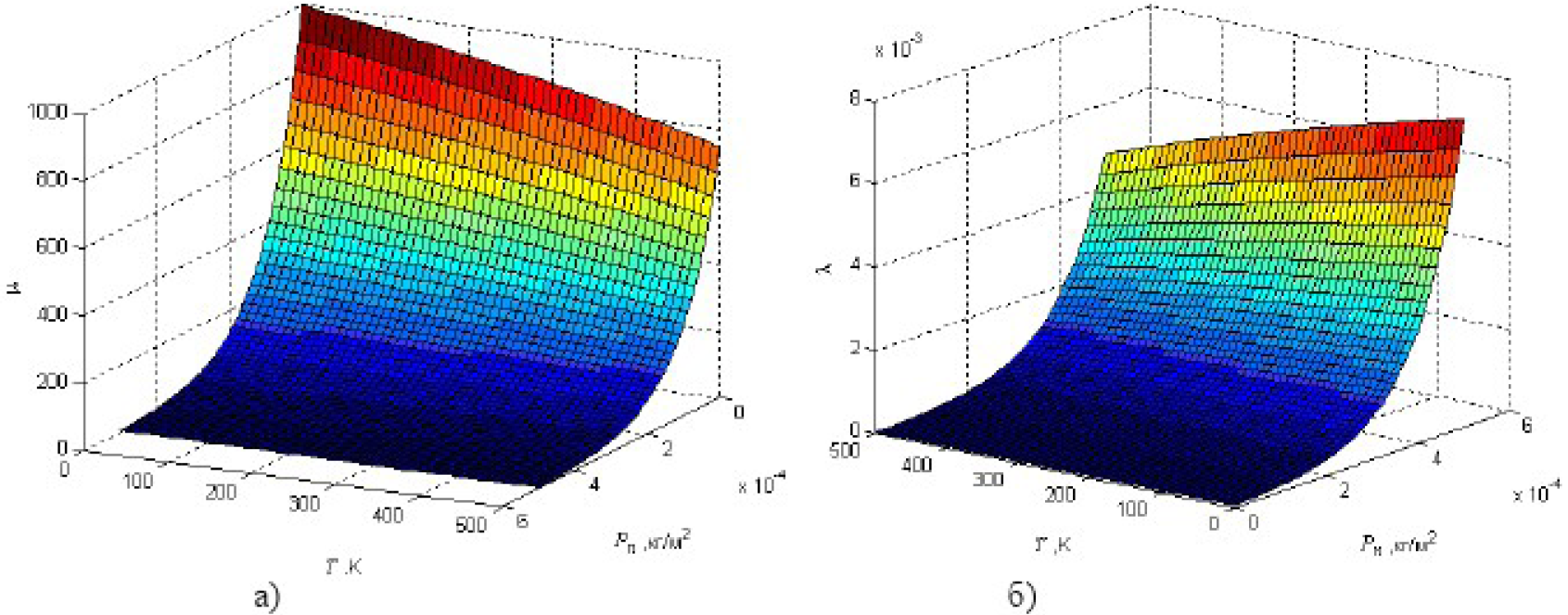


Рисунок 3 – Совместное влияние температуры Т и растягивающих усилий Рn

**где**

* а – влияние на магнитную проницаемость μ.
* б – влияние на коэффициент магнитострикции λ.

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

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

**Таким образом, проведенное моделирование показывает:**

* Что изменение температуры Т и наличие растягивающих усилий Рn в значительной степени влияют на основные характеристики МПП на УЗВ кручения.
* При этом увеличение упругих напряжений Рх, можно использовать в качестве температурной компенсации, для поддержания значения коэффициента магнитострикции λ в рабочем диапазоне и тем самым расширить температурный диапазон данного вида преобразователей перемещений.

## Список литературы

1. Моделирование магнитных полей магнитострикционных преобразователей перемещений / Э.В. Карпухин, С.Б. Демин, А.А. Воронцов, Н.А. Ермолаев // Наука и образование - 2011: Со. статей международной НТК. - Мурманск: МГТУ, 2011. - С.85-91.
2. Демин С.Б., Магнитострикционные системы для автоматизации технологического оборудования: Монография -Пенза: ИИЦ ПГУ, 2002. - 182 с.
3. Математическая модель прохождения магнитострикционного 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.
4. [Динамическая модель гистерезиса в электромагнитных системах.](https://gekoms.org/2015/04/01/dinamicheskaja-model-gisterezisa-v-jelektromagnitnyh-sistemah/)

Источник: Математическое моделирование влияния внешних дестабилизирующих факторов на параметры магнитострикционных преобразователей перемещений / Э.В. Карпухин, С.Б. Демин, В.С. Дятков, А.А. Дюдюкин // Вестник КузГТУ. - 2012. - №3. - C. 156-158.