

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО СИГНАЛА МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

**СЛЕСАРЕВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ**

Кафедра прикладной и бизнес-информатики ФГБОУ ВО «Пензенский казачий институт технологий (филиал) ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)», ул. Кирова 2а кв.42, 440026, Пенза, Российская Федерация, *e-mail:slesarevun@gmail.com*, *телефон:+79050169845*

### **Аннотация.**

В статье рассматриваются и анализируются некоторые вопросы построения канала формирования измерительного сигнала магнитоотрицательного преобразователя линейных перемещений, используя спектральные представления. Во многих магнитоотрицательных устройствах формирование цифрового измерительного сигнала осуществляется сравнением аналогового сигнала с постоянным пороговым уровнем. Полученный таким путем цифровой сигнал, при наличии возмущающих воздействий и помех, будет испытывать временные искажения, свойственные аналоговым сигналам. Отмечено, что на кривой первой производной сигнала воспроизведения имеется точка пересечения ее с нулевой линией. Эта координата соответствует середине области звуковой волны, перемещающейся вдоль звукопровода, которая слабо чувствительна к искажениям сигнала и может быть использована для формирования цифрового измерительного сигнала, используя методы экстремального детектирования. Показано, что введение в блок обработки измерительного сигнала операции дифференцирования увеличивает точность формирования цифрового сигнала. Рассмотрены вопросы использования спектральных представлений для выбора параметров канала формирования измерительного сигнала в зависимости от длины звукопровода.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, канал формирования измерительного сигнала, спектральное представление сигнала, вычислительный эксперимент, численное значение.

### **Введение**

Во многих технических устройствах находят применение магнитоотрицательные датчики линейных перемещений. Принцип работы этих устройств связан с измерением временного промежутка между измерительным импульсом с периодом  $T$ , вызывающим появление ультразвуковой волны в звукопроводе при взаимодействии кругового магнитного поля от измерительного импульса и положением подвижного постоянного магнита, связанным с измеряемой координатой. Время, пройденное ультразвуковой волной, пропорционально измеряемому расстоянию [1].

### **Основная часть**

В работе [2, 3] предложена модель формирования сигнала воспроизведения магнитоотрицательного преобразователя перемещений. Для моделирования процессов воспроизведения волны кручения был применен принцип взаимности.

Форма аналогового сигнала была получена в результате моделирования по разработанной методике и приведена на рис.1.

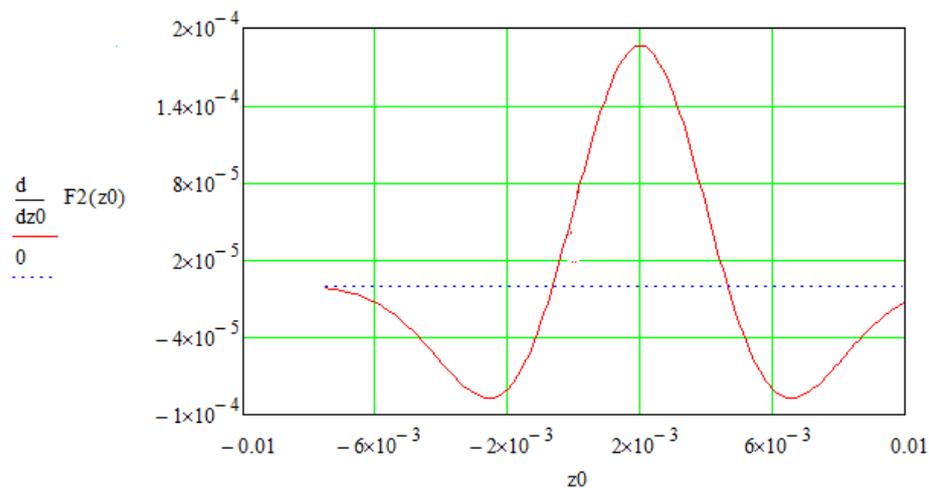


Рисунок1 - Аналоговый сигнал воспроизведения для звукопроводадиаметром 1мм, внутренних и внешних радиусов катушки воспроизведения равных соответственно 0.55 и 0.6 мм, длине катушки воспроизведения равной величине 4мм

Для получения цифрового измерительного сигнала необходимо преобразовать аналоговый сигнал в цифровой. Наиболее простым и распространенным способом аналого-цифрового преобразования является сравнения аналогового сигнала с постоянным уровнем. Для этого применяется простой алгоритм: если аналоговый сигнал превышает пороговый, то цифровому сигналу принимает значение 1, в противном случае- 0. Практика применения магнитострикционных измерителей перемещения показывает, что аналоговый сигнал испытывает влияние множества дестабилизирующих факторов, которые влияют как на амплитуду, так и на фазу сигнала. Наиболее сложной задачей является выбор уровня сравнения для аналогового сигнала [4].

На рис.2 приведены результаты моделирования процесса преобразования аналогового сигнала в цифровой для двух аналоговых сигналов, отмеченных цифрами 1 и 2, с уровнем сравнения 5. Сигнал 2 соответствует действию дестабилизирующего фактора в виде отклонения измерительного подвижного элемента с постоянным магнитом от исходного состояния из-за вибрации. Аналоговому сигналу 1 соответствует цифровой сигнал 3, а сигналу 2- цифровой сигнал 4. Полученный цифровой сигнал будет испытывать временные искажения, свойственные аналоговым сигналам.

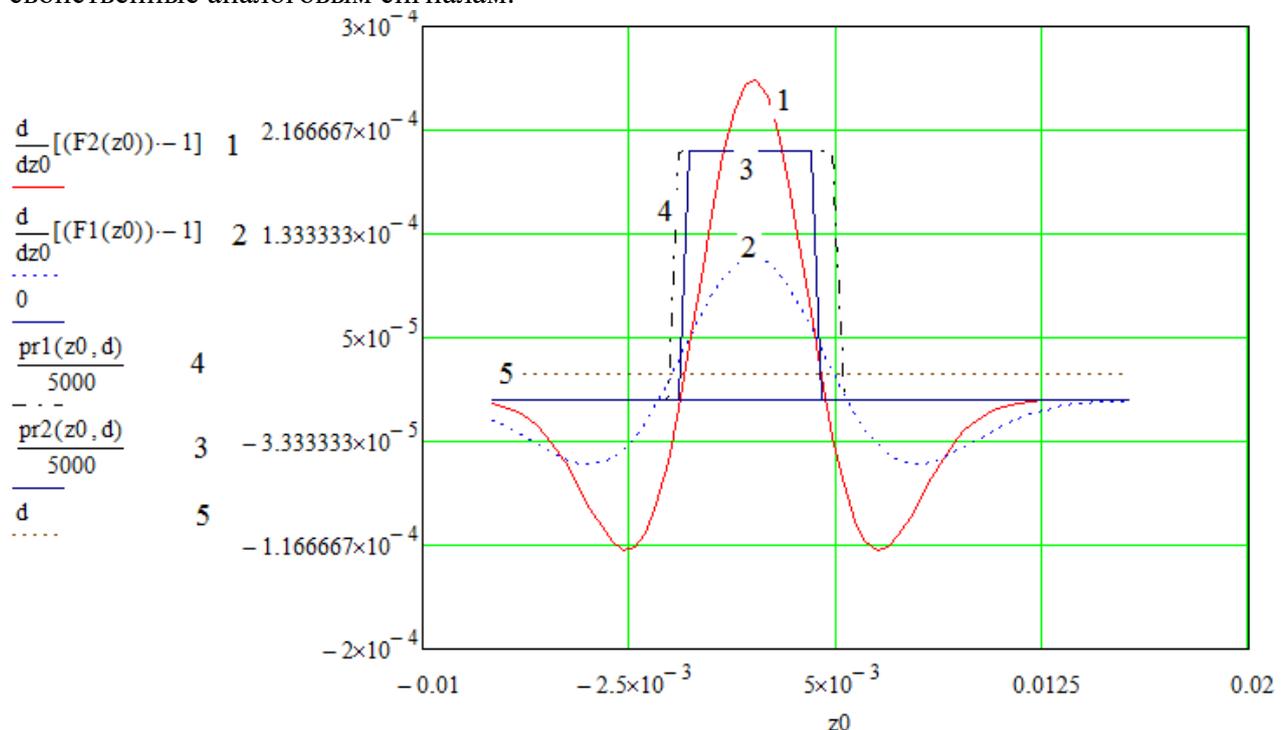


Рисунок 2 –Сигналы воспроизведения 1,2, уровень сравнения 5 , цифровые сигналы соответственно-3 и 4.

Координата  $z_0$  связана с направлением перемещения ультразвуковой волны.

Для аналого-цифрового преобразования более эффективно будет использование способа преобразования по особым точкам. Одной из таких точек может быть точка пересечения первой производной аналогового измерительного сигнала с нулевым уровнем (рисунок 3).

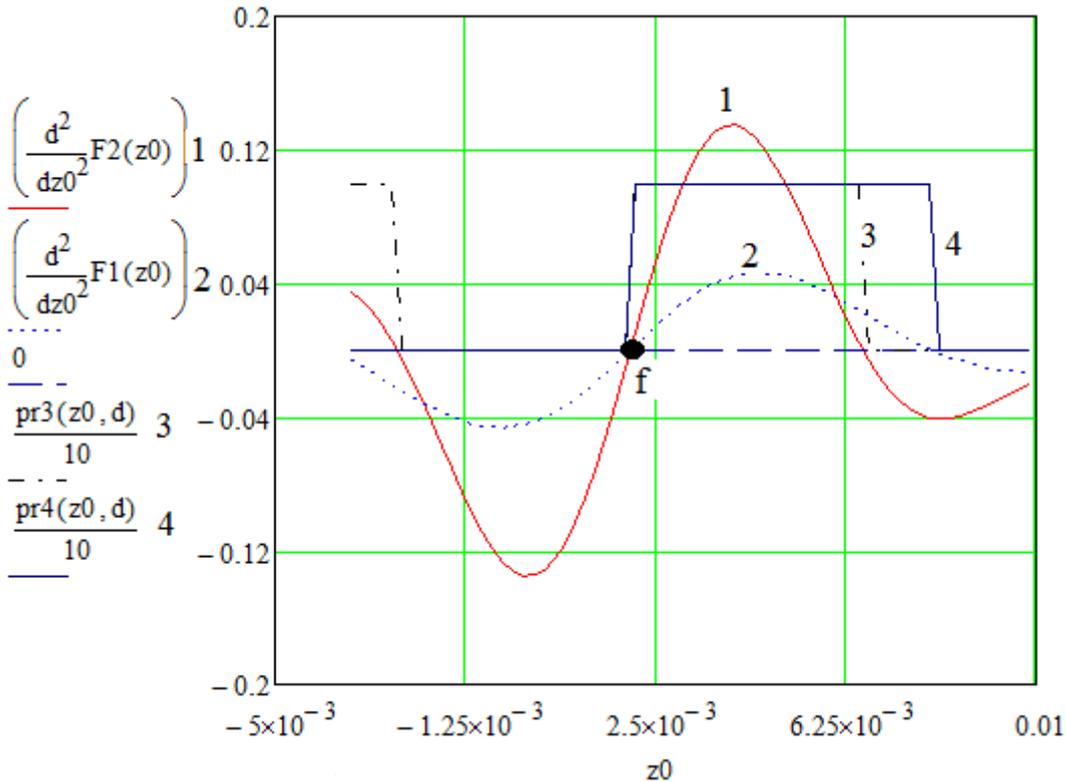


Рисунок 3 –Первые производные сигнала воспроизведения 1,2, , цифровые сигналы соответственно-3 и 4

Из рисунка 3 следует, что на кривой первой производной сигнала воспроизведения имеется точка  $f$  пересечения ее с нулевой линией. Эта координата соответствует середине области звуковой волны, перемещающейся вдоль звукопровода, которая слабо чувствительна к искажениям сигнала и может быть использована для формирования цифрового измерительного сигнала, используя методы экстремального детектирования.

Вычисление производной приводит к увеличению уровня собственных шумов [5]. Эквивалентная схема входной цепи линейного усилителя сигнала воспроизведения изображена штриховой рамкой на функциональной модели канала воспроизведения (рисунок 4).

На схеме имеется источник сигнала  $i_d$ , моделирующий катушку воспроизведения, источник шумового напряжения  $E_n$ , определяющий шумовые составляющие входного сигнала и элементы, моделирующие емкости катушки воспроизведения, соединительных проводов  $C_{fd}$ , сопротивления нагрузки  $C_n$ .

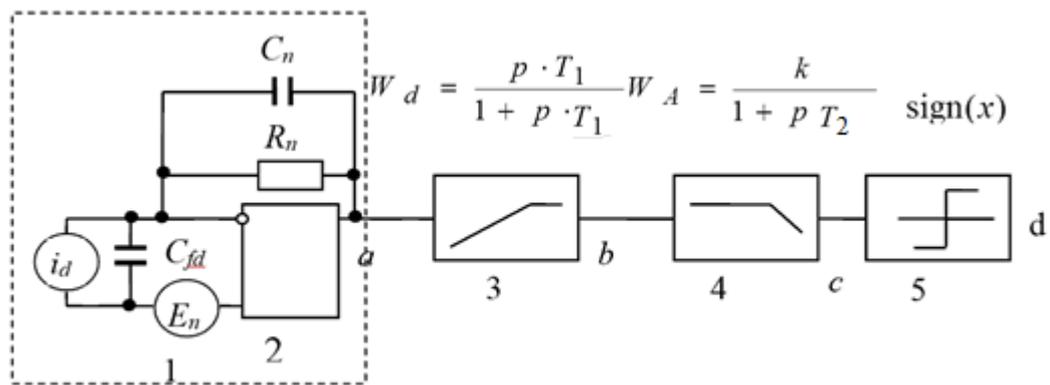


Рисунок 4 – Модель канала формирования измерительного сигнала магнитострикционного преобразователя перемещений: 1–источник шумового напряжения с регулируемой спектральной плотностью; 2 – дифференциальный усилитель; 3 – инерционное дифференцирующее звено; 4 –аперидическое звено; 5 – пороговое звено,  $p$ - оператор Лапласа.

Более подробно построение каналов формирования приведено в [6,7].

Для выбора постоянных времени канала формирования измерительного сигнала необходимы спектральные представления аналогового сигнала.

Известно, что если функция моделирующая сигнал является четной, то в спектре Фурье периодического сигнала содержатся только компоненты, составленные из одних косинусов. На рис.5 приведено представление аналогового сигнал, приведенного на рис.1 в виде четной функции.

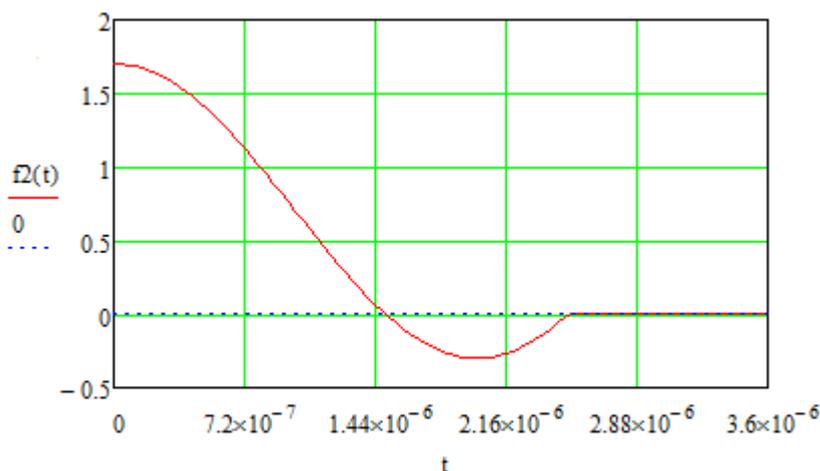


Рисунок 5- Представление аналогового измерительного сигнала в виде четной функции.  $T_p=2.5$  мкс.

Компоненты спектра Фурье определим по формуле

$$A_0 := \left( \frac{2}{T_p} \right) \cdot \int_0^T F2(t) dt \quad A_k := \left( \frac{2}{T_p} \right) \cdot \int_0^T F2(t) \cdot \cos\left( \frac{2\pi \cdot k \cdot t}{T_p} \right) dt$$

где  $A_k$ - $k$ -я гармоника спектрального представления аналогового сигнала,  $T_p$ - длительность импульса аналогового сигнала,  $T$ - период следования измерительных импульсов.

Период следования измерительных импульсов выбирается из условия  $T > \frac{L}{v}$ , где  $L$ - длина звукопровода,  $v$ - скорость распространения крутильных колебаний.

Спектральное представление аналогового измерительного сигнала (рис.5) изображено на рис.6. Анализ показывает, что ширина спектра на уровне  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  сильно зависит от отношения

$\frac{T}{T_p}$ . Чем больше это отношение, тем шире спектр.

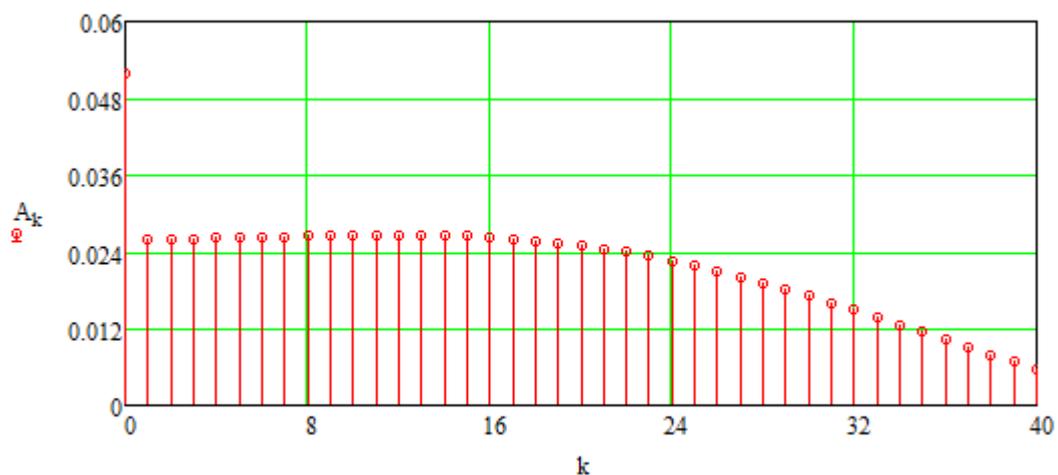


Рисунок-6- Спектральное представление аналогового измерительного сигнала при  $\frac{T}{T_p} = 25$ . Количество гармоник  $N=40$ .

На рис.7 и 8 представлены сигналы  $A_2(t)$ , полученные суммирование гармоник разложения соответственно для числа  $N=10$  и  $N=40$  в соответствии с формулой

$$A_2(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^N \left( A_k \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot k \cdot t}{T_p}\right) \right)$$

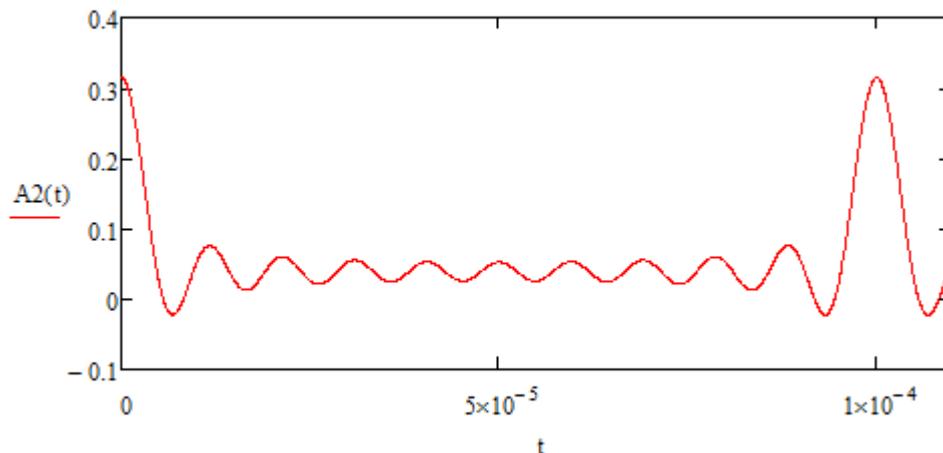


Рисунок 7- Восстановленный из гармоник аналоговый сигнал при числе гармоник  $N=10$

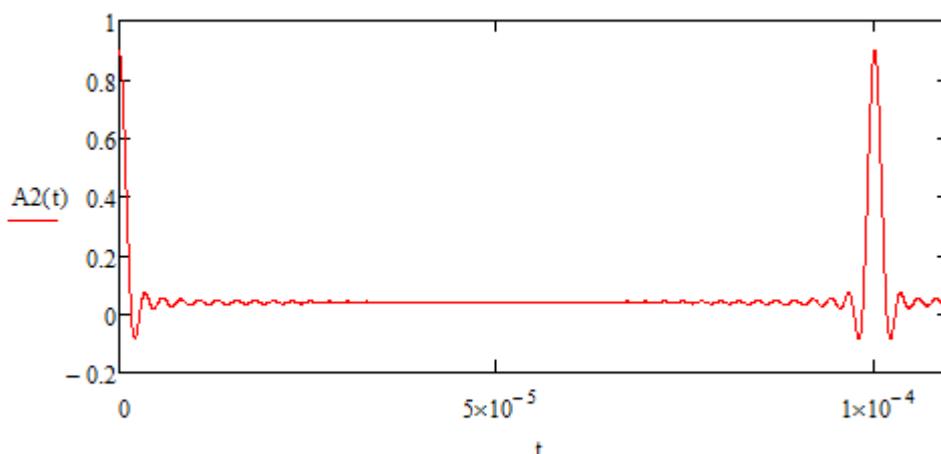


Рисунок 8 - Восстановленный из гармоник аналоговый сигнал при числе гармоник  $N=40$

Количество гармоник, прошедших через звенья с постоянными времени  $T_1$  и  $T_2$  (см. рис.4) определяет форму сигнала и отношение сигнал-шум в измерительной системе.

### Заключение

Результаты вычислительного эксперимента, проведенного для предложенной модели формирования измерительного сигнала, показывают, что ширина спектра зависит от длины звукопровода. Чем больше диапазон измеряемых длин и следовательно больше отношение  $\frac{T}{T_p}$ , тем шире спектр. По спектральным представлениям сигнала можно сделать оценку постоянных времени  $T_1$ ,  $T_2$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Домрачев В.Г. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений/Домрачев В.Г., Матвеевский В.Р., Смирнов Ю.С. – М: Энергоатомиздат, 1982 -392 с.
- [2] Слесарев Ю.Н. Двумерная модель формирования сигнала воспроизведения магнитоотрицательного накломера/Слесарев Ю. Н., Воронцов А.А // Известия Пензенского государственного педагогического университета. Физико-математические и технические науки. – 2012. – № 30. – С. 462–466.
- [3] Слесарев Ю.Н. Моделирование точности формирования измерительного сигнала магнитоотрицательных преобразователей линейных перемещений на ультразвуковых волнах кручения /Слесарев Ю. Н., Воронцов А.А.// XX1 век: Итоги прошлого и настоящего плюс, 2018, № 4(44), Т.7, с.49-53.
- [4] Обработка сигналов в магнитоотрицательных поплавковых датчиках / А. Ю. Доросинский, А. Н. Виньяков, В. Г. Недорезов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 49–55. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-8
- [5] Слесарев Ю.Н. Формирование сигнала при магнитооптическом воспроизведении информации: В сб. "Микросистемная техника", 2003, №10, с.13-17.
- [6] Устройство воспроизведения с оптического носителя А.С. СССР № 934548, 1982, Б. И. № 21 Слесарев Ю.Н., Чупрына С.А.
- [7] Синхронизатор для оптоэлектронного запоминающего устройства А.С. СССР № 841046, 1981, Б. И. № 23 Слесарев Ю.Н., Чулков В.А.

## MODELING OF THE CHANNEL OF FORMATION OF THE MEASURING MAGNETOSTRICTING CONVERTER SIGNAL MOVEMENTS

**SLESAREV YURY NIKOLAEVICH**

*Department of Applied and Business Informatics FSBEI HE "Penza Cossack Institute of Technology (branch) FSBEI HE" Moscow State University of Technology and Management. KG Razumovsky (First Cossack University)" ul. Kirova 2a kv.42, 440026, Penza, Russian Federation, e-mail: slesarevun@gmail.com, phone: +79050169845*

### **Annotation.**

The article discusses and analyzes some issues of building a channel for forming a measuring signal of a magnetostrictive transducer of linear displacements using spectral representations. In many magnetostrictive devices, the formation of a digital measuring signal is carried out by comparing an analog signal with a constant threshold level. A digital signal obtained in this way, in the presence of disturbing influences and interference, will experience temporal distortions inherent in analog signals. It is noted that the curve of the first derivative of the playback signal has its intersection with the zero line. This coordinate corresponds to the middle of the region of the sound wave moving along the sound wire, which is weakly sensitive to signal distortions and can be used to form a digital measuring signal using methods of extreme detection. It is shown that the introduction of the differentiation operation into the processing unit of the measuring signal increases the accuracy of the formation of the digital signal. The problems of using spectral representations to select the parameters of the formation channel of the measuring signal depending on the length of the sound duct are considered.

**Keywords:** mathematical modeling, channel of formation of the measuring signal, spectral representation of the signal, computational experiment, numerical value.