

УДК 004.931

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ПРИБОРА В СОСТОЯНИИ ПОКОЯ

Ващилов А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ролит О.Ч. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

**Аннотация.** Экспериментально исследованы частотные характеристики сигналов MEMS-акселерометра типа *KX003-1077* при различных режимах работы прибора. Проведен анализ влияния приборной периферии устройства на выходной сигнал датчика. Установлено, что выходной сигнал датчика представляет собой сумму шумовых составляющих сигналов покоя и шумовых составляющих, вызванных работой приборной периферии устройства.

**Ключевые слова:** MEMS-акселерометр, частотные характеристики, шумовые составляющие сигнала, спектрально-статистический анализ

**Введение.** Приборы на основе *MEMS*-датчиков представляют собой сложные, многокомпонентные устройства, которые состоят из различных типов периферийных устройств, датчиков всевозможных типов, модемов. При этом датчики, располагаясь на одной и той же печатной плате вместе с остальными модулями, могут быть подвержены помехам с их стороны как напрямую, посредством использования общих шин сообщений, линий передачи данных, так и косвенным способом, выражающегося в изменениях стабильности системы питания устройства. Как итог, выходной сигнал *MEMS*-датчика будет искажен, тем самым повлияв на функциональность системы в целом.

**Основная часть.** Исследование проводилось на основе прибора инерциальной навигации на базе 3-х осевого акселерометра типа *KX003-1077* [1]. Снятие выходных значений акселерометра производилось при частоте дискретизации 400 Гц. Исследование выполнялось при следующих режимах работы прибора:

- включение модема, регистрация модема в сети *GSM*;
- включение модема, регистрация модема в сети *GSM*, измерение температуры окружающей среды *MEMS*-датчиком температуры и давления;
- включение модема, регистрация модема в сети *GSM*, включение пьезоэлектрического излучателя.

Для исследования частотных характеристик датчика предлагается спектрально-статистический способ анализа сигналов *MEMS*-акселерометра. Также для анализа выходного сигнала предлагается применение гистограммного метода обработки сигнала [2]. Исследование предлагаемых способов анализа выходных сигналов *MEMS*-акселерометра проведено на множестве функций современной программно-математической среды *MATLAB*.

Для получения представленных на рисунках 1-3 результатов, взят выходной сигнал датчика-акселерометра последовательностью 6000 элементов. При построении гистограммы распределения плотностей применялась стандартная функция *histogram()*, количество гистограммных уровней при этом выбиралось равным 16 элементам. Для построения спектрограммы применялась стандартная функция *spectrogram()*. При построении спектрограммы для оконных преобразований использовалась весовая функция Хэмминга шириной равной 128 с шириной перекрытия равной 120 элементам.

Из результата спектрально-статистических преобразований видно, что выходной сигнал датчика представляет собой сумму шумовых составляющих сигналов покоя, исследованных в работе [3], и шумовых составляющих, вызванных работой приборной периферии устройства.

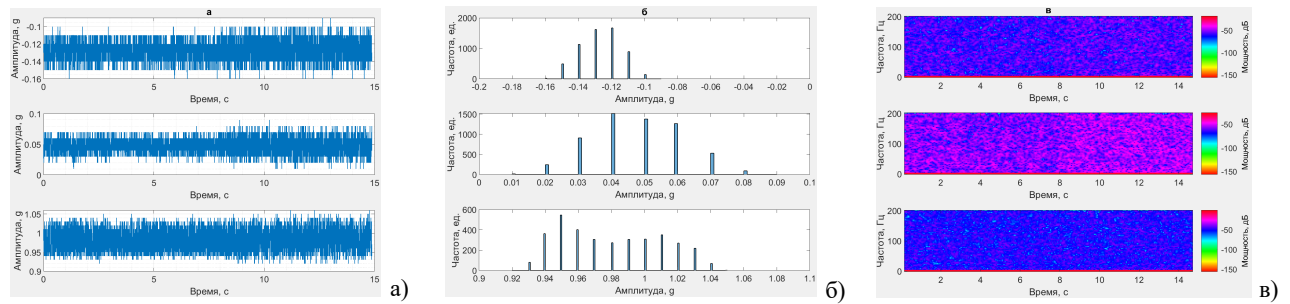


Рисунок 1 – Графики числовой последовательности *a*, гистограммы уровней плотности распределения числовой последовательности *b*, палитризованной спектрограммы числовой последовательности *v* сигнала, снятого во время включения модема, регистрации модема в сети GSM

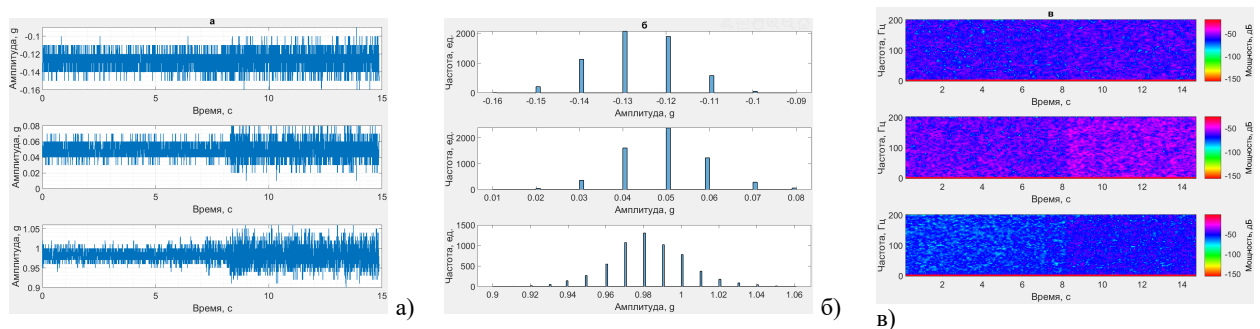


Рисунок 2 – Графики числовой последовательности *a*, гистограммы уровней плотности распределения числовой последовательности *b*, палитризованной спектрограммы числовой последовательности *v* сигнала, снятого во время включения модема, регистрации модема в сети GSM, измерения температуры MEMS-датчиком

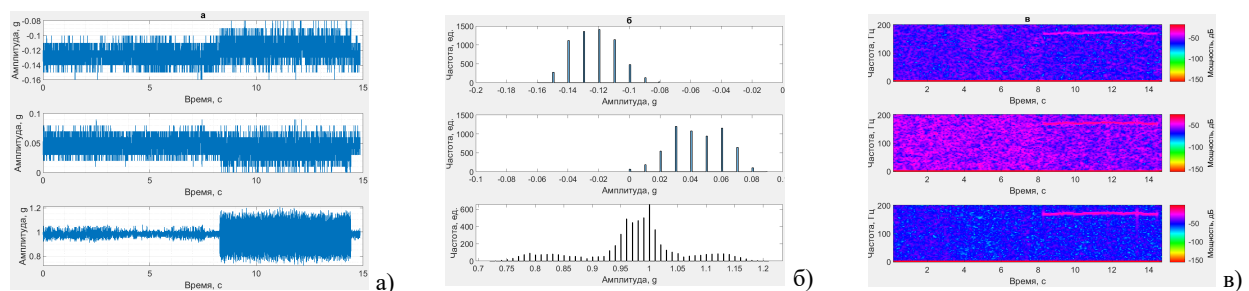


Рисунок 3 – Графики числовой последовательности *a*, гистограммы уровней плотности распределения числовой последовательности *b*, палитризованной спектрограммы числовой последовательности *v* сигнала, снятого во время включения модема, регистрации модема в сети GSM, работы пьезоэлектрического излучателя

Анализ графиков гистограммы уровней плотности распределения числовой последовательности сигналов рисунков 1-3 показывает принадлежность сигнала по осям  $X$  и  $Y$  нормальному распределению, также соответствующему сигналу *MEMS*-акселерометра в состоянии покоя [3]. Несмотря на то, что на гистограммах проявляется распределение умеренно асимметричное, данный вид распределения может быть вызван недостаточным количеством отсчётов исходного сигнала, малой частотой дискретизации, особенностями работы *MEMS*-акселерометра, неидеальными условиями эксперимента.

На всех графиках числовой последовательности и спектрограммы сигнала *MEMS*-датчика начиная с 8 секунды проявляется изменение плотности шума, вызванного окончанием включения GSM-модема с последующей его регистрацией в сети *GSM*.

В отличие от осей  $X$  и  $Y$ , на гистограмме уровней плотности числовой последовательности соответствующей оси  $Z$ , представленной на рисунке 1, проявляется наличие помех (шума) в выходном сигнале датчика со стороны прибора, выражающегося в принадлежности сигнала *MEMS*-акселерометра многовершинному распределению. Такие же шумы можно заметить при рассмотрении спектрограмм, соответствующих каждой из осей датчика.

На графиках числовой последовательности и спектрограммы сигнала, представленных на рисунке 2, сильно проявляются шумовые составляющие сигнала после начала работы другого MEMS-датчика.

Представленные на рисунке 3 графики отчетливо показывают наличие шума в сигнале датчика, вызванного работой пьезоэлектрического излучателя. В частности, на спектрограмме присутствует спектр частотой около 160 Гц. Очевидна принадлежность данного спектра влиянию работы пьезоэлектрического излучателя. Также отметим наличие гистограммных уровней, соответствующих влиянию работы излучателя.

Обнаруженные отдельные виды шумов требуют последующего применения методов обработки сигнала.

Следует отметить, что присутствие шумовых составляющих в сигнале датчика наиболее заметны на графиках, соответствующих оси Z. В данном случае оси, совпадающей с вектором силы тяжести. Из этого следует вывод, что влияние шума на сигнал MEMS-акселерометра, вызванного внутренними факторами, в наибольшей степени проявляется на тех осях, на которые оказывается внешнее воздействие.

**Заключение.** Проведен анализ частотных характеристик сигналов MEMS-акселерометра при различных режимах работы прибора в состоянии покоя. Выполнено исследование влияния работы приборной периферии прибора на выходной сигнал MEMS-акселерометра. Установлено, что влияние шумовых составляющих на сигнал MEMS-акселерометра, вызванных внутренними факторами, в большей степени проявляется на осях, подверженных внешнему воздействию.

### Список литературы

1. Ващилов, А.Д. Прибор инерциальной навигации на основе MEMS-датчиков / А.Д. Ващилов, О. Ч. Ролич // Новые информационные технологии в научных исследованиях НИТ-2021: сб. материалов XXVI Всерос. науч.-техн. конф. / отв. ред. А.В. Коняхин. – Рязань : РГРТУ, 2021. – С. 253-255.

2. Пурькова, М. В. Алгоритм статистического анализа данных / М. В. Пурькова, О. Ч. Ролич // Интеллектуальные, сенсорные и мехатронные системы-2021 : сборник научных трудов (по материалам студенческих научно-технических конференций). – Минск: БНТУ, 2021. – С. 26-28.

3. Ващилов, А.Д. Исследование частотных характеристик сигналов покоя MEMS-акселерометра / А.Д. Ващилов, Н.О. Туровец // Электронные системы и технологии : сборник материалов 58-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 2022. – С. 152-154.

UDC 004.931

## RESEARCH OF FREQUENCY CHARACTERISTICS OF MEMS ACCELEROMETER SIGNALS FOR DIFFERENT OPERATING MODES OF DEVICE AT REST

*Vashchylau A.D.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Rolich O.Ch. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ICSD*

**Annotation.** The frequency characteristics of the signals of the MEMS accelerometer type KX003-1077 are experimentally studied for various modes of operation of the device. The impact of the periphery of the device on the output signal of the sensor has been analyzed. It has been established that the output signal of the sensor is the sum of the noise components of the rest signals and the noise components caused by the operation of the periphery of the device.

**Keywords:** MEMS accelerometer, frequency characteristics, noise components of signal, statistical spectral analysis