

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра ядерной физики**

УДК 539.1.075

Карпенко  
Антон Николаевича

**ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ ВИБРАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ  
УСТАНОВКАХ**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Научный руководитель  
доцент, к.т.н.  
Левко Иван Аркадьевич

Рецензент  
доцент, к.ф.-м.н.  
Данилович Юрий Александрович

Допущен к защите

« 11 » *июль* 2019 г.

Зав. кафедрой ядерной физики

канд. физ.-мат. наук, доцент Тимощенко А.И.

Минск, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений .....	4
РЕФЕРАТ .....	5
Введение.....	8
ГЛАВА 1 ОСНОВЫ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ.....	9
1.1 Вибрация .....	9
1.2 Классификация преобразователей .....	11
1.3 Формирование возбуждающего сигнала .....	14
1.4 Измерение параметров вибрации .....	15
1.5 Точки измерения .....	17
1.6 Контрольно-измерительная аппаратура .....	19
ГЛАВА 2 ОСНОВЫ BLUETOOTH-ТЕХНОЛОГИИ .....	20
2.1 Что такое Bluetooth .....	20
2.2 Адреса и имена Bluetooth-устройств.....	20
2.3 Процесс соединения устройств .....	21
2.4 Связывание и парирование (сопряжение) .....	22
2.5 Классы мощности.....	22
2.6 Профили Bluetooth .....	22
ГЛАВА 3 АКСЕЛЕРОМЕТР ADXL345 .....	24
3.1 Характеристики акселерометра.....	24
3.2 Конфигурация пинов .....	25
3.3 Описание регистров.....	26
3.4 Информация по применению.....	28
3.5 Распознавание ударов.....	30
3.6 Порог .....	32
ГЛАВА 4 СОЗДАНИЕ ПРОЕКТА .....	33
4.1 Android Studio .....	33
4.2 Установка Android Studio .....	33
4.3 Java.....	36
4.4 Структура Android-проекта.....	37
4.5 Конфигурирование в STM32CubeMX .....	39

4.6 Keil MDK-ARM.....	40
4.7 Плата STM32F407 Discovery.....	40
4.8 Микроконтроллер STM32F407VGT6.....	42
4.9 Метод наименьших квадратов.....	44
4.10 КИХ-фильтры.....	46
4.11 Bluetooth в Android-устройстве.....	47
4.12 Чтение данных через Bluetooth.....	51
4.13 Блок-схема установки.....	53
4.14 Результаты измерений.....	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	61
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	64

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация — 64 с.; 38 рис.; 6 табл.; 28 источников.

ВИБРАЦИЯ, СИГНАЛ, BLUETOOTH, ANDROID, КИХ-ФИЛЬТР, АКСЕЛЕРОМЕТР, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ, ЧАСТОТА ВИБРАЦИИ, JAVA, ANDROID-ПРИЛОЖЕНИЕ.

Цель работы — создание и правильное размещение на установках дистанционного устройства для измерения частоты вибраций, на основе беспроводных технологий Bluetooth, которые потребляют мало энергии, по сравнению с прямым измерением частот технологических процессов и написание программы, обрабатывающей входные сигналы от детектора.

Объектом исследования является частота вибрации.

Выбор объекта исследования обусловлен мониторингом и прогнозированием резонансов, и снижением уровня вибрации на АЭС.

Результатами работы являются разработка установки для моделирования вибрационных процессов, создание приложения для мониторинга вибрации и исследование результатов датчика от его положения.

## THE SUMMARY

The master's thesis — 64 pages; 38 images; 6 tables; 28 references.

VIBRATION, SIGNAL, BLUETOOTH, ANDROID, FIR-FILTER, ACCELEROMETER, MICROCONTROLLER, LEAST SQUARE METHOD, VIBRATION FREQUENCY, JAVA, ANDROID-APPLICATION.

The task of thesis is creation and correct location remote equipment for measurement of vibration frequency using Bluetooth that is wireless technology and consumes low energy compared with directly measurement and writing of program that processes input data from sensor.

An item of researching is vibration frequency.

The choice of item of researching is conditioned by monitoring and prediction of resonance and reducing of level of vibration on the NPP.

Results of the work are developing of equipment for simulating vibration activity, creating of application for vibration monitoring and researching of sensor results depending on its position.