

УДК 004.93

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ОТКЛОНЕНИЙ В РАБОТЕ ДВИГАТЕЛЯ

*Раловец А.А., магистрант гр. 256241, Мискевич П.Л., магистрант гр. 256241, Деменковец Д.В., аспирант*

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

*Волорова Н.А. – канд. техн. наук, доцент*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию возможности применения цифровой обработки звукового сигнала автомобиля для ранней диагностики неисправностей двигателя. Для автоматического выявления отклонений в работе двигателя было предложено использовать анализ частотных характеристик звука в сочетании с методами машинного обучения. Результаты эксперимента показали работоспособность предложенного метода.

**Ключевые слова.** Неисправности двигателя, цифровая обработка сигналов, частотный анализ, спектральный анализ, машинное обучение, модель гауссовых смесей.

Ранняя диагностика неисправностей автомобиля является важной задачей для обеспечения безопасности дорожного движения и экономической эффективности эксплуатации автомобилей. Неисправности, которые не были обнаружены и устранены вовремя, могут привести к авариям, повреждению оборудования и необходимости замены дорогостоящих деталей. С применением спектрального анализа можно выделить определенные амплитудно-частотные характеристики звука двигателя, которые могут указывать на наличие неисправностей. Для автоматизации процесса обнаружения отклонений в работе двигателя необходимо провести выбор оптимального метода машинного обучения.

С помощью микрофона, расположенного рядом с двигателем автомобиля, происходит преобразование аналогового звукового сигнала в цифровой вид с частотой дискретизации 44100 Гц и квантованием 16 бит [1]. Результатом является файл формата Waveform Audio File Format [2]. Преимуществом формата WAV является сохранение звукового файла без потерь качества. Визуализация записанного звукового сигнала представлена на рисунке 1.

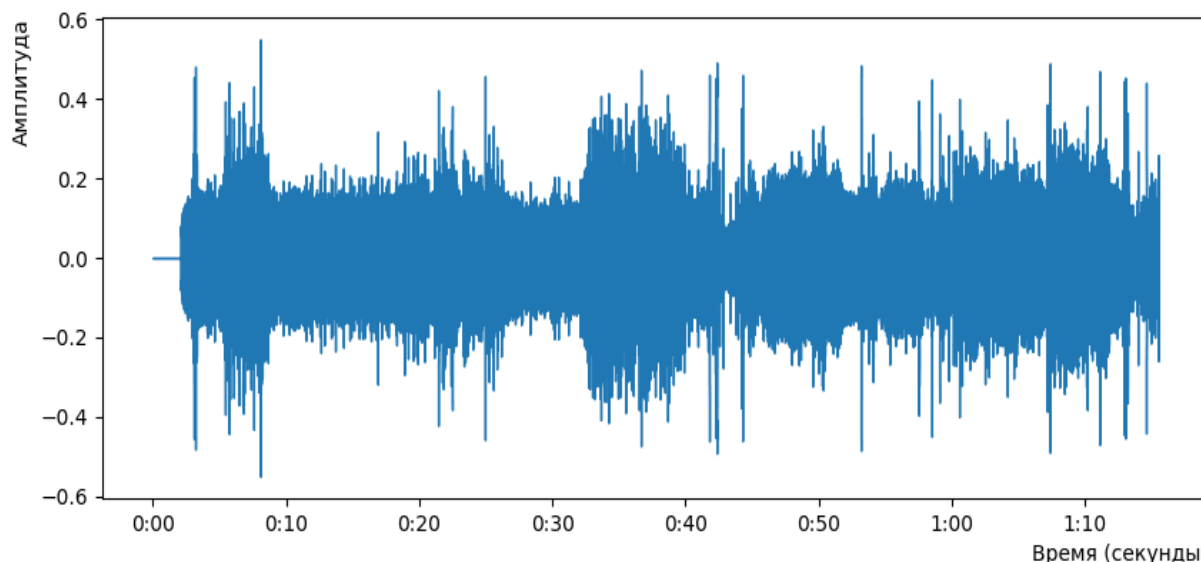


Рисунок 1 – Звуковой сигнал работы двигателя автомобиля

Для получения спектрограммы из представления звукового сигнала было выполнено преобразование Фурье (2048 значений) [3]. Входными данными для алгоритма быстрого преобразования Фурье являлся массив комплексных чисел, действительная часть которых – образцы оцифрованного сигнала, принадлежащие одному окну; мнимая часть – нулевая. После заполнения исходной комплексной матрицы, содержащей информацию об одном окне, выполняется БПФ-анализ для этого окна.

На основе полученного частотного спектра сигнала строится спектрограмма [4]. Каждые 93 миллисекунды исходного сигнала соответствуют вертикальной линии на изображении спектрограммы (рисунок 2).

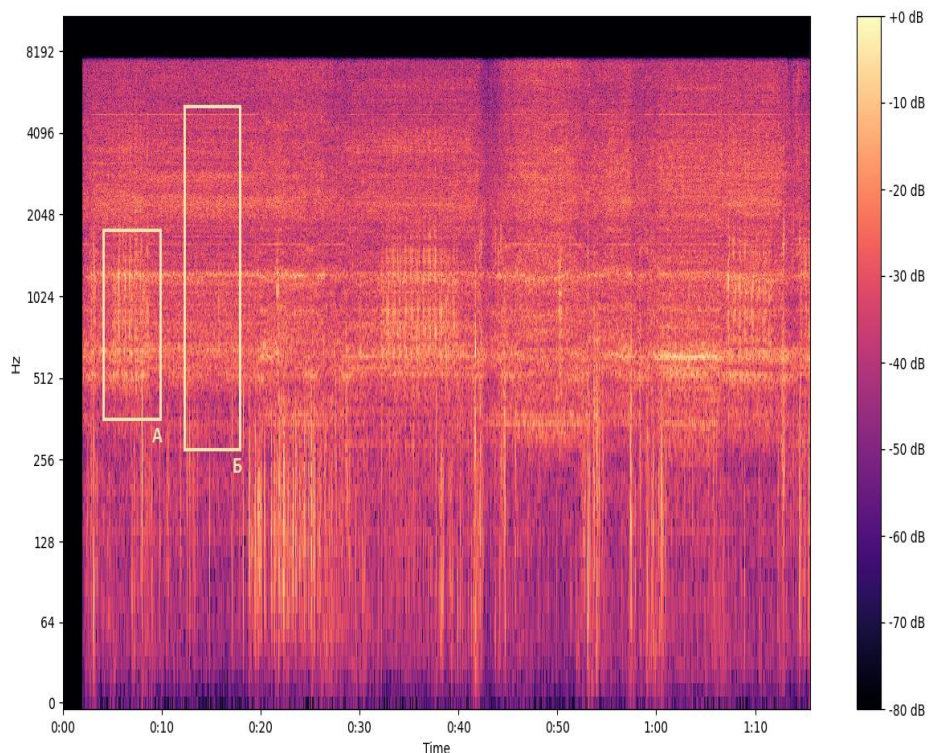


Рисунок 2 – Спектрограмма звукового сигнала работы двигателя

Запись звуковой дорожки была произведена в условиях повышенного уровня шума на открытом воздухе, поэтому на спектрограмме заметны искажения и это несколько усложняет задачу анализа. Однако в полученной спектрограмме явно выделяются частоты, преобладающие в исследуемом звуке. В исследуемой записи были выявлены основные частоты работы двигателя без дефектов холостого хода: 600, 1200, 2400 и 4800 Гц (область «Б» на рисунке 2).. Звуки неисправного двигателя (стуки) были выявлены в промежутке времени с 5 по 8 секунду записи на частотах 600-1200 Гц (область «А» на рисунке 2).

Появилась необходимость выбрать алгоритм, который будет учитывать наличие шумов в записи и будет способен обнаружить не только стук, но и другие отклонения. Возникает задача бинарной классификации, которая заключается в определении наличия дефекта в работе двигателя. Задачу можно решить с помощью модели гауссовых смесей [5]. Этот алгоритм хорошо подходит для решения задач кластеризации, особенно в случаях, когда кластеры имеют сложную форму. Его необходимо применить для распределения акустических событий по двум кластерам – "стационарная работа" и "неисправность".

Для обучения модели Гауссовых смесей было выбрано три компонента смеси [6]. Это число компонент было выбрано на основе экспериментов и оценки качества модели на тестовых данных. Идея модели заключается в описании данных сложным распределением, которое является линейной комбинацией нескольких многомерных нормальных распределений.

В случае работы двигателя звук его работы можно рассматривать как стационарный, что делает возможным описание этого звука с помощью такого распределения. Для подбора параметров модели, таких как тип ковариационной матрицы, был использован ВИС критерий [7]. Однако в данном случае оптимальные параметры, подобранные с помощью этого критерия, оказались менее эффективными, чем параметры, подобранные экспериментальным путём.

После обучения модели можно оценить степень схожести распределения некоторого неизвестного спектра на распределение спектра при нормальной работе двигателя. Для этого необходимо вычислить среднее правдоподобие столбцов спектрограммы исследуемого сигнала и подобрать порог, который будет отделять правдоподобие звуков хорошей работы от всех

остальных. Для каждой секунды можно определить коэффициент правдоподобия, сравнивая спектрограммы и вычисляя, в какой степени данные соответствуют распределению. Зависимость коэффициента правдоподобия сигнала, а также моменты начала и конца сигнала с неисправностью изображены на рисунке 3.

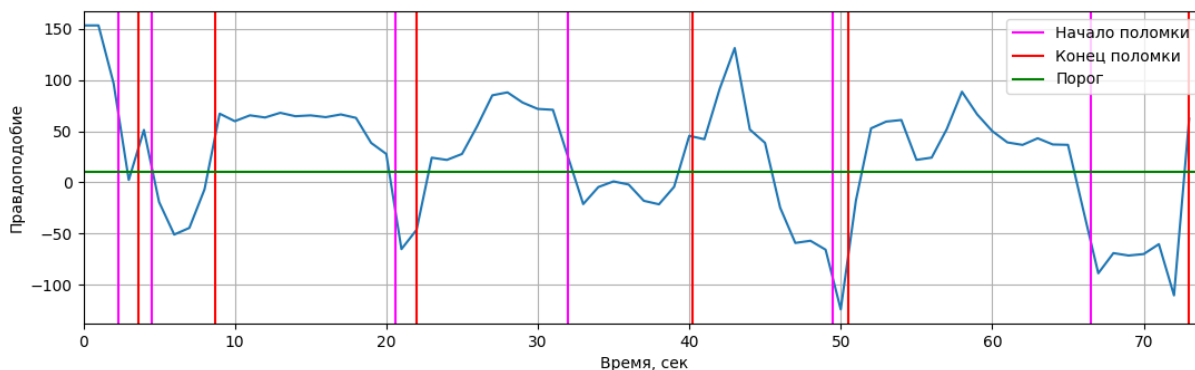


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента правдоподобия сигнала, моменты начала и конца сигнала двигателя с неисправностью

Из графика зависимости коэффициента правдоподобия от времени на рисунке 3 видно, что в моменты звучания неисправности (стука) коэффициент правдоподобия записи становится ниже порога, что означает способность алгоритма различать записи со звуком неисправности и без неё.

Однако, стоит отметить, что местами значения правдоподобия находятся достаточно близко к пороговому значению и могут быть влиянием других звуков, таких как посторонние шумы. Это также может повлиять на величину коэффициента правдоподобия.

Таким образом, применение цифровой обработки сигналов и методов машинного обучения является достаточно перспективным направлением в области информационных технологий и диагностики автомобильной техники. Результаты выполненной работы показали, что метод модели гауссовых смесей может быть использован для выявления неисправностей в работе двигателя по звуковому сигналу. Однако, для более точной и надежной диагностики необходимо дополнительно расширять базу данных звуков и проводить дальнейшие исследования в этой области.

**Список использованных источников:**

1. Lyons, R. *Understanding Digital Signal Processing*. / Richard G. Lyons, 2010. – 954 p.
2. WAVE pcm soundfile format [Electronic resource]. – Mode of access: <http://soundfile.sapp.org/doc/WaveFormat/> – Date of access: 06.04.2023.
3. *Integral Calculations – EqWorld* [Electronic resource]. – Mode of access: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/auxiliary/aux-intrans.htm> – Date of access: 07.04.2023.
4. Oppenheim, A. V., Schaffer, R. W. *Discrete-time signal processing*. Pearson. / Alan V. Oppenheim, 2010.
5. Reynolds, D. A., *Gaussian mixture models*. Encyclopedia of biometrics. / David Reynolds, 2009.
6. Fraley, C., & Raftery, A. E., *Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation*. Journal of the American statistical Association / Chris Fraley, 2002. – 611-631 pp.
7. Schwarz, G.. *Estimating the dimension of a model*. The Annals of Statistics. / Gerald Walter Schwarz, 1978 г. – 461-464 pp.

UDC 004.93

## APPLICATION OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING AND MACHINE LEARNING METHODS FOR EARLY DIAGNOSIS OF DEVIATIONS IN ENGINE OPERATION

*Ralovets A.A., Miskevich P.L., Demenkovets D.V.*

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

*Volorova N.A. – PhD in Engineering, Associate Professor*

**Annotation.** The article is dedicated to studying the possibility of using digital processing of vehicle sound signals for early diagnosis of engine malfunctions. To automatically detect deviations in engine operation, the analysis of sound frequency characteristics in combination with machine learning methods was proposed. The experimental results demonstrated the effectiveness of the proposed method.

**Keywords.** Engine malfunctions, digital signal processing, frequency analysis, spectral analysis, machine learning, Gaussian mixture model.