

14. Dhara M Patel. Design and Analysis of CPW Fed Patch Antenna at 2.4GHz, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, April 2018, Vol. 52, pp. 2132-2134.
15. Piyush Kuchhal, et al. Design and Analysis of CPW-Fed Microstrip Patch Antenna for ISM Band Applications, *2020 IEEE International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, Trichy, India, Sept. 2020.
16. Piyush Kuchhal, et al. Design and Analysis of a Dual-Band CPW fed Microstrip Patch Antenna, *2021 IEEE 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Erode, India, April 2021.
17. Anjaneyulu G. a nd Siddartha Varma J, Design of a CPW fed Microstrip Patch Antenna with Defective Ground Structure for Wireless Applications, *2021 IEEE 6th International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, Coimbatore, India, Jan. 2021.
18. Dhurgham Abdulridha Jawad Al-Khaffaf, et al. Miniaturised tri-band microstrip patch antenna design for radio and millimetre waves of 5G devices, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, March 2021, Vol. 21, No. 3, pp. 1594-1601.
19. Wei Hong, et al. "Multibeam Antenna Technologies for 5G Wireless Communications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, December 2017, Vol. 65, No. 12, pp. 6231-6249.
20. Constantine A. Balanis. Antenna theory analysis and design. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2016.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Б.Г. Коноплев.

Юханов Юрий Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: yu_yukhanov@mail.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +78634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; зав кафедрой; д.т.н.; профессор.

Алшимаисаве Ихан Абдлкарем – Инженерно-технический колледж; Технический университет Аль-Фурат Аль-Аусат; e-mail: ihsan.abdulkarem@gmail.com; Наджаф, Ирак; тел.: +79957566781; кафедра инженерии коммуникационных технологий; студент.

Yukhanov Yury Vladimirovich – Southern Federal University; e-mail: yu_yukhanov@mail.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371733; the department of antennas & radio transmitters; head of department; dr. of eng. sc., professor.

Alshimaysawe Ihsan Abdulkarem – Engineering Technical College; Al-Furat Al-Awsat Technical University; e-mail: ihsan.abdulkarem@gmail.com; Najaf, Iraq; phone: +79957566781; the department of communication technology engineering; student.

УДК 62-93

DOI 10.18522/2311-3103-2022-6-212-222

А.В. Логунов, А.Л. Береснев

ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, ИЗЛУЧАЕМЫХ АВТОМОБИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Работа посвящена проблеме диагностирования автомобильных двигателей внутреннего сгорания. Проблема контроля состояния двигателей внутреннего сгорания сейчас наиболее актуально из-за увеличения числа автомобилей и ужесточения экологических требований. В работе рассмотрены последствия работы неисправного двигателя внутреннего сгорания. Целью работы является разработка такого метода, который способен помочь наиболее точно и быстро обнаружить неисправность. С появлением современных технологий давно известный метод оценки состояния двигателей внутреннего сгорания по звуку может стать самым передовым, поскольку исключается человеческий фактор, для обработки сигнала применяется вычислительная техника анализ звукового спектра, в которой осуществляется с помощью искусственных нейронных сетей. Применение искусственных нейронных сетей для анализа звукового спектра нашло применение в распознавание речи и для диагностики заболеваний дыхательной системы. В статье рассмотрены механизмы, которые способны генерировать звуковые сигналы во время работы двигателя

внутреннего сгорания, некоторые из них фазированы т.е. привязаны к рабочим тактам, некоторые не фазированы. Предложенный метод диагностики позволяет выделить «полезные» звуки из общего числа шумов двигателя, после сравнительного анализа указать на узел звук, которого отличается от эталонного, исправного. Научная новизна состоит в том, что процесс диагностики становится автоматизированным, все звуки, снятые датчиками, обрабатывается в ЭВМ или специальном сканере, на дисплей выводится информация о состоянии тех или иных узлов, в отличие от традиционных методов, где диагностика осуществляется визуально или на слух. Таким образом повышается точность диагностики и снижается общая трудоемкость за счет исключения частичной или полной разборки двигателя.

Двигатель внутреннего сгорания; диагностика; звук; вибромониторинг; искусственная нейронная сеть.

A.V. Logunov, A.L. Beresnev

VIBRATION MONITORING OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

The work is devoted to the problem of diagnosing automobile internal combustion engines. The problem of controlling the condition of internal combustion engines is now the most relevant because of the increasing number of cars and tightening of environmental requirements. The paper considers the consequences of a faulty internal combustion engine. The aim of the work is to develop a method that can help to detect the fault most accurately and quickly. With the advent of modern technologies the long known method of internal combustion engines condition estimation by the sound can become the most advanced, as the human factor is excluded, for signal processing the computer techniques of the sound spectrum analysis which is carried out by means of artificial neural networks are applied. The application of artificial neural networks for analyzing the sound spectrum has found application in speech recognition and for diagnosing respiratory diseases. In the article the mechanisms which are capable to generate sound signals during internal combustion engine work are considered, some of them are phased i.e. are connected to working strokes, some of them are not phased. The proposed method of diagnostics allows selecting "useful" sounds from the total number of engine noises and, after a comparative analysis, pointing to a node whose sound differs from the reference, serviceable one. Scientific novelty lies in the fact that the diagnostic process becomes automated, all the sounds recorded by sensors are processed in a computer or a special scanner, the display shows information about the condition of certain nodes, in contrast to traditional methods where the diagnosis is carried out visually or by ear. This increases diagnostic accuracy and reduces overall labor intensity by eliminating partial or complete engine disassembly.

Internal combustion engine; diagnostics; sound; vibromonitoring; artificial neural network.

Введение. Диагностика технического состояния двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в процессе эксплуатации обеспечивает, с одной стороны, надежность и безотказность работы за счет своевременного технического обслуживания и ремонта и, с другой стороны, обеспечивает полную реализацию ресурса узлов ДВС, что способствует снижению затрат, повышению экономических и экологических показателей ДВС.

Неисправный ДВС является повышенным источником вредных веществ – химических соединений, содержащихся в отработавших газах (ОГ), загрязняющих окружающую среду и оказывающих неблагоприятное воздействие на здоровье человека (и живые организмы). В ОГ двигателей внутреннего сгорания содержится большое число химических соединений (более 250), опасных для здоровья человека [1]. При неправильной работе ДВС выбросы вредных веществ существенно увеличиваются, именно поэтому необходима своевременная диагностика.

Интенсивный рост парка автотранспортных средств предопределяет рост значимости проблемы шумового загрязнения среды обитания человека. Одним из наиболее активных источников шума автомобиля является ДВС [2].

Под шумом ДВС понимается акустическое излучение, производимое им при работе. Шум двигателя измеряют величиной уровня и спектром. Это характеристики шума ДВС в точке пространства. Двигатель как источник акустического излучения характеризуют значением излучаемой акустической мощности, ее спектром и диаграммой направленности излучения. Чрезмерный шум может явиться причиной нервного истощения, вегетативного невроза, психической угнетённости, язвенной болезни, расстройства эндокринной и сердечно-сосудистой систем [3]. Шум неисправного ДВС, соответственно, более негативно сказывается на здоровье, поэтому это еще одна причина из-за которой эксплуатация автомобиля с неисправностями должна быть прекращена, выполнена правильная диагностика и ремонт.

Один из перспективных методов диагностики – это виброакустический метод диагностики ДВС. Суть данного метода заключается в регистрации звуковых волн вибродатчиком, а также съём показаний с датчика давления в цилиндре и с датчика на свече первого цилиндра, использующегося для синхронизации сигнала вибродатчика. Затем частотный спектр записанного звукового сигнала разбивается на интервалы, число которых при первой итерации цикла поиска неисправности полагается равным трем. После этого происходит выбор очередного интервала сигнала и разложение его в ряд Фурье. На основании данных с датчика детонации определяется, фазирован сигнал или нет.

При этом в зависимости от типа для фазированного сигнала выполняются процедуры: определение фазы всплеска, прогноз источника сигнала и вейвлет-преобразование, а для нефазированного — вейвлет-преобразование, определение точки излучения максимального уровня сигнала и поиск сходства с образцами сигналов в базе данных. С помощью метода виброакустического анализа при диагностике ДВС могут быть определены следующие параметры: пропуски воспламенения; угловое положение коленчатого вала (КВ) и неисправности в основных парах сопряжения ДВС. Кроме того, при данном подходе для определения большинства дефектов нет необходимости выбора промежутков для разбиения реализаций на отдельные короткие участки равной длины [8].

Современный ДВС – сложное техническое устройство, содержащие ряд агрегатов и механизмов. Все эти механизмы являются источниками шумов, стуков, появляющихся из-за процессов, происходящих в ДВС. Уровень шума двигателя возрастает по мере износа его деталей, из-за выхода из строя деталей или неисправности отдельных механизмов и систем. В основном, стуки и шумы являются следствием ослабления креплений и посадок, увеличения зазоров в сопряжении деталей. Выделим наиболее важные группы механизмов ДВС, которые при выходе из строя начинают издавать нехарактерные для нормальной работы звуки, неисправность которых, возможно определить только с помощью частичной или полной разборкой: цилиндро-поршневая группа (ЦПГ), газораспределительный механизм (ГРМ), подшипники.

В состав ЦПГ входят поршень с компрессионными и маслосъемными кольцами, которые называются поршневыми кольцами, а также гильза цилиндра. Неисправности в ЦПГ приводят к увеличенному расходу масла, что негативно сказывается на экологии.

Четырехтактные автомобильные двигатели имеют клапанные ГРМ, в которых впуск горючей смеси (воздуха) и выпуск отработавших газов происходит при помощи впускных и выпускных клапанов [9]. Основными элементами газораспределительного механизма являются распределительный вал, впускные и выпускные клапаны с пружинами, крепежными деталями и направляющими втулками, привод распределительного вала, а также детали (толкатели, штанги, коромысла и др.), обеспечивающие передачу перемещения от распределительного вала к клапанам.

Стук в ГРМ возникает по следующим причинам:

- ◆ стук клапанов седел толкателей;
- ◆ стук направляющих втулок клапанов и стебля клапана;
- ◆ стук толкателя в направляющей;
- ◆ стук регулировочной шайбы в толкателе;
- ◆ стук распределительного вала по рокерам.

Так же стоит выделить еще одну причину стука – растянутая цепь в приводе ГРМ. Все эти неисправности приводят к неполному сгоранию топлива, что очень сильно влияет на экологию, к этому добавляется потеря динамики автомобиля. Определить вышедшие из строя узлы ГРМ сложно, диагностика сопровождается частичной разборкой ДВС.

Еще одними источниками постороннего звука в ДВС являются подшипники качения, эти звуки не связаны с рабочими тактами ДВС, неисправность можно обнаружить только по звуку либо при визуальном осмотре.

Постановка задачи. Описанные выше неисправности ДВС возможно обнаружить с помощью акустического анализа [10–14]. Для решения поставленной задачи необходимо разработать метод регистрации акустических сигналов, излучаемых узлами и агрегатами, и алгоритм, позволяющий производить диагностирование двигателя внутреннего сгорания безразборным методом. Рассмотреть методы обработки полученного сигнала.

Акустический метод оценки технического состояния двигателя основан на регистрации амплитуд колебательных процессов, возникающих при работе механизмов двигателя.

Описание разработки. На поверхности ДВС закрепляется датчики детонации (рис. 1), которые подсоединяются к микрофонному входу звуковой карты компьютера. Принцип действия датчика основан на пьезоэффекте. При возникновении детонации происходит вибрация двигателя, приводящая к сжатию пьезоэлектрической пластины датчика, в результате чего на её концах возникает разность потенциалов. Обоснованность выбора данного типа датчика заключается в том, что он специально предназначен для работы в тяжелых условиях, способен выдерживать высокие температуры и попадание влаги, а также опытным путем было выяснено что он способен отсекал посторонние шумы в отличие от обычного микрофона.

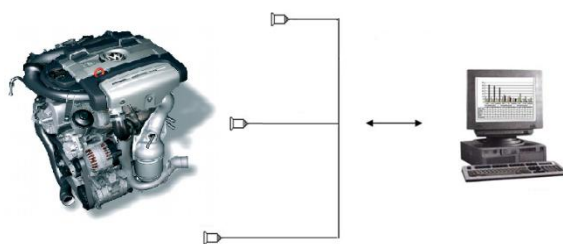


Рис. 1. Схематичное представление диагностики ДВС с помощью акустического анализа

Далее звук с работающего двигателя записывается в память. Сохраненные в памяти компьютера данные, можно обрабатывать с помощью программного цифрового фильтра. Цифровой параметрический фильтр имеет все необходимые регулировки – выбор частоты пропускания, регулировки полосы пропускания и добротности. Таким образом, можно выделить именно интересующий звук, отсекая все фоновые шумы [15]. Для анализа полученного звукового спектра возможно

использовать нейронную сеть [16]. Сейчас использование искусственных нейронных сетей становится актуальным решением для многих задач, т.к. существующие методы вычисления слишком трудоемки и малоэффективны. Одним из достоинств нейронных сетей является то, что становится возможным определить результат значений, которые не являются частью экспериментальных данных. Типовые задачи, решаемые с помощью нейронных сетей и нейрокомпьютеров: автоматизация процесса классификации; автоматизация прогнозирования; автоматизация процесса предсказания; автоматизация процесса принятия решений; управление; кодирование и декодирование информации; аппроксимация зависимостей и др. [17].

Описание эксперимента. Для определения неисправности необходимо придерживаться следующего алгоритма:

- ◆ Необходимо записать звук;
- ◆ Следующим этапом будет преобразование полученного сигнала в спектрограммы, это преобразование необходимо для извлечения признаков;
- ◆ Далее извлекаем признаки из спектрограммы: спектральный центроид, MFCC, частоту пересечения нуля, частоты цветности и спад спектра.
- ◆ Обрабатываем и разбиваем данные на наборы для обучения и тестирования;
- ◆ Далее создаем модель нейронной сети, которая поможет идентифицировать неисправность;
- ◆ Оцениваем точность модели;

Определение стука клапана головки блока цилиндров. Эксперимент выполнен над двигателем внутреннего сгорания автомобиля ВАЗ 2111. Для сравнения полученных данных и чистоты эксперимента выполнена запись звука на исправной головке блока цилиндров (ГБЦ) и отрегулированных всех клапанах, а также при неверно выставленном зазоре клапана. Для имитации неисправности на впускном клапане второго цилиндра устанавливается регулировочная шайба меньшей толщины (разница 0,6 мм).

В эксперименте использовались: диагностический комплекс "MotoDocII"; датчик первого цилиндра; датчик вторичного напряжения; датчик давления без искры; осциллографические щупы; устройство записи стандартный датчик детонации; датчик индикации работы двигателя; программное обеспечение (редактор цифрового звука, программа анализа сигнала, Google Colab сервис, Visual Studio Code).

Датчик первого цилиндра подключается к высоковольтному проводу первого цилиндра. По нему осуществляется синхронизация. Для подключения датчика давления необходимо выкрутить свечу, вместо свечи к высоковольтному проводу подключить разрядник и вкрутить датчик давления в цилиндр, используя подходящий переходник из комплекта поставки. Разрядник подключить "крокодил" на массу двигателя. Устанавливаем записывающее устройство в подкапотной области автомобиля. Осциллографические щупы подключаем к выходу датчика детонации. Диагностический комплекс и записывающее устройство переводим в режим "Запись".

Воспользовавшись диагностическим комплексом "MotoDocII" мы получили график давления во втором цилиндре, представленный на рис. 2.

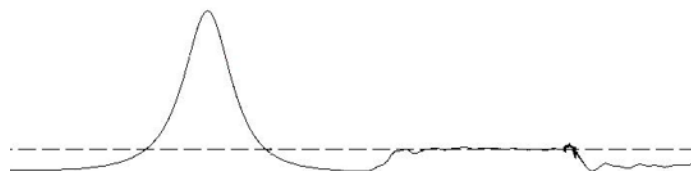


Рис. 2. График давления во втором цилиндре

Данный график необходим для того, чтобы осуществить разметку фаз газораспределения.

Нам известно, что пик максимального давления приходится на момент верхней мертвой точки. Открытие выпускного клапана осуществляется примерно через 115 градусов, а закрытие через 375 градусов после ВМТ. Период работы впускного клапана примерно 340-600 градусов после ВМТ.

Записав одновременно сигналы с датчика давления и датчика детонации, получили график, изображенный на рис. 3.

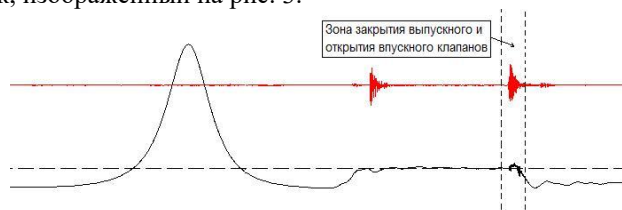


Рис. 3. Графики одновременной записи сигнала с датчика давления и датчика детонации

Из графиков видно, что всплеск появляется в фазе выпуска, когда на поршень нагрузки нет, следовательно, это не может быть стуком поршня. Отсюда делаем вывод, что это звук открывания выпускного клапана, что является истиной т.к. для регулировки этого клапана установлена шайба меньшей толщины.

Экспериментальная обработка аудиосигнала выполняется с помощью высокоуровневого языка программирования общего назначения Python. Для эксперимента получены 2 аудиосигнала (1 – стучащий клапан, 2 – нормально работающей ГБЦ), все дорожки – это монофонические аудиофайлы 22 кГц, длительностью по 10 секунд в формате .wav.

Каждый аудиосигнал состоит из множества признаков. Спектральные (частотные) признаки получаются путем преобразования временного сигнала в частотную область с помощью преобразования Фурье. Анализ научных публикаций, в которых отражены результаты исследований голоса и звучащей речи, а также существующих систем распознавания звуков и музыки, помог определить ряд важных признаков аудиосигнала, которые позволят решить нашу задачу [18–20].

Для работы с нейронными сетями используется бесплатный сервис Google Colab, предоставляющий GPU и TPU в качестве сред выполнения.

В первую очередь нужно преобразовать аудиофайлы в изображения формата PNG (спектрограммы). Затем из них нужно извлечь значимые характеристики: MFCC, спектральный центроид, скорость пересечения нуля, частоты цветности, спад спектра. После извлечения, признаки можно добавить в файл CSV, который используется нейронной сетью для классификации [21–24]. Подробно рассмотрим один из признаков – скорость пересечения нуля. Для визуального представления построим график записанного аудиосигнала.

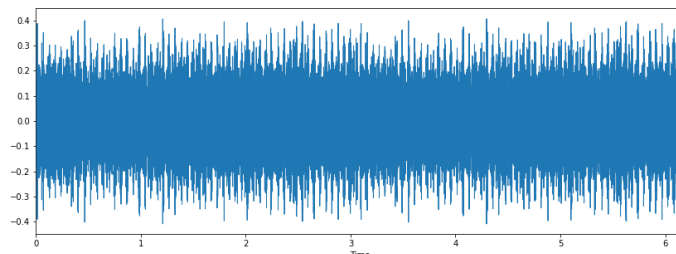


Рис. 4. График аудиосигнала

Увеличим масштаб графика и выделим участок, на котором проявляется всплеск.

```
n0 = 9000
n1 = 9100
plt.figure(figsize=(14, 5))
plt.plot(x[n0:n1])
plt.grid()
```

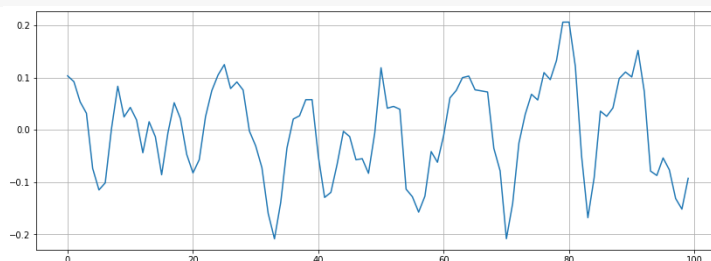


Рис. 5. Выделенный участок сигнал, на котором проявляется всплеск

Из графика можно выделить один из признаков, скорость пересечения нуля, по которому нейросеть сможет выделить звук разрегулированного клапана в данном случае скорость равна 19. Для сравнения на полностью исправной ГБЦ это значение равно 35.

Подтвердим достоверность расчета:

```
zero_crossings = librosa.zero_crossings(x[n0:n1], pad=False)
print(sum(zero_crossings))
```

```
#19 ←
```

Рис. 6. Результат вычислений

Аналогичным образом можно вычислить остальные признаки.

Перейдем к сервису Google Colab, для работы с нейросетью и вычислению всех признаков. Преобразуем полученный аудиофайл в спектрограмму.

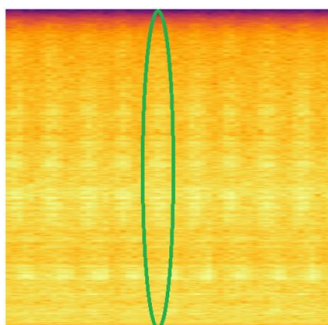


Рис. 7. Спектрограмма записанного аудиосигнала

На рисунке можно увидеть характерные, повторяющиеся светлые участки, которые появились по причине стучащего клапана. Извлекаем признаки из спектрограммы: MFCC, спектральный центроид, частоту пересечения нуля, частоты цветности и спад спектра.

```

file = open('dataset.csv', 'w', newline='')
with file:
    writer = csv.writer(file)
    writer.writerow(header)
test = 'badsound goodsound'.split()
for g in test:
    for filename in os.listdir(f'./drive/My Drive/test/{g}'):
        songname = f'./drive/My Drive/test/{g}/{filename}'
        y, sr = librosa.load(songname, mono=True, duration=30)
        rmse = librosa.feature.rms(y=y)
        chroma_stft = librosa.feature.chroma_stft(y=y, sr=sr)
        spec_cent = librosa.feature.spectral_centroid(y=y, sr=sr)
        spec_bw = librosa.feature.spectral_bandwidth(y=y, sr=sr)
        rolloff = librosa.feature.spectral_rolloff(y=y, sr=sr)
        zcr = librosa.feature.zero_crossing_rate(y)
        mfcc = librosa.feature.mfcc(y=y, sr=sr)
        to_append = f'{filename} {np.mean(chroma_stft)} {np.mean(rmse)} {np.mean(spec_cent)} {np.mean(spec_bw)} {np.mean(rolloff)} {np.mean(zcr)}'
        for e in mfcc:
            to_append += f' {np.mean(e)}'
        to_append += f' {g}'
file = open('dataset.csv', 'a', newline='')
with file:
    writer = csv.writer(file)
    writer.writerow(to_append.split())
    
```

Рис. 8. Окно программы Google Colab (извлечение признаков)

Выполняем предварительную обработку данных, которая включает загрузку данных CSV, создание меток, масштабирование признаков и разбику данных на наборы для обучения и тестирования.

В табл. 1 представлены разбитые на наборы данные для обучения и тестирования, а также результат моделирования работы нейронной сети.

Таблица 1

filename	chroma stft	rmse	spectral centroid	rolloff	zero crossing rate	mfcc	label
defective_valve.wav	0.55	0.067	4007.72	6748.41	0.3	75.12	badsound

Создаем модель нейронной сети и оценим ее точность:

```

[8] model.summary()

Model: "sequential"
-----
Layer (type)                Output Shape              Param #
-----
dense (Dense)                (None, 256)               6912
dense_1 (Dense)              (None, 128)              32896
dense_2 (Dense)              (None, 64)               8256
dense_3 (Dense)              (None, 10)               650
-----
Total params: 48,714
Trainable params: 48,714
Non-trainable params: 0
-----
1/1 [=====] - 0s 10ms/step - loss: 2.0266e-06 - accuracy: 1.0000
Epoch 100/100
1/1 [=====] - 0s 17ms/step - loss: 2.0266e-06 - accuracy: 1.0000
    
```

Рис. 9. Окно программы Google Colab (оценка точности)

После 100 эпох точность составляет 1, этот показатель говорит о том, что на данном этапе нейросеть способна с высокой долей вероятности выделить звук стучащего клапана.

Выводы. В работе рассмотрены проблемы влияния работы неисправного ДВС на человека и окружающую среду, представлены существующие методы поиска неисправностей. Проблема актуальна поскольку до сих пор нет точного и безотказного метода определения механических поломок ДВС. Представленный в эксперименте метод позволит классифицировать различные аудиосигналы ДВС и

выделять среди общего количества звук неисправного узла. Также для широкого практического применения необходимо создать целую базу аудиосигналов для обучения нейронной сети, поскольку в данный момент количество экспериментальных образцов недостаточно для точной оценки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов // Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания. – 2005.
2. Шатров М.Г. Шум автомобильных двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2014.
3. Дрябжинский О.Е. Негативное воздействие автотранспорта. Проблема шумового загрязнения // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 8-4. – С. 91-94.
4. Чернявский Н.И. Лабораторный практикум по междисциплинарному курсу «Техническое обслуживание и ремонт автомобильного электрооборудования». – Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2016. – 72 с.
5. Береснев А.Л., Береснев М.А. Практикум по лабораторным работам «Диагностика ДВС с помощью газоанализатора». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011.
6. Береснев А.Л., Береснев М.А., Бурьков Д.В. Практикум по лабораторным работам «Диагностика электрооборудования ДВС с помощью мотортестера». Для студентов специальности 140607. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008.
7. <http://www.adis-spb.ru/stati/417-o-motor-testerah.html> (дата обращения 25.05.2020).
8. Береснев А.Л., Береснев М.А. Виброакустический метод диагностики двигателя внутреннего сгорания // Теоретический и прикладной научно-технический журнал мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 6 (111). – С. 27-32.
9. Соловьев Д.В., Огороднов С.М. Газораспределительный механизм двигателя. – Н. Новгород, 2011.
10. Czech P., Lazarz B., Madej H., Wojnar G. Vibration diagnosis of car motor engines // Acta technica corviniensis – bulletin of engineering. – 2010.
11. Scheffer C., Girdhar P. Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance. – Newnes, 2004.
12. Patel V.N., Tandon N., Pandey R.K. Hindawi publishing corporation advances in acoustics and vibration // Experimental study for vibration behaviors of locally defective deep groove ball bearings under dynamic radial load. – 2014.
13. Burdzik R., Doleček R. Research of vibration distribution in vehicle constructive // Perner's contacts. – 2012. – P. 16-26.
14. Wang, X. Vehicle noise and vibration refinement, woodhead publishing limited. – Cambridge, 2010.
15. Deulgaonkar V.R. Review and Diagnostics of noise and vibrations in automobiles // International journal of modern engineering research (IJMER). – Vol. 1, No. 2. – P. 242-246.
16. Жеретинцев И.А., Глушков С.В., Жеретинцева Н.Н. Нейросетевая методика технической диагностики двигателей внутреннего сгорания по спектральному анализу шумовых характеристик // Вестник морского государственного университета. – 2010. – № 37.
17. Patrick Sincebaugh, William Green. A neural network based diagnostic test system for armored vehicle shock absorbers expert systems with applications. – 1996. – Vol. 11 No. 2. – P. 237-244.
18. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: учеб. пособие по курсу «Микропроцессоры». – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
19. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2013.
20. Гафаров Ф.М. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018.
21. Логунов А.В., Береснев А.Л. Виброакустическая диагностика транспортных средств // Проблемы современной системотехники сборник научных статей. – 2020. – Вып. XIV. – С. 118.

22. Логунов А.В., Береснев А.Л. Возможности виброакустического исследования и диагностики подвески транспортных средств // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 1 (218). – С. 165-174.
23. Логунов А.В., Береснев А.Л. Вибромониторинг двигателя внутреннего сгорания // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 6 (223). – С. 160-170.
24. Вакуленко С.А., Жихарева А.А. Практический курс по нейронным сетям. – СПб.: Университет ИТМО, 2018.

REFERENCES

1. Sharoglazov B.A., Farafontov M.F., Klement'ev V.V. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya, modelirovanie i raschet protsessov [Internal Combustion Engines: Theory, Modelling and Calculation of Processes], *Teoriya rabochikh protsessov i modelirovanie protsessov v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya* [Theory of Working Processes and Modelling of Processes in Internal Combustion Engines], 2005.
2. Shatrov M.G. Shum avtomobil'nykh dvigateley vnutrennego sgoraniya: ucheb. posobie [Noise of automobile internal combustion engines: textbook]. M.: MADI, 2014.
3. Dryabzhinskiy O.E. Negativnoe vozdeystvie avtotransporta. Problema shumovogo zagryazneniya [Negative impact of motor transport. The problem of noise pollution], *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii* [Modern trends in science and technology], 2015, No. 8-4, pp. 91-94.
4. Chernyavskiy N.I. Laboratornyy praktikum po mezhdistsiplinarnomu kursu «Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobil'nogo elektrooborudovaniya» [Laboratory practical work on the interdisciplinary course "Maintenance and repair of automotive electrical equipment"]. Tol'yatti: Izd-vo PVGUS, 2016, 72 p.
5. Beresnev A.L., Beresnev M.A. Praktikum po laboratornym rabotam «Diagnostika DVS s pomoshch'yu gazoanalizatora» [Workshop on laboratory work "Diagnosis of ICE with a gas analyzer"]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2011.
6. Beresnev A.L., Beresnev M.A., Bur'kov D.V. Praktikum po laboratornym rabotam «Diagnostika elektrooborudovaniya DVS s pomoshch'yu motortestera». Dlya studentov spetsial'nosti 140607 [Workshop on laboratory work "Diagnosis of electrical equipment ICE with a motor tester". For students in the specialty 140607]. Taganrog: Izd-vo TTI YuFU, 2008.
7. Available at: <http://www.adis-spb.ru/stati/417-o-motor-testerah.html> (accessed 25 May 2020).
8. Bepesnev A.L., Bepesnev M.A. Vibroakusticheskiy metod diagnostiki dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Vibroacoustic method of internal combustion engine diagnostics], *Teoreticheskiy i prikladnoy nauchno-tekhnicheskii zhurnal mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Theoretical and applied scientific and technical journal of mechatronics, automation, control], 2010, No. 6 (111), pp. 27-32.
9. Solov'ev D.V., Ogorodnov S.M. Gazoraspredeletel'nyy mekhanizm dvigatelya [Gas distribution mechanism of an engine]. Nizhniy Novgorod, 2011.
10. Czech P., Lazarz B., Madej H., Wojnar G. Vibration diagnosis of car motor engines, *Acta technica corviniensis – bulletin of engineering*, 2010.
11. Scheffer C., Girdhar P. Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance. Newnes, 2004.
12. Patel V.N., Tandon N., Pandey R.K. Hindawi publishing corporation advances in acoustics and vibration, *Experimental study for vibration behaviors of locally defective deep groove ball bearings under dynamic radial load*, 2014.
13. Burdzik R., Doleček R. Research of vibration distribution in vehicle constructive, *Perner's contacts*, 2012, pp. 16-26.
14. Wang, X. Vehicle noise and vibration refinement, woodhead publishing limited. Cambridge, 2010.
15. Deulgaonkar V.R. Review and Diagnostics of noise and vibrations in automobiles, *International journal of modern engineering research (IJMER)*, Vol. 1, No. 2, pp. 242-246.
16. Zherintsev I.A., Glushkov S.V., Zherintseva N.N. Neyrosetevaya metodika tekhnicheskoy diagnostiki dvigateley vnutrennego sgoraniya po spektral'nomu analizu shumovykh kharakteristik [Neural network methodology of technical diagnostics of internal combustion engines by spectral analysis of noise characteristics], *Vestnik morskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik (Herald) of Maritime State University], 2010, No. 37.

17. Patrick Sincebaugh, William Green. A neural network based diagnostic test system for armored vehicle shock absorbers expert systems with applications, 1996, Vol. 11 No. 2, pp. 237-244.
18. Krug P.G. Neyronnye seti i neyrokomp'yutery: ucheb. posobie po kursu «Mikroprotssory» [Neural networks and neurocomputers: a textbook on the course "Microprocessors"]. Moscow: Izd-vo MEI, 2002.
19. Burakov M.V. Neyronnye seti i neyrokontrollery: ucheb. posobie [Neural networks and neurocontrollers: textbook]. St. Petersburg: GUAP, 2013.
20. Gafarov F.M. Iskusstvennye neyronnye seti i prilozheniya: ucheb. posobie [Artificial neural networks and applications: textbook]. Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 2018.
21. Logunov A.V., Beresnev A.L. Vibroakusticheskaya diagnostika transportnykh sredstv [Vibroacoustic diagnostics of vehicles], *Problemy sovremennoy sistemotekhniki sbornik nauchnykh statey* [Problems of modern system engineering collection of scientific papers], 2020, Issue XIV, pp. 118.
22. Logunov A.V., Beresnev A.L. Vozmozhnosti vibroakusticheskogo issledovaniya i diagnostiki podveski transportnykh sredstv [Possibilities of vibroacoustic study and diagnostics of vehicles suspension], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2021, No. 1 (218), pp. 165-174.
23. Logunov A.V., Beresnev A.L. Vibromonitoring dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Vibromonitoring of internal combustion engine], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2021, No. 6 (223), pp. 160-170.
24. Vakulenko S.A., Zhikhareva A.A. Prakticheskiy kurs po neyronnym setyam [Practical course on neural networks]. St. Petersburg Universitet ITMO, 2018.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. А.Ю. Будко.

Логунов Артём Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: artem-logunov@yandex.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79054586468, аспирант,

Береснев Алексей Леонидович – e-mail: alex_tr6@mail.ru; кафедра электротехники и механики; к.т.н.; доцент.

Logunov Artem Vladimirovich – Southern Federal University; e-mail: artem-logunov@yandex.ru; Taganrog, Russia; phone: +79054586468; postgraduate.

Beresnev Alexey Leonidovich – e-mail: alex_tr6@mail.ru; the departments of electrical engineering and mechatronics; cand. of eng. sc.; associate professor

УДК 621.371

DOI 10.18522/2311-3103-2022-6-222-234

В.П. Можайцев, Д.В. Семенихина

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОРТАТИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА БОРТОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Статья посвящена актуальной проблеме анализа рисков, возникающих при эксплуатации воздушных судов в случаях нахождения на борту самолета портативных электронных устройств, и выбору методов проверки устойчивости бортового оборудования к воздействию таких устройств. В статье рассмотрены все возможные пути распространения паразитных и преднамеренных излучений от портативных электронных устройств к бортовым радиоэлектронным системам и проанализированы два основных аспекта воздействия портативных электронных устройств на бортовое оборудование воздушного судна. Первый аспект определяет самолетную систему и рекомендации по квалификации оборудования, подверженного радиоизлучению, которые обеспечивают устойчивость к радиоизлучению от намеренно передающих переносных электронных устройств. Обычно это трактуется, как защита от воздействия портативных электронных устройств «через заднюю дверь». Вторым аспектом определяются приемлемые помехи, вызывающие потери в полосе пропускания между самолетными радиоприемниками и переносными электронными устройствами с паразитным радиоизлучением.