

УДК 681.524

DOI 10.51691/2541-8327\_2022\_12\_14

***РАСПОЗНАВАНИЕ ТИПА НАЗЕМНОЙ ТЕХНИКИ ПО  
АКУСТИЧЕСКОМУ СИГНАЛУ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА С  
ВРЕМЕННОЙ КОДИРОВКОЙ***

***Глазков В.В.***

*к.т.н., доцент,*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия*

***Глазкова М.В.***

*аспирант,*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия*

***Митр Д.В.***

*студент,*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия*

***Харитонова В.А.***

*студент,*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия*

**Аннотация**

В данной работе предложен алгоритм распознавания типа наземной техники по акустическому сигналу, который основан на методе TESPAP (обработка и распознавание сигналов с временной кодировкой). Разработан алгоритм получения алфавита по методу  $k$  – средних и символьного потока, который кодируется в TESPAP матрицы. На их основе синтезирована нейронная сеть для распознавания типа наземной техники по акустическому сигналу.

**Ключевые слова:** обработка сигналов, алгоритм TESPAP, метод  $k$  – средних, нейронные сети.

***RECOGNITION OF TYPE OF GROUND EQUIPMENT BY AN  
ACOUSTIC SIGNAL BASED ON TIME-ENCODED ALGORITHM***

***Glazkov V.V.***

*PhD, Associate Professor,*

*Bauman Moscow State Technical University,*

*Moscow, Russia*

***Glazkova M.V.***

*graduate student,*

*Bauman Moscow State Technical University,*

*Moscow, Russia*

***Mitr D.V.***

*student,*

*Bauman Moscow State Technical University,*

*Moscow, Russia*

***Kharitonova V.A.***

*student,*

*Bauman Moscow State Technical University,*

*Moscow, Russia*

**Abstract**

The paper, an algorithm for recognizing the type of ground equipment based on an acoustic signal is proposed, which is based on the TESPAP method (processing and

recognition of time-encoded signals). An algorithm for obtaining the alphabet using the k – means method and a character stream, which is encoded in the TESPAP matrix, has been developed. Based on them, a neural network has been synthesized to recognize the type of ground equipment by an acoustic signal.

**Key words:** signal processing, TESPAP algorithm, k – means method, neural networks.

Задача распознавания объектов техники встречается во многих технических областях: системы мониторинга транспорта [1; 2], системы опознавания «свой-чужой» и т.д. Для решения задачи могут использоваться активные и пассивные системы.

Главными достоинствами пассивных системы являются их скрытность, низкое потребление энергии и, в случае акустических систем, полный охват по углу азимута ( $360^\circ$ ) и низкая стоимость. Также присутствуют недостатки: высокая чувствительность к условиям окружающей среды, такие как ветер и температура. Ветер также создает дополнительный низкочастотный постоянный шум. Как результат, дальность обнаружения и распознавания объекта зависит от погодных условий, особенно это проявляется на больших расстояниях. Второй недостаток: скорость звука в воздухе ограничена (340 м/с), что вызывает значительную задержку обнаружения на больших расстояниях.

Транспортное средство, перемещаясь, издает характерные звуки. Если предположить, что аналогичные транспортные средства, имеющие одинаковые рабочие условия, создают одинаковые звуки, то эти звуки можно использовать для распознавания типа транспортного средства. Для разделения объектов распознавания на классы требуется использовать такие информативные признаки сигналов, которые являются наиболее эффективными для решения этой задачи [2].

Исходные данные для работы были получены экспериментально на полигоне. Источниками акустических сигналов являются: автомобиль КАМАЗ-4308 (колесный с дизельным двигателем), гусеничный трактор (с дизельным двигателем) и автомобиль ГАЗель (колесный с бензиновым двигателем). В данной работе используется акустический сигнал длительностью 1 секунда, т.е. информативные признаки были выделены из сигнала с такой длительностью, частота дискретизации 25600 Гц, для каждого объекта исследования.

На рисунке 1 представлены графики сигналов во временной области каждого объекта для его распознавания.

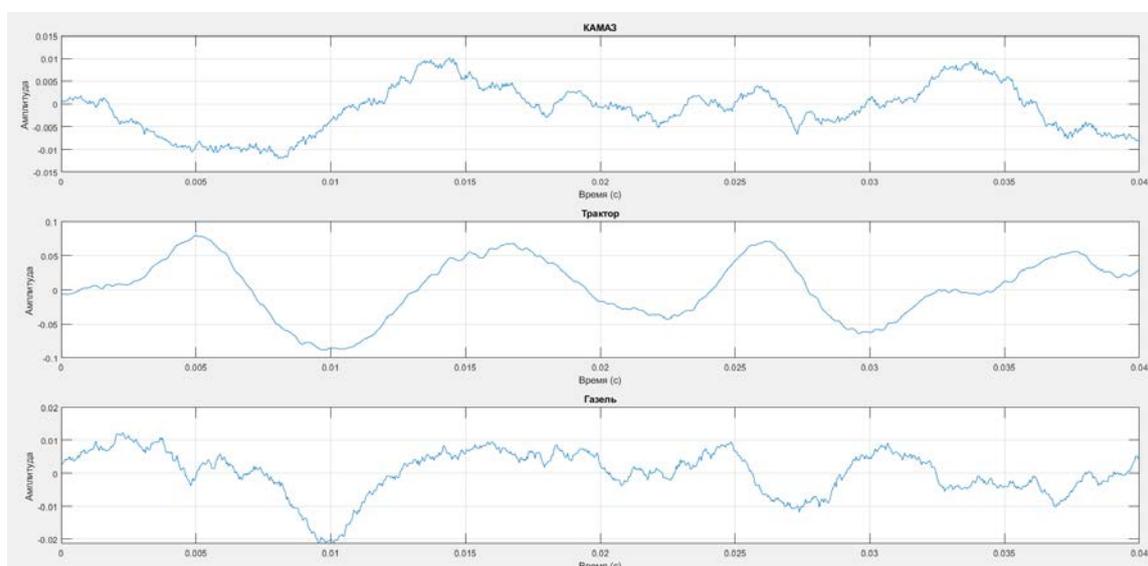


Рис.1 – Графики сигналов во временной области каждого класса объектов  
[авторская разработка]

На рисунке 2 показаны спектральные плотности мощности акустических сигналов КАМАЗа, Трактора и ГАЗели, полученные с помощью метода Уэлча с окном Хэмминга на 512 выборки.

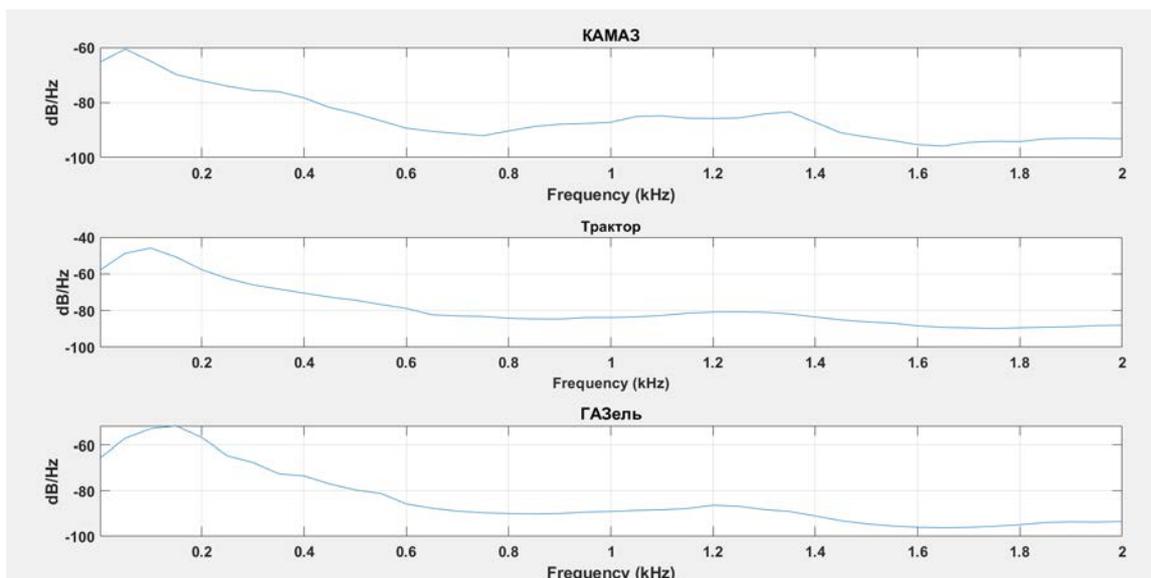


Рис.2 – Спектральные плотности мощности экспериментальных данных  
[авторская разработка]

Была проведена фильтрация сигнала от атмосферных шумов (0 – 150 Гц) [3]. Результаты приведены на рисунке 3.

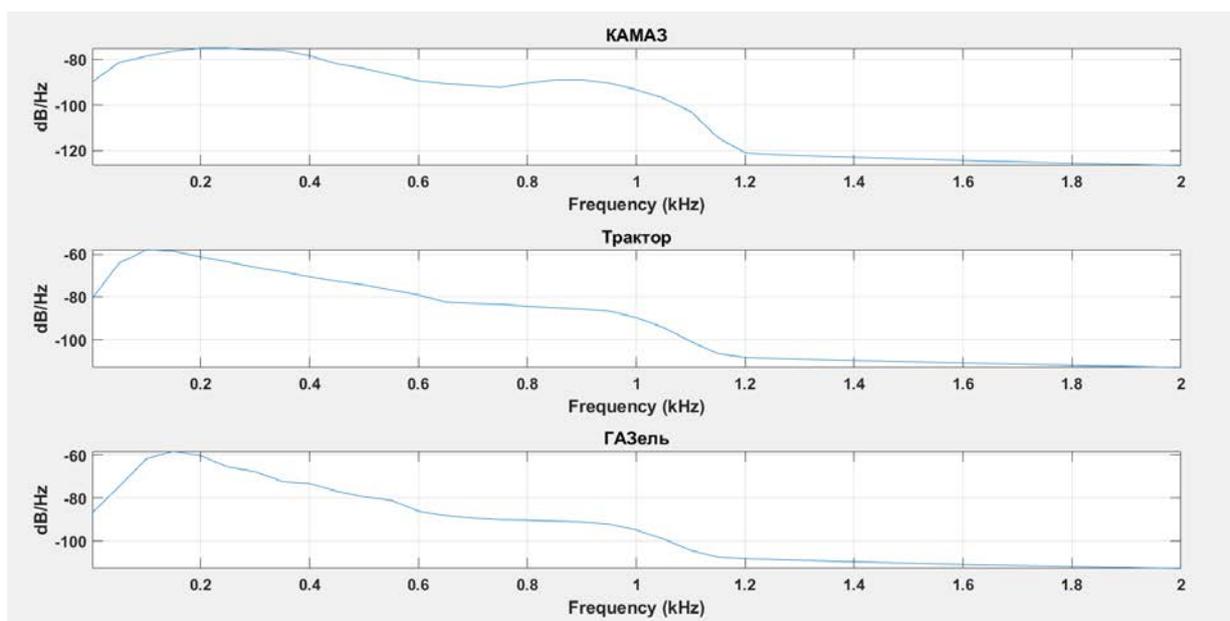


Рис.3 – Спектральные плотности мощности экспериментальных данных после  
фильтрации [авторская разработка]

Метод, который использовался для извлечения информативных признаков из акустических сигналов – TESPAP (Time Encoded Signal Processing and

Recognition) [4]. Это простой и эффективный язык описания сложных форм-сигналов цифровым способом.

Вся информация об амплитуде удаляется из входного сигнала с помощью двоичного преобразования, которое сохраняет только точки пересечения нуля исходного сигнала. Большая часть интересующей информации в сигнале содержится только в ее переходах через ноль. Для акустического сигнала эти образцы будут неравномерно распределены во времени.

Самый простой способ по реализации метода TESPAP основывается на подсчете локальных экстремумов в эпохе [5]. В этом случае TESPAP кодировщик использует два идентификатора:

- 1)  $D$  – число отсчетов (длительность) между двумя реальными нулями (рисунок 4);
- 2)  $S$  – представляет количество точек локальных экстремумов в промежутках между двумя последовательными реальными нулями.

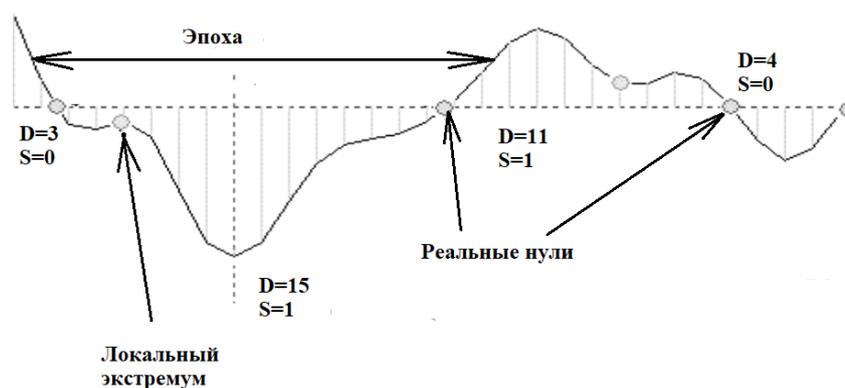


Рис.4 – Получение символического потока из D/S пары [авторская разработка]

Пары  $D/S$ , полученные из анализа исходного сигнала, кодируются с использованием алфавита. Этот алфавит является результатом процесса кластеризации.

Для получения алфавита использовался метод кластеризации ( $k$  – средних) [6]. Данный метод использован из-за своей простоты. В алгоритме множество элементов векторного пространства (набор из  $n$  наблюдений

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, x_i \in \mathbb{R}^d, i = 1, \dots, n.$  сегментируется на заранее известное число  $k$  ( $k \in \mathbb{N}, k \leq n$ ) кластеров  $S_1, S_2, \dots, S_k$  (1):

$$S_i \cap S_j = \emptyset, \quad i \neq j, \quad (1)$$

$$\bigcup_{i=1}^k S_i = X.$$

Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать среднеквадратичное отклонение на точках каждого кластера (2).

$$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \rho(x, \mu_i)^2, \quad (2)$$

где  $\mu_i$  – центры кластеров,  $i = 1, \dots, k$ ,  $\rho(x, \mu_i)$  – функция расстояния между  $x$  и  $\mu_i$ .

Основная идея заключается в том, что на каждой итерации перевычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения кластеров.

На рисунке 5 представлена схема данного алгоритма.

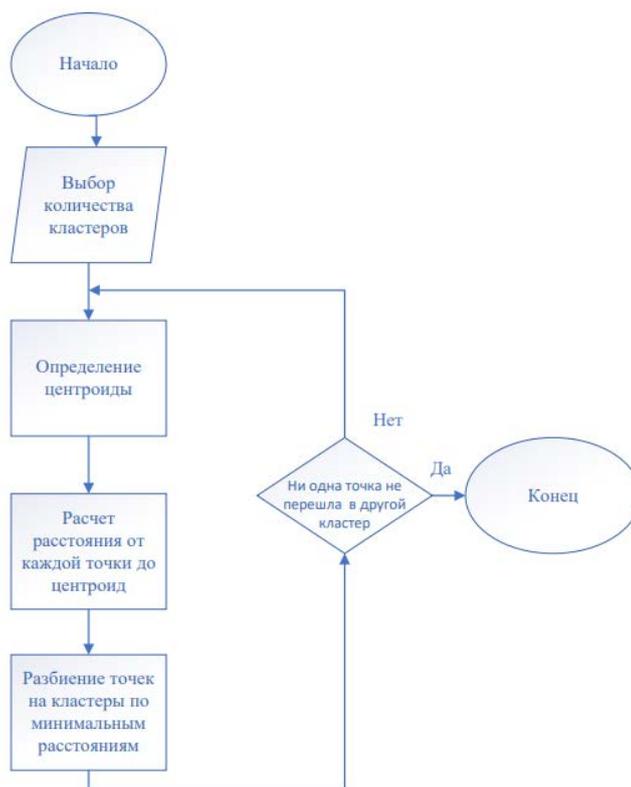


Рис.5 – Схема реализации алгоритма k – средних [авторская разработка]

На рисунке 6 представлен TESPAP алфавит, полученный с помощью метода k – средних.

D/S	0	1	2	3	4	5
1	21	–	–	–	–	–
2	4	4	–	–	–	–
3	22	22	33	–	–	–
4	20	20	33	33	–	–
5	1	29	29	29	29	–
6	10	37	37	37	37	37
7	27	27	37	37	37	37
8	9	9	23	23	23	23
9	24	23	23	23	23	23
10	3	3	19	19	19	19
11	18	19	19	19	14	14
12	8	34	14	14	14	14
.....						
39	9	9	9	9	2	2

Рис.6 – TESPAP алфавит на 40 символов [авторская разработка]

Результатом кодирования является поток символов, полученный от TESPAP кодировщика, который может быть легко преобразован в TESPAP

матрицы. В данной работе используется S-матрица –  $N \times 1$  матрица, которая подсчитывает количество появлений каждого символа из алфавита в закодированном потоке символов ( $N$  – число символов с алфавита).

Данная матрица является фиксированной по размеру независимо от продолжительности сигнала, который должен быть закодирован, что является главным преимуществом TESPAP алгоритма. Использование таких матриц значительно упрощает процесс создания образцовых шаблонов для задач распознавания и классификации объекта [7].

На рисунке 7 показаны полученные S матрицы от КАМАЗа, ГАЗели и Трактора.

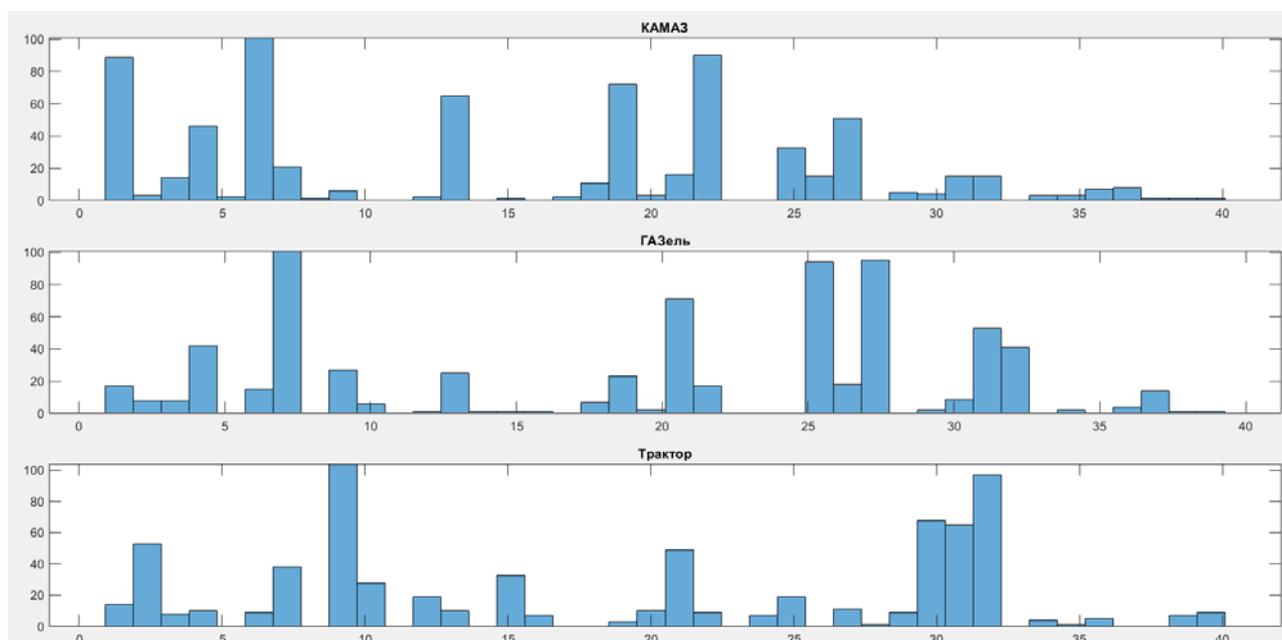


Рис.7 – Гистограммы S матриц от КАМАЗа, ГАЗели и Трактора  
[авторская разработка]

Для распознавания объекта на основе метода TESPAP был использован алгоритм Левенберга – Марквардта. Данный метод оптимизации направлен на решение задач о наименьших квадратах, а также он превосходит по производительности метод наискорейшего спуска и другие методы сопряженных градиентов в задачах распознавания [8].

Этот алгоритм решает задачу нелинейной минимизации методом наименьших квадратов. Это означает, что функция, которую необходимо минимизировать, выглядит следующим образом (3):

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m r_j^2(x), \quad (3)$$

где  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – вектор, а  $r_j$  – функция отображения из  $R^n$  в  $R$ .

На основе данного алгоритма была спроектирована нейронная сеть для нашей задачи в математическом пакете MATLAB с библиотекой Deep Learning Toolbox. На рисунке 8 представлена структура нейронной сети.

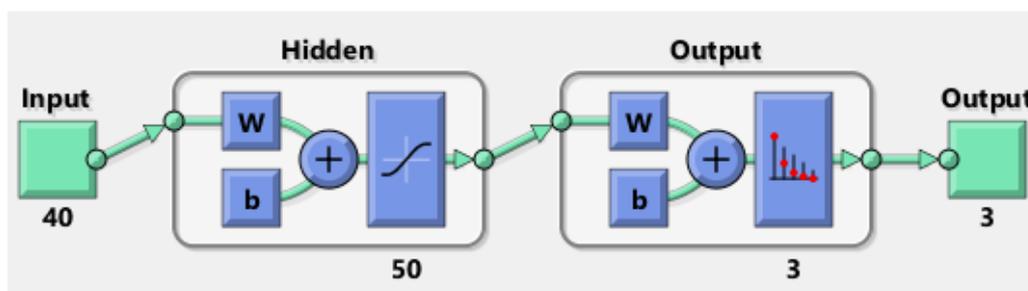


Рис.8 – Структура нейронной сети для распознавания типа наземной техники  
[авторская разработка]

Количество нейронов в скрытом слое – 50. Функция активации – сигмоида. В данной работе под тестовую выборку выбирается 25 % записей.

Для оценки точности построенной нейронной сети, делаются прогнозы на тестовой выборке. На рисунке 9 показана матрица ошибок, которая наглядно демонстрирует ошибки распознавания типа техники.

Output Class	КАМАЗ	176 29.3%	8 1.3%	7 1.2%	92.1% 7.9%
	ГАЗель	11 1.8%	165 27.5%	13 2.2%	87.3% 12.7%
	Трактор	22 3.7%	23 3.8%	175 29.2%	79.5% 20.5%
		84.2% 15.8%	84.2% 15.8%	89.7% 10.3%	86.0% 14.0%
	Target Class	КАМАЗ	ГАЗель	Трактор	

Рис.9 – Матрица ошибок [авторская разработка]

Оценка точности распознавания на тестовой выборке составляет 86 %. Это свидетельствует, что реализованный в данной работе алгоритм имеет достаточно высокую эффективность для извлечения характеристик из сложных нестационарных сигналов.

#### Библиографический список:

1. Глазков В.В., Лихоеденко К.П. Алгоритм обнаружения подвижных объектов автотранспортной техники в миллиметровом диапазоне длин волн // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2010. № 2 (79). С. 80-91.
2. Глазков В.В. Построение устройства идентификации моторизованных объектов колесной и гусеничной техники в миллиметровом диапазоне длин волн // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. № 12, Т. 17. С. 17–28
3. ГОСТ 31295.1-2005. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 1. Расчет поглощения звука атмосферой. Межгосударственный стандарт Российской Федерации : дата введения в действие 2007-01-01.

4. Lupu E., Feher Z., Pop P. G. On The Speaker Verification Using the TESPAP Coding Method // Proc. of International Symposium on Signals Circuits and Svstems. 2003. Vol. 1. P. 173-176.

5. Ghiurcau M. V., Rusu C., Bilcu R. C. A modified TESPAP algorithm for wildlife sound classification // 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 2010. P. 2370-2373.

6. Воробжанский Н.Н. Сверточная кластеризация методом k-средних // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №1 (103) [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <https://research-journal.org/archive/1-103-2021-january/svertochnaya-klasterizaciya-metodom-k-srednix> (Дата обращения: 01.09.2022).

7. Ghiurcau M. V., Rusu C. Vehicle sound classification. Application and low pass filtering influence // Proc. of International Symposium on Signals, Circuits and Systems, 2009. P. 1-4.

8. Павлов Г.Л., Хохлов В.К. Нейросетевые алгоритмы в задаче классификации объектов по их акустическим излучениям // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2012. № 5. С. 15.

*Оригинальность 94%*