

Відповідно до поставленої мети автором статті було:

1. Побудовано модель матеріалу комп'ютерних компонент.
2. Змодельовано фізичну поведінку складових відповідно до заданих умов.
3. Описано результати моделювання поведінки моделі композитних матеріалів.

Крихкість матеріалу викликає збої в роботі приладу за рахунок неправильного проходження струму в  $n-p-n$  переходах та зменшує їх надійність. Дослідження впливу фізичної структури матеріалу компонент ІМС дозволяє оцінити значення коефіцієнтів крихкості, що дозволяє попередньо оцінити надійність пристрою та продовжити час його експлуатації.

#### Література

1. Хансен, М. Структура двойных сплавов [Текст]: справочник / М. Хансен, К. Андерко. — Москва: Металлургиздат, 1962. — 608 с.
2. Якубовський, С. В. Аналогові та цифрові інтегральні мікросхеми [Текст]: довідковий посібник / під ред. С. В. Якубовського. — 2-ге вид., перероб. і доп. — М.: Радіо і зв'язок, 1985. — 432 с.
3. Пасинків, В. В. Матеріали електронної техніки [Текст] / В. В. Пасинків, В. С. Сорокін. — 2-ге вид., перероб. і доп. — М.: Вища Школа, 1986. — 367 с.
4. Wong, H.-S. P. Carbon nanotube electronics — Materials, devices, circuits, design, modeling, and performance projection [Text] / H.-S. P. Wong, S. Mitra, D. Akinwande, C. Beasley, Y. Chai et al. // 2011 International Electron Devices Meeting. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2011. — P. 23.1.1–23.1.4. doi:10.1109/iedm.2011.6131594
5. Mehta, J. U. III-V Tunnel FET Model With Closed-Form Analytical Solution [Text] / J. U. Mehta, W. A. Borders, H. Liu, R. Pandey, S. Datta, L. Lunardi // IEEE Transactions on Electron Devices. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2015. — P. 1. doi:10.1109/ted.2015.2471808
6. Maffezzoni, P. Modeling and Simulation of Vanadium Dioxide Relaxation Oscillators [Text] / P. Maffezzoni, L. Daniel, N. Shukla, S. Datta, A. Raychowdhury // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. — 2015. — Vol. 62, № 9. — P. 2207–2215. doi:10.1109/tcsi.2015.2452332
7. Златкін, А. А. Аналіз причин деградації матеріалів дискретних пристроїв комп'ютерних систем [Текст] / А. А. Златкін, О. В. Кравченко, О. С. Вовчановський // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2014. — № 5/3(19). — С. 37–41. doi:10.15587/2312-8372.2014.27934
8. Кравченко, О. В. Математична модель міжфазової взаємодії в композитах та уточнення моделі методами обчислювальної математики [Текст] / О. В. Кравченко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. — Луганськ, 2003. — № 7 (65). — С. 84–88.
9. Кравченко, О. В. Исследование причин деградации материала дискретных устройств для обеспечения их надежности [Текст] / О. В. Кравченко // Materiály XI mezinárodní vědecko-praktická konference «Věda a technologie: krok do budoucnosti-2015». Technické vědy. Matematika. Moderní informační technologie. Výstavba a architektura. — Praha: Publishing House «Education and Science», 2015. — Díl. 17. — P. 77–80.
10. Кравченко, О. В. Прогнозирование надежности дискретных устройств на основе моделирования процессов деградации композитных материалов компьютерных [Текст] / О. В. Кравченко // Современный научный вестник. — Белгород, 2015. — № 9(256). — С. 77–82.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕГРАДАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДИСКРЕТНЫХ УСТРОЙСТВ

В статье смоделировано поведение составляющих материалов компьютерных компонент дискретных устройств и исследованы условия их деградации. Процесс моделирования позволяет проводить предварительную оценку поведения композитных составляющих дискретного устройства, ускоряет исследования процесса деградации во времени.

**Ключевые слова:** надежность, дискретное устройство, композитный материал, анализ, моделирование, физическая деградация.

*Кравченко Ольга Віталіївна, старший викладач, кафедра інформаційних технологій проектування, Черкаський державний технологічний університет, Україна, e-mail: kravchenko\_ov@ukr.net.*

*Кравченко Ольга Віталіївна, старший преподаватель, кафедра информационных технологий проектирования, Черкасский государственный технологический университет, Украина.*

*Kravchenko Olga, Cherkasy State Technological University, Ukraine, e-mail: kravchenko\_ov@ukr.net*

УДК 004.522

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51796

Штепа А. А.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧЕВЫХ КОМАНД

Повышения эффективности системы распознавания речевых команд в сложной акустической обстановке рассматривается в рамках повышения соотношения сигнал/шум за счет применения нескольких направленных микрофонов, пространственного разделения сигналов и адаптивной компенсации. Предложены критерий и алгоритмы определения канала, содержащего полезный сигнал на основе лингвистического этапа процесса распознавания речевых команд.

**Ключевые слова:** распознавание речевых команд, адаптивная компенсация, мера близости.

### 1. Введение

Голосовой интерфейс занимает лидирующие позиции в ряду методов взаимодействия человека с электрон-

ными устройствами. Управление с помощью речевых команд освобождает глаза и руки оператора, что положительно сказывается на эффективности его работы, снижая утомляемость и количество ошибок, связанных

с необходимостью переключения внимания между источниками визуальной информации и различными органами управления.

В случае, когда управление происходит в условиях с повышенным шумлением (транспортное средство, производственное или складское помещение), его интенсивность может существенно искажать результаты обработки, анализа или распознавания речи. В таких условиях применяют различные методы повышения качества и разборчивости речи [1].

Учитывая существующую тенденцию к распространению систем голосового управления в промышленности, транспорте и быту, а также высокую степень ответственности, возлагаемой на такие системы, задача повышения достоверности распознавания речевых команд в сложных акустических условиях за счет усовершенствования алгоритмов обработки зашумленных сигналов является весьма актуальной.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

К настоящему времени разработано большое количество различных методов цифровой обработки зашумленных речевых сигналов. Одной из наиболее эффективных групп методов являются методы, основанные на адаптивной компенсации помех. Известно, что адаптивная компенсация помех позволяет значительно улучшить качество зашумленных сигналов — на несколько десятков децибел [2]. Однако, требование к наличию качественного опорного сигнала, коррелированного с шумовым и некоррелированного с полезным сигналами, существенно сужает их применение.

Кроме того одними из лучших считаются методы, основанные на вычитании спектров — они приводят к удовлетворительным результатам обработки и не требуют больших вычислительных ресурсов [1]. Исследования качества и разборчивости речи, получаемой в результате применения таких методик, показали [3], что в тех случаях, когда шум или помеха имеют стационарный или квазистационарный характер, а их спектр имеет гармоническую структуру, достигается значительное повышение качества и разборчивости речи. Однако, в случае шумов с быстроизменяющимися спектральными характеристиками такая обработка малоэффективна. По мнению auditors [1], такая речь звучит чище и приятнее, чем до обработки, однако заметного повышения разборчивости в случае аддитивных широкополосных шумов не происходит, хотя отношение сигнал/шум повышается на 3–6 дБ [4].

В сложной акустической обстановке, которая характеризуется высоким уровнем шумов, различным количеством их источников и периодической сменой направлений источника полезного сигнала эффективным считается применение многоканальной системы с пространственным разделением сигналов на основе применения нескольких направленных микрофонов [5, 6]. Весьма интересен и эффективен подход использованный разработчиками слуховых аппаратов Phonak, применяющих многоканальные решения и сложные алгоритмы изменения параметров такой системы с целью достижения наибольшей разборчивости речи для разных направлений [7, 8].

## 3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследования является процесс распознавание речевых команд в системах управления техническими устройствами.

Целью работы является повышения эффективности системы распознавания речевых команд путем повышения соотношения сигнал/шум за счет применения пространственного разделения сигналов с помощью нескольких направленных микрофонов и цифровой обработки сигналов на основе адаптивной компенсации помех в сложной акустической обстановке.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать и выделить методы обработки зашумленных речевых сигналов, имеющие наибольшую эффективность в условиях сложной акустической обстановки, заключающейся в наличии нескольких источников шума, высокой его интенсивности и возможного присутствия источников шума с частотным спектром, близким к спектру источника полезного сигнала.
2. Обосновать применение многоканальной системы с целью использования преимуществ пространственного разделения сигналов.
3. Предложить критерий определения канала, содержащего полезный сигнал и опорных каналов многоканальной системы в условиях возможности смены направления на источник полезного сигнала.
4. Разработать алгоритм выделения базового и опорных каналов для достижения максимального эффекта адаптивной компенсации.

## 4. Анализ методов обработки зашумленных речевых сигналов

Рассмотрим особенности обработки зашумленных речевых сигналов. Адаптивная компенсация помех основана на использовании, помимо собственно зашумленного сигнала, который подлежит очистке, также одного или нескольких опорных сигналов — сигналов, которые коррелированы с шумовым сигналом и одновременно некоррелированы (или слабо коррелированы) с полезным сигналом, подлежащим выделению. С помощью опорных сигналов формируется сигнал, который является оценкой помехи. Этот сигнал затем вычитается из зашумленного сигнала и результат этой операции рассматривается как оценка незашумленного сигнала [1]. Наиболее важной частью адаптивного компенсатора помех является устройство управления весовыми коэффициентами УВВК — линейный фильтр, через который пропускается опорный сигнал  $e_1(n)$ . Задача адаптивной компенсации помехи  $e(n)$  сводится к подбору коэффициентов фильтра таким образом, чтобы минимизировать энергию сигнала на выходе компенсатора  $u_1(n)$ . В этом случае будет максимизировано выходное отношение сигнал/шум. На рис. 1 представлена схема адаптивного компенсатора помех, который использует один опорный сигнал [9].

Таким образом, эффективность таких методов непосредственно зависит от доступности качественных опорных сигналов, удовлетворяющих требованиям коррелированности с шумом и некоррелированности (или слабой степени коррелированности) с полезным сигналом. На практике получение таких сигналов достигается

использованием двух микрофонов, размещаемых таим образом, чтобы один из них был как можно точнее направлен на предполагаемый источник полезного сигнала, а второй имел минимальные шансы охвата полезного сигнала своей диаграммой направленности. Этот подход достаточно просто реализовать, когда система речевого управления предполагает использование микрофона, встроенного в гарнитуру.

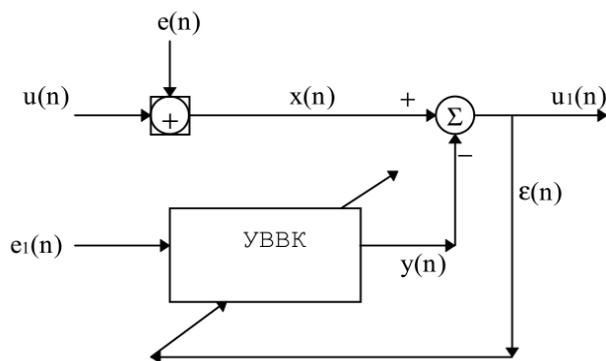


Рис. 1. Схема адаптивного компенсатора помех

Тогда микрофон размещен на штанге и направлен непосредственно к речевому аппарату оператора. В зависимости от конструктивных особенностей размещения гарнитуры (наличие и возможная длина штанги крепления микрофона, необходимость размещения микрофона внутри защитного шлема и т. д.) нетрудно подобрать оптимальную для каждого случая диаграмму направленности основного микрофона. Второй микрофон для получения опорного сигнала может иметь более широкую диаграмму направленности и размещается так, чтобы минимизировать возможность попадания в него голоса оператора. Чаще всего второй микрофон располагают на обратной стороне штанги основного микрофона и направлен в противоположную сторону. Однако, существуют условия, в которых использование носимой гарнитуры оператором невозможно, не оправдано или неудобно. Водители гражданских наземных транспортных средств, или операторы складского или производственного помещения, работа которых ограничена рабочим местом не используют носимую гарнитуру, применение которой связано с рядом неудобств и дискомфортом. В таких случаях система распознавания речевых команд должна комплектоваться микрофонами, стационарно закрепленными на рабочем месте оператора. Это означает, что источник полезного сигнала может свободно перемещаться относительно микрофонов системы и в этом случае остро встает задача определения информационного и опорных каналов. Действительно, при повороте головы или некотором изменении положения тела возможна ситуация, когда в опорный канал станет попадать значительная часть полезного сигнала, что может сделать адаптивную компенсацию помех не только малоэффективной, но и контрпродуктивной.

Решение данной задачи может осуществляться на основе применения многоканальной системы распознавания речевых команд за счет пространственного разделения каналов и эффективного метода определения основного и дополнительных каналов системы. Суть

адаптивной компенсации может быть сведена к выделению канала или каналов с наибольшим соотношением сигнал/шум и использованию остальных каналов в качестве дополнительных, сигналы которых слабо коррелированы с полезным.

## 5. Критерий определения базового и опорных каналов многоканальной системы распознавания речевых команд

Важной задачей проектирования многоканальной системы распознавания речевых команд на основе адаптивной компенсации в условиях изменяющегося направления на источник полезного сигнала является эффективное определение базового и опорных каналов. Критерием такого определения, очевидно, должно служить соотношение сигнал/шум. Однако в условиях сложной зашумленности, когда источниками шума могут быть другие разговаривающие люди рядом с оператором, выделить голос оператора, опираясь на частотную полосу весьма затруднительно. В этом случае, когда методы адаптивной компенсации могли бы эффективно убрать из полезного сигнала шум, полоса частот которого совпадает с полосой полезного сигнала, единственным теоретическим препятствием для этого является трудность определения базового и опорных каналов. Таким образом, частотная полоса не всегда может служить надежным критерием определения базового и опорных каналов в многоканальной системе распознавания речевых команд с шумоподавлением, основанным на пространственном разделении команд и методах адаптивной компенсации. В качестве такого критерия может быть предложен параметр, получаемый на основе применения существующих методов распознавания речевых команд на лингвистическом уровне. Примером такого параметра может служить мера близости между полученным системой сигналом и одним из эталонов библиотеки команд.

Оценка меры близости между входным речевым сигналом (РС) и эталоном может производиться с помощью метода нелинейного временного выравнивания (динамического программирования) [10]. Это один из наиболее мощных и широко известных математических методов современной теории управления, был предложен в конце 50-х годов американским математиком Р. Беллманом для решения оптимизационных задач. Метод позволяет сравнивать разные по длительности образцы. Применимо к речевым сигналам это означает, что сравнение с эталонами возможно практически независимо от темпа речи. Пусть сравнивается два образца сигналов, представленных в виде массива векторов (для РС это наборы линейных спектральных корней):

$$X = \{ \bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_N \}, \quad (1)$$

$$Y = \{ \bar{y}_0, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i, \dots, \bar{y}_M \}. \quad (2)$$

Различие между векторами двух образов определяется последовательностью состояний  $C_K$  и обозначается:

$$F() = \{C_0, C_1, \dots, C_k, \dots, C_K\},$$

где  $C_0$  и  $C_K$  — начальное и конечные состояния,  $F()$  — функция временного выравнивания, которая проецирует временную область одного образа на временную область другого образа. Метод динамического программирования (ДП) заключается в том, что ищется такая функция  $F()$ , при которой путь из состояния  $C_0$  в состояние  $C_K$ , является оптимальным, т. е. будет получено минимальное накопленное расстояние между двумя образами. При построении оптимального пути, на каждом шаге алгоритма используется основная формула ДП:

$$d_{i,j} = \min \left\{ \begin{array}{l} d_{i,j-1} + r(\bar{x}_i, \bar{y}_j) \\ d_{i-1,j-1} + r(\bar{x}_i, \bar{y}_j) \\ d_{i-1,j} + r(\bar{x}_i, \bar{y}_j) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $i = 0 \dots N$ ,  $j = 0 \dots M$ .

В качестве расстояния между векторами используется взвешенная евклидова метрика:

$$r(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{k=0}^{N\_SEC-1} (x_k - y_k)^2, \quad (4)$$

где  $N\_SEC$  — размерность векторов признаков. На выходе процедуры сравнения получается некоторое число (мера близости), представляющее собой величину, обратную степени близости между сигналами. При распознавании речевых команд на базе словаря из набора целых слов, получается таблица со значениями меры близости до элементов словаря. Эталон с минимальным значением является искомым — распознанным. Даже если на вход системы будет подано слово, не входящее в словарь, в любом случае будет получен результат (один из эталонов), что приведет к ошибке распознавания. В работе [10] предложено довольно простое решение задачи автоматического отсеивания ложных срабатываний системы. Таблица результатов распознавания нормируется и подсчитывается разница в значении меры близости между первым и вторым эталоном. Если эта разница не превышает пороговое значение 0,5, то слово будет считаться нераспознанным и системой будет выдан запрос на повторный ввод команды. Предложенный критерий позволяет оценивать достоверность распознавания текущего слова [10]. Этот же критерий может быть использован и с целью определения базового канала из числа задействованных.

В качестве оценки достоверности выбора базового канала  $D(i)$  может служить величина, характеризующая степень близости между сигналом, полученным системой и ближайшим к нему эталоном, оцененная в предположении, что  $i$ -тый канал является базовым, а остальные — опорными. Такая оценка, очевидно, будет величиной обратной по отношению к мере близости, рассчитываемой в ходе применения метода распознавания речевых сигналов на основе метода нелинейного временного выравнивания (динамического программирования). Таким образом, само вычисление критерия для оценки достоверности выбора базового канала не потребует дополнительных вычислительных мощностей и временных затрат.

## 6. Алгоритм определения базового и опорных каналов многоканальной системы распознавания речевых команд

Сформируем общий алгоритм определения базового канала многоканальной системы распознавания речевых команд (рис. 2).

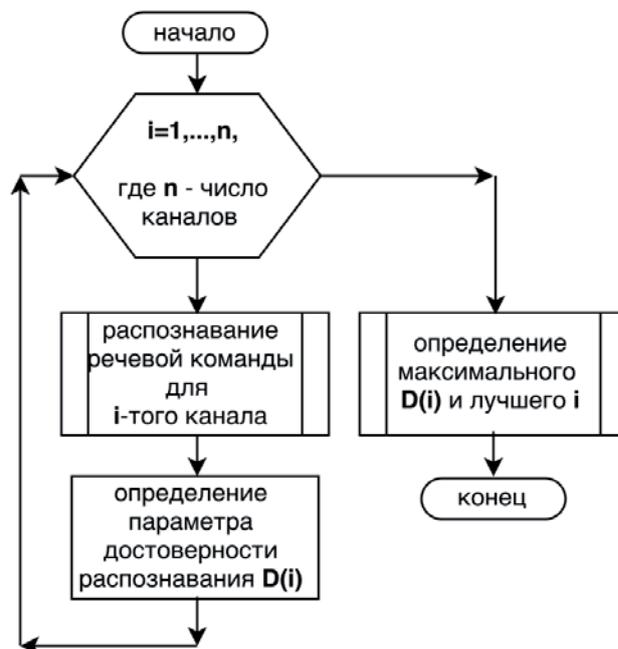


Рис. 2. Алгоритм определения базового канала многоканальной системы распознавания речевых команд

При наличии в системе  $n$  каналов, независимых и с минимальным взаимным перекрытием диаграмм направленностей микрофонов, определение базового канала может быть проведено на основе перебора всех задействованных каналов в предположении, что каждый из них может быть базовым. Такой алгоритм, увеличит требуемое время обработки в  $n$  раз, что поставит дополнительные требования к вычислительной мощности системы и оптимизации применяемых алгоритмов распознавания речевых команд. Однако, благодаря такому подходу может быть достигнут максимальный эффект адаптивной компенсации помех на основе пространственного разделения сигналов, что позволит системе повысить надежность распознавания речевых команд в условиях высокой степени зашумленности даже при наличии в помещении других говорящих людей.

Алгоритм может быть оптимизирован с целью экономии времени на вычисления. Оптимизации может быть в первую очередь подвергнут порядок работы с каналами. Если успешно распознана хотя бы одна голосовая команда, то начинать определение следует с предположения, что тот канал, который был базовым останется таковым и для следующей команды. Чтобы сократить общее число проверяемых каналов и как можно скорее найти определить базовый канал можно также ввести минимальный допустимый порог достоверности определения базового канала  $D_{min}$  и не проводить процедуру оценки достоверности  $D(i)$  для

оставшихся каналов, если повышение достоверности распознавания команды не требуется (рис. 3).

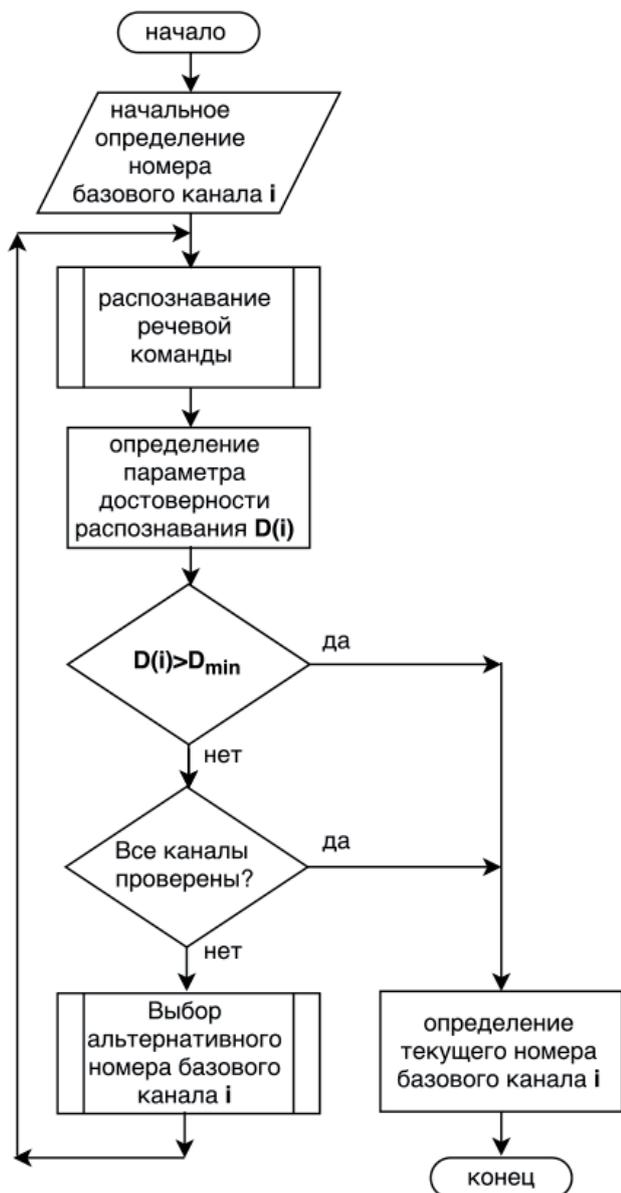


Рис. 3. Оптимизированный по временным затратам алгоритм определения базового канала многоканальной системы распознавания речевых команд

Кроме того, порядок выбора альтернативного канала может производиться не подряд, а с учетом накопленной за некоторый промежуток времени статистики о номерах базового канала. Поскольку расположение многоканальной системы распознавания речевых команд относительно помещения, скорее всего, будет статично, а поведение оператора чаще всего носит относительно закономерный и повторяющийся порядок, то процедура выбора альтернативного номера базового канала  $i$  может строиться и на основе более сложного учета истории смен номеров базовых каналов. В том числе и на информации о том, какая именно команда подается в данный момент. Некоторые команды, очевидно, будут чаще использоваться непосредственно после или во время поворота головы в одну из сторон. Кроме

этого в качестве исходных данных для процедуры выбора оптимального порядка перебора может выступать и картина звукового зашумления в целом. Подобный подход позволяет изменять параметры алгоритма в зависимости от одной из типичных ситуаций, в которой система функционирует в данный момент. По информации об общем уровне шума, его изменении, преобладании спектральных составляющих, система может переключаться в один из заранее запрограммированных режимов работы, как это реализовано в алгоритме auto ZoomControl®, разработанном для слуховых аппаратов Phonak класса премиум [7]. Эта функция подразумевает использование 4-микрофонной сети для быстрого распознавания акустической обстановки и автоматического выбора наиболее подходящего направления прослушивания [7, 8].

Количество каналов системы рационально выбирать более двух. При двух каналах эффективность пространственного разделения будет достаточно низкой, поскольку возможна ситуация, когда источник полезного сигнала займет положение, при котором полезный сигнал приблизительно поровну разделится между двумя каналами. В этом случае ни один из каналов не сможет эффективно выступать в качестве опорного. Увеличение количества каналов приведет к более выраженному положительному эффекту от пространственного разделения сигналов в сочетании с процедурой адаптивной компенсации. Однако, использование большого количества независимых каналов приведет к необоснованному усложнению и удорожанию системы. Кроме того увеличение количества каналов потребует применения весьма узконаправленных микрофонов, что потребует увеличения габаритов системы и отрицательно скажется на ее эксплуатационных характеристиках.

## 7. Обсуждение результатов исследования возможности повышения эффективности многоканальной системы распознавания речевых команд

Предложенные в работе решения для повышения эффективности системы распознавания речевых команд основываются на применении многомикрофонной системы с эффективным алгоритмом постобработки сигнала методом адаптивной компенсации. Это позволяет получить ряд преимуществ в первую очередь в условиях перемещающихся источников сигнала и шумов, наличии источников шума близкого по спектральной полосе к полезному сигналу. Кроме того, применение предложенных алгоритмических решений позволяет сочетать их с любыми другими методами постобработки зашумленных сигналов.

Предложенный в работе алгоритм определения базового и вспомогательных каналов многомикрофонной системы распознавания речевых команд основан на критерии, определение которого возможно лишь на лингвистическом этапе распознавания. Это ограничивает область применения подобного решения только теми системами, в которых уже используются подобные методы распознавания с возможностью расчета оценки его достоверности. Кроме того, разработанный алгоритм подразумевает неоднократное распознавание

каждой команды со всех или нескольких каналов, что значительно повышает требования к вычислительной мощности системы.

Таким образом, предложенный в работе критерий и алгоритмы, снованные на нем могут быть полезны в проектировании и разработке систем распознавания речевых команд для управления технологическим оборудованием и транспортными средствами.

Перспективными направлениями в дальнейших исследованиях в обсуждаемой области, по мнению автора, могут стать моделирование работы системы с целью определения оптимального числа направленных микрофонов в составе системы, разработка алгоритмических решений по оптимизации вычислительной нагрузки, а также изучение влияния диаграмм направленности микрофонов на эффективность работы системы.

## 8. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. На основании проведенного анализа существующих методов цифровой обработки зашумленных звуковых сигналов в качестве наиболее эффективного в условиях нескольких перемещающихся источников шума предлагается использовать метод адаптивной компенсации.

2. Применение пространственного разделения сигналов с помощью многоканальной системы направленных микрофонов позволит наиболее полно воспользоваться преимуществами метода адаптивной компенсации в условиях, когда источник полезного сигнала может перемещаться по отношению к микрофонам системы.

3. В качестве критерия эффективного и надежного определения базового и опорных каналов предложено использовать мера близости полученного сигнала к известному образцу команды — параметр, рассчитываемый на лингвистическом этапе распознавания речевой команды.

4. Разработанный алгоритм определения базового и опорных каналов на основе предложенного критерия эффективен в случае наличия помех со спектральной полосой, сходной со спектром полезного сигнала, что дает существенные преимущества при нескольких одновременно говорящих людях в зоне действия системы распознавания речевых команд.

## Литература

1. Чучупал, В. Я. Цифровая фильтрация зашумленных речевых сигналов [Текст] / В. Я. Чучупал, А. С. Чичагов, К. А. Маковкин; под ред. Ю. И. Журавлева // Сообщение по программному обеспечению ЭВМ. — М.: Вычислительный центр РАН, 1998. — 52 с.
2. McWhirter, J. A digital adaptive noise-canceller based on a stabilized version of the widrow L.M.S. algorithm [Text] / J. McWhirter, K. Palmer, J. Roberts // ICASSP '82. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 1982. — P. 1394–1397. doi:10.1109/icassp.1982.1171457
3. Sondhi, M. M. Improving the Quality of a Noisy Speech Signal [Text] / M. M. Sondhi, C. E. Schmidt, L. R. Rabiner // Bell System Technical Journal. — 1981. — Vol. 60, № 8. — P. 1847–1859. doi:10.1002/j.1538-7305.1981.tb00299.x

4. Hoy, L. Noise suppression methods for speech applications [Text] / L. Hoy, B. Burns, D. Soldan, R. Yarlagadda // ICASSP '83. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. — Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 1983. — P. 1133–1136. doi:10.1109/icassp.1983.1171985
5. Ricketts, T. Comparison of performance across three directional hearing aids [Text] / T. Ricketts, S. Dhar // Journal of the American Academy of Audiology. — 1999. — Vol. 10, № 4. — P. 180–189.
6. Gnewikow, D. Real-world benefit from directional microphone hearing aids [Text] / D. Gnewikow, T. Rickett, G. W. Bratt, L. C. Mutchler // Journal of Rehabilitation Research & Development. — 2009. — Vol. 46, № 5. — P. 603–618. doi:10.1682/jrrd.2007.03.0052
7. Nyffeler, M. Auto ZoomControl — Automatic change of focus to speech signals of interest [Electronic resource] / M. Nyffeler // Field Study News. — 2010. — Available at: \www/ URL: [https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc\\_hq/en/resources/evidence/field\\_studies/documents/fsn\\_2010\\_September\\_AutoZoomControl.pdf](https://www.phonakpro.com/content/dam/phonakpro/gc_hq/en/resources/evidence/field_studies/documents/fsn_2010_September_AutoZoomControl.pdf)
8. Nyffeler, M. Field Study on User Control of Directional Focus: Benefits of Hearing the Facets of a Full Life [Text] / M. Nyffeler, S. Dechant // Hearing Review. — 2008. — Vol. 16, № 1. — P. 24–28.
9. Widrow, B. Adaptive noise cancelling: Principles and applications [Text] / B. Widrow, J. R. Glover, J. M. McCool, J. Kaunitz, C. S. Williams et al. // Proceedings of the IEEE. — 1975. — Vol. 63, № 12. — P. 1692–1716. doi:10.1109/proc.1975.10036
10. Гладышев, К. К. Информативные признаки на основе линейных спектральных корней в системах распознавания речевых команд [Текст]: автореф. дис. ... д-та тех. наук: 05.13.01 / К. К. Гладышев; Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. Бонч-Бруевича. — СПб., 2010. — 16 с.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВНИХ КОМАНД

Підвищення ефективності системи розпізнавання мовних команд у складній акустичній обстановці розглядається в рамках підвищення співвідношення сигнал/шум за рахунок застосування декількох спрямованих мікрофонів, просторового розділення сигналів і адаптивної компенсації. Запропоновані критерій і алгоритми визначення каналу, що містить корисний сигнал на основі лингвістичного етапу процесу розпізнавання мовних команд.

**Ключові слова:** розпізнавання мовних команд, адаптивна компенсація, міра близькості.

*Штепа Александр Анатольевич, кандидат технических наук, кафедра электронной техники, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Красноармейск, Украина, e-mail: A.Shtepa@mail.ru.*

*Штепа Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, кафедра електронної техніки, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Красноармійськ, Україна.*

*Shtepa Aleksandr, State Higher Education Establishment «Donetsk National Technical University», Krasnoarmiysk, Donetsk region, Ukraine, e-mail: A.Shtepa@mail.ru*