

УДК 159.9.072

Тиньков Александр Михайлович

кандидат психологических наук, доцент, доцент кафедры психологии
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»
e-mail: tam54@ukr.net

ORCID: 0000–0003–1005–8903

Федосеев Виталий Альфредович

кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры психологии
Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»
e-mail: fedva2006@ukr.net

ORCID: 0000–0002–0687–9736

**МЕТОД И УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА
ПО ЕГО РЕЧЕВОМУ СИГНАЛУ**

В статье показана возможность контроля и управления психологическим состоянием операторов АСУ путем учета смещения составляющих спектра речевого сигнала оператора, а управление осуществляется за счет саморегуляции оператора на основе восприятия собственной речи с восстановленным спектром. Описана блок-схема устройства контроля и управления состоянием готовности операторов с использованием принципа активной обратной акустической связи.

Ключевые слова: контроль, управление, речевой сигнал, спектр, устройство, психологическое состояние.

Актуальность. В настоящее время наиболее известным методом анализа речевого сигнала являются методы автоматического распознавания речи, применяемые большей частью для обеспечения диалогового режима «общения» с ЭВМ (в системах с искусственным интеллектом).

Такое информационное обеспечение осуществляют при помощи речевого управления и оповещения (речевые анализаторы и синтезаторы), которые являются перспективными техническими средствами деятельности операторов АСУ. Системы речевого оповещения (предупреждения) обеспечивают сокращение времени восприятия информации.

Постановка проблемы. Однако такие системы обладают существенными недостатками: достоверность распознавания речи падает с расширением объема («длины») словаря N , с изменением спектральных составляющих речевого сигнала у одного и того же оператора, возникающих вследствие изменения его психофизиологического состояния (ПФС). С ростом объема словаря N достоверность распознавания при $N \geq 10$ падает на 1,5 % с подстройкой и на 6 % — без подстройки. Объем словаря, соответствующий достоверности 90 % в режиме без подстройки под диктора, достигает значения $N = 60$ слов, при подстройке под диктора — $N = 500$ слов [1]. Также недостаточно изучены вопросы деформации физических параметров речи операторов от времени суток и их эмоционального состояния при вне-

запном изменении профессиональной деятельности и факторов внешней среды.

Весьма перспективным является использование для целей контроля психофизиологического состояния оператора его речевого сигнала. Возможность применения этого метода заключается в том, что практически любой вид деятельности оператора связан с речью (разговоры по телефону, громкоговорящей связи (ГГС), доклады начальникам, приказы подчиненным и т. п.). Данный метод не нарушает и не изменяет деятельность операторов, кроме того, он позволяет осуществить непрерывный, автоматический, дистанционный и бесконтактный контроль состояния оператора [1–3].

В речевом сигнале содержатся признаки, характеризующие не только индивидуальные особенности оператора, но также его эмоциональное и физиологическое состояние. К признакам, несущим информацию о психофизиологическом состоянии, можно отнести [1]:

- изменение динамического диапазона речи;
- смещение энергетического спектра речи;
- изменение частотного спектра речи;
- смещение формантных частот относительно своего среднего уровня;
- изменение частоты основного тона;
- временные характеристики речевого сигнала (длительность слов, фраз, пауз между словами и т. п.).

Энергетические характеристики обладают сравнительно низкой специфичностью и информативностью, они могут использоваться лишь в сочетании с другими показателями.

Напротив, спектральные характеристики речи обладают большей информативностью, изменение их меньше зависит от желания и установки оператора, однако имеются очень большие трудности с точки зрения практической реализации данного метода.

Временные характеристики речевого сигнала используют для диагностики состояния утомления. Известно, что в этом состоянии у человека снижается активное функционирование ряда систем организма [1].

Рассмотрим далее имеющиеся в литературе [1–4] сведения о речевых показателях психофизиологического состояния. Из опыта известно [1], что человек способен различать весьма тонкие градации состояния диктора только по его речи. Это подтверждает предположение о существовании закономерных и устойчивых речевых коррелятов психофизиологического состояния.

Эмоциональное напряжение, возникающее в ситуациях тревоги, страха или депрессии, ведет к примитивизации речи, проявляющейся в обеднении смысловой стороны высказывания.

Для такой речи характерно появление большого количества семантически нерелевантных отдельных слогов, слов, сочетаний слов, связанных с затруднениями поиска следующего слова. Отмечается также увеличение количества слов-паразитов, «заполнителей молчания» [1; 4; 5]. В то же время состояние эмоционального возбуждения, возникающее, например, после успешного выполнения полетного задания или прыжков с парашютом [4],

приводит к обогащению речи, усилению ее образности и выразительности за счет превосходных степеней. Несмотря на высокую информативность лингвистических характеристик речевого сигнала, нужно отметить, что слуховой анализатор человека способен различать тонкие градации эмоций диктора при полном отсутствии анализа семантики, лексики и грамматики. Этот факт, а также возможность формализации более простой по сравнению с признаками лексико-грамматического уровня обработки и определили повышенный интерес к акустическим сдвигам эмоциональной речи [1].

Изменение акустико-фонетических признаков при эмоциях воспринимается субъективно как изменение громкости, тембра, интонации, темпа речи и т. д. Указанные сдвиги исследуются при помощи спектрального анализа, анализа интонационных, темпоральных и т. п. характеристик.

Первые исследования спектральных параметров речевого сигнала [1; 4; 5] выявили общие тенденции в изменениях спектра речи при эмоциональном напряжении у говорящего, выражающиеся в смещении формант и перераспределении энергии низкочастотных и высокочастотных составляющих. Более поздние исследования речевого сигнала [1, 4] показали следующее. Для стенических эмоций («радость», «гнев», «страх») отмечено по сравнению с нормой (оперативный покой) расширение спектра, увеличение средней частоты спектрального максимума, повышение энергии высокочастотных компонентов. Эмоции депрессивного характера («тоска», «печаль») сопровождаются уменьшением ширины спектра, смещением энергетического максимума в область низких частот. В обоих случаях формантная структура речевого сигнала претерпевает вариации, вытекающие из соответствующих сдвигов в спектре [4].

Рост степени эмоциональной напряженности (от стадии внимания, тревоги до стадии страха) характеризуется увеличением среднего значения и дисперсии уровня речи, ростом частоты основного тона, ширины и частоты первой форманты гласных звуков, увеличением уровня высокочастотной области спектра (1000–5000 Гц) относительно низкочастотной (70–1000 Гц).

Интересные результаты (особенно с практической стороны реализации метода) получены в работе М. В. Фролова и Г. Б. Милованова [4]. Авторы работы делают следующие выводы. Восприятие эмоционально окрашенного речевого сигнала не ухудшается в результате сужения спектра сигнала до полосы частот 150...1200 Гц. Этот вывод справедлив для любого речевого материала и не зависит от особенностей голоса диктора. Восприятие такого сигнала не зависит от уровня его амплитудного ограничения.

Важную информацию о состоянии диктора переносит интонация, которая субъективно воспринимается как изменение высоты и интенсивности голоса. Эти характеристики, особенно частота основного тона, оказались значимыми при анализе стенических и астенических эмоциональных состояний [4].

Наиболее полно в настоящее время изучены изменения частоты основного тона. В норме (оперативный покой) частота основного тона характеризуется малой дисперсией и плавностью переходов во времени от подъемов к спадам. Стенические эмоции вызывают увеличение средней частоты

основного тона и ее дисперсии. Развитие депрессивных эмоциональных состояний способствует снижению частоты основного тона, уменьшению ее дисперсии по сравнению с нормой [1; 2]. Особенности изменений основного тона и параметров спектра речи в состояниях внимания и утомления описаны в работе [1].

Таким образом, надежность этих методов связана с ПФС диктора, поскольку последнее влияет на частотные составляющие речевого сигнала, что при наличии жестких алгоритмов обработки (распознавания) приводит к ошибкам.

Цель работы. Поиск бесконтактных методов контроля ПФС привел разработчиков к созданию специальных методов контроля и управления ПФС и, в частности, состояния готовности операторов.

Рассмотрим наиболее интересные из них. Известна система [4] распознавания голосов, определяющая положение центра частотного спектра голоса человека. Система периодически определяет среднюю частоту и среднюю амплитуду речевого сигнала и положение центра этого сигнала.

Информация о положении центра спектра вводится в память системы. Если на вход системы будет воздействовать другой, принадлежащий другому человеку либо тому же, но с измененным ПФС голосом, то информация о положении центра спектра этого голоса подается на вычислительное устройство, определяющее расхождение положения этого центра с положением центра спектра, который хранится в памяти. Полученное расхождение сравнивается с заданным и, если разница между ними меньше заданной величины (порога), оба центра считаются принадлежащими голосу одного человека.

Известен метод опознавания диктора [5], основанный на сравнении временной последовательности замеров комплекса характеристических параметров на заданном отрезке речи с индивидуальными для диктора эталонами, в качестве которых используются распределения дискретных замеров по всем параметрам (по каждой фонеме). В результате получают фонемные оценки, по которым осуществляется выделение фонемных сегментов речи и сбор оценок в их пределах для определения диктора. Описанные методы являются ближайшими аналогами разработанного метода.

Изложение основного материала исследования. Сущность предлагаемого метода контроля и управления психофизиологической готовностью в части контроля состоит в том, что контролируется смещение составляющих спектра речевого сигнала оператора, зависящих от психофизиологического состояния оператора, а управление осуществляется за счет саморефлексии оператора на основе восприятия собственной речи с восстановленным спектром.

При этом регистрируется период реализации речевого фрагмента T :

$$T = \sum_{i=1}^n T_{от, i} ,$$

где $T_{от, i}$ – i -тый период реализации речевого фрагмента ($i = 1 \dots 100$);

n — количество периодов $T_{от, i}$ за время T ($T=1,4$ с).

Рассчитывается средняя частота первой форманты, основного тона $F_{от}(T)$ (за период T) и ее дисперсия $Dt(F_{от})$:

$$F_{от}(T) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_{от,i}$$

Вычисляется разность между $F_{от}(T)$, оцененной в состоянии функционального покоя (фоновое значение) — $F_{от}(T)_{\phi}$, и текущим значением (в процессе осуществления деятельности оператором) — $F_{от}(T)_{д}$. Производится также оценка расхождения $F_{от}(T)_{\phi}$ и $F_{от}(T)_{д}$ по критерию Стьюдента.

Если величина расхождения существенна (с учетом критерия), то делается вывод об изменении ПФС оператора, т. е. о пребывании его в момент измерения в состоянии, отличном от фонового. При этом акустический речевой сигнал пропускается через систему из пяти фильтров (типа «активных» RC фильтров). Центральная частота фильтров — 50 Гц, 250 Гц, 800 Гц, 3200 Гц, 6400 Гц. Период реализации речевого фрагмента разбивается на сегменты фиксированной длины — (14 мс) так, чтобы длительность сегмента превышала максимально возможный период основного тона.

Сущность предлагаемого метода в части управления ПФС состоит в том, что оно производится на основе восприятия оператором собственной речи с восстановленным спектром. Основное отличие метода от известных на основе обратной акустической связи состоит в том, что в предлагаемом методе связь носит активный характер.

При этом обратный сигнал, поступающий в данном случае на слуховой анализатор, претерпевает изменения при помощи технического средства, т. е. человек слышит сигнал, отличающийся по спектру от произносимого им. В известных же методах обратный сигнал меняет лишь модальность, но сохраняется линейная зависимость между энергетическими характеристиками прямого и обратного сигналов.

Ближайшим аналогом разработанного метода управления ПФС является метод психофизиологического исследования человека [4]. Сущность метода состоит в том, что на слуховой анализатор человека (через телефон) подается синхронная запись его голоса, превышающая естественную силу голоса на 20...40 dB с задержкой воспроизведения — 0,15...0,3 с. При этом у человека отмечается состояние психической напряженности.

Устройство контроля и управления состоянием готовности с использованием принципа активной обратной акустической связи содержит микрофон, усилитель низкой частоты, пять полосовых фильтров, блок управления, пять аналого-цифровых преобразователей (АЦП), блок вычислителя с оперативным запоминающим устройством (ОЗУ), блок коммутации, громкоговоритель, усилитель низкой частоты с управляемой частотной характеристикой, блок индикации, блок порогов.

Функциональная схема предлагаемого устройства приведена на рис.1.

Блок 1 преобразует акустические сигналы речи оператора в электрические импульсы.

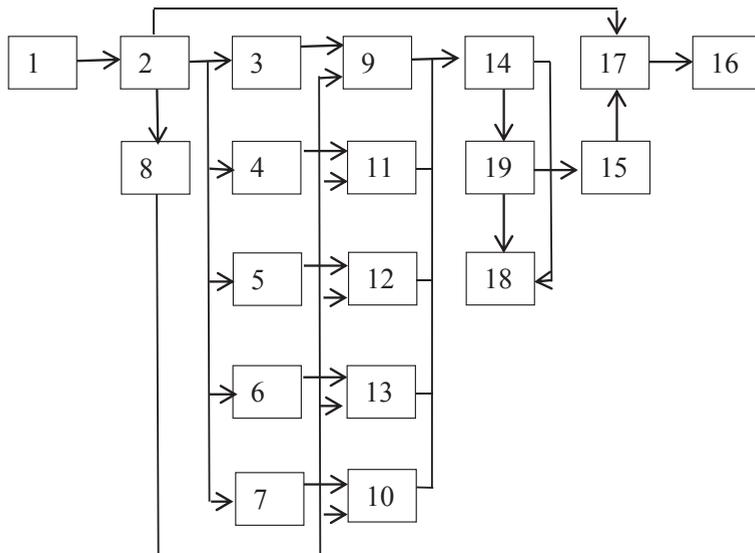


Рис. 1. Функціональна схема пристрою

1. Мікрофон. 2. Усилитель низької частоти. 3–7. Полосові RC фільтри. 8. Блок управління. 9–13. Аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП). 14. Блок вичислителя з оперативним запам'ятовуючим пристроєм (ОЗУ). 15. Блок комутації. 16. Громкоговоритель. 17. Усилитель низької частоти з управляємою частотною характеристикою. 18. Блок індикації. 19. Блок порогів

Пристрій працює наступним чином.

Усилитель низької частоти 2 здійснює посилення сигналу до величини, достатньої для нормальної роботи аналогово-цифрових перетворювачів (блоки 9...13).

Блоки 3...7 — полосові активні фільтри типу RC, їх центральні частоти відповідно рівні 50 Гц, 250 Гц, 800 Гц, 3200 Гц, 6400 Гц.

Блок управління 8 забезпечує:

- синхронізацію роботи АЦП з наявністю (відсутністю) мовного сигналу на вході пристрою (з мікрофона);
- розбиття мовного сигналу на сегменти фіксованої довжини –14 мс;
- вироботку сигналу зупинки лічби сегментів після підрахунку 100 сегментів;
- тимчасову затримку роботи пристрою для пред'явлення інформації користувачеві;
- запис інформації (в цифровому коді) про мовний сигнал в ОЗУ (блок 14);
- дозвіл на виконання операцій в арифметичному блоці 14 (операції додавання та віднімання).

Блоки 9...13 — АЦП, перетворюють мовний сигнал в цифровий код, відповідно кожен в певній частотній області фільтрів 3...7 частот.

Блок 14 — вычислитель, производит операции сложения и вычитания (в цифровых кодах) для определения сдвига составляющих спектра речевого сигнала. При этом вычислитель снабжен элементами ОЗУ, позволяющими хранить «эталонную» характеристику речевого сигнала (характеристику речевого сигнала оператора, находящегося в состоянии «покоя»).

Блок 15 коммутации обеспечивает:

- поэлементный опрос состояний вычислителя и вывод информации на цифровые и световые индикаторы блока 18;
- коммутацию элементов РС, фильтров усилителя с управляемой частотной характеристикой (блок 17);
- установку порогового значения в блоке 19.

Громкоговоритель 16 преобразует электрические сигналы, поступающие из блока 17, в акустические.

Усилитель низкой частоты 17 обеспечивает усиление речевого сигнала до уровня, необходимого для нормальной работы громкоговорителя (в условиях, близких к реальной деятельности), блок 17 служит в качестве предварительного усилителя для системы громкоговорящей (ГГС) и телефонной связи.

Блок индикации 18 обеспечивает предъявление цифровой информации о сдвигах частотного спектра речевого сигнала, а также осуществляет световую индикацию, если этот сдвиг превышает установленный в блоке 19 порог.

Блок порогов 19 обеспечивает регистрацию пороговых значений характеристики спектра речевого сигнала в каждом из пяти частотных каналов цифровой обработки сигнала (блоки 3...7, 9...10).

Предлагаемое устройство может работать как в условиях выполнения оператором профессиональной деятельности, так и в условиях лабораторных исследований психофизиологического состояния операторов.

В первом случае устройство дополняет имеющиеся на рабочем месте оператора систему ГГС и телефонный аппарат. При этом микрофоном служит микрофон ГГС или микрофон телефонной трубки, а громкоговорителем — громкоговоритель ГГС или телефон телефонной трубки.

Во втором случае устройство работает в том виде, как оно представлено на рис. 1.

Процедура пользования прибором сводится к выполнению ряда несложных операций, а именно: при помощи кнопки, установленной на передней панели прибора (все органы управления прибором, а также цифровые и световые индикаторы находятся на передней панели прибора), производят обнуление (установку устройства в режим работы) всех элементов устройства. При этом на цифровых индикаторах индицируются нули (в каждом из пяти каналов устройства имеется по три цифровых и один световой индикатор). Затем переключателем устанавливают желаемое (из трех возможных — 16 с, 32 с, 64 с) время индикации (предъявления информации о характеристиках спектра речевого сигнала пользователю, достаточное для считывания и записи) информации.

После этого оператор (испытуемый) произносит перед микрофоном фразу, длящуюся не менее 1,4 с. При этом на индикаторах появляется цифровая информация о спектре речевого сигнала. Затем нажатием на кнопку заносят эту информацию (частотный «портрет») в ОЗУ и принимают ее за характеристику ПФС оператора в «покое» («фоновое значение»). Переключают устройство в рабочий режим. В этом случае прибор автоматически фиксирует информацию о сдвигах частотных составляющих спектра речевого сигнала оператора. Пользователь (экспериментатор) фиксирует текущее значение спектра и сравнивает его с «фоновым». Разница этих значений проверяется при помощи статистического критерия Стьюдента.

Зная величину сдвига составляющих спектра, производят соответствующую установку порога (при помощи переключателя).

После этого прибор будет автоматически регистрировать момент изменения ПФС оператора (световая индикация), а также вырабатывать управляющие сигналы для коррекции спектра на выходе устройства.

Таким образом, можно сделать следующие **выводы**:

1. Для целей контроля психофизиологического состояния оператора перспективным является использование его речевого сигнала.

2. Разработанное устройство обеспечивает непрерывный, дистанционный контроль ПФС операторов.

Список использованных источников и литературы

1. Леонова А. Б. Психодиагностика функциональных состояний человека / А. Б. Леонова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. — 200 с.
2. Смирнов Б. А. Методы инженерной психологии / Б. А. Смирнов, А. М. Тиньков. — Х.: Гуманит. центр, 2008. — 528 с.
3. Лебедева Н. Н. Акустические характеристики речевого сигнала как показатель функционального состояния человека / Лебедева Н. Н., Каримова Е. Д. // Успехи физиологических наук. — 2014. — Т. 45, № 1. — С. 57–95.
4. Фролов М. В. Особенности контроля состояния человека-оператора по показателям основного тона и спектра его речи / Фролов М. В., Милованова Г. Б. // Физиология человека. — 2009. — Т. 35, № 2. — С. 136 — 138.
5. Сидоров К. В. Анализ признаков эмоционально окрашенной речи / Сидоров К. В., Филатова Н. Н. // Вестник ТвГТУ. — 2012. — Вып. 20. — С. 26–32.

REFERENCES

1. Leonova A. B. (1984) *Psyhodiagnostika funktsional'nyh sostojanij cheloveka* [Psychoactivator of the functional states of man], Moscow: Mosk. U [in Russian]
2. Smirnov B. A. (2008) *Metody inzhenernoj psihologii* [Methods of engineering psychology], Kharkov: GC. [in Russian]
3. Lebedeva N. N., & Karimova E. D. (2014) Akusticheskie kharakteristiki rechevogo signala kak pokazatel funktsionalnogo sostojanija cheloveka [The acoustic characteristics of the speech signal as an indicator of a person's functional status]. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk.* — *Advances of Physiological Sciences*, Vol. 45, 1, 57–95 [in Russian].
4. Frolov M. V., & Milovanova G. B. (2009) Osobennosti kontrolja sostojanija cheloveka-operatora po pokazateljam osnovnogo tona i spektra ego rechi [Features of the control status of the human operator in terms of pitch and spectrum of the speech]. *Fiziologija cheloveka.* — *Human Physiology*, Vol. 35, 2, 136 — 138 [in Russian].

5. Sidorov K. V., & Filatova N. N. (2012) Analiz priznakov ehmocionalno-okrashennojj rechi. Analysis features emotionally colored speech // *Vestnik TvGTU — Bulletin TvGTU. Vol. 20, 26 — 32* [in Russian].

Тиньков Олександр Михайлович

кандидат психологічних наук., доцент, доцент кафедри психології,
Національний аерокосмічний університет ім. Н. Є. Жуковського «ХАІ»

Федосєєв Віталій Альфредович

кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри психології,
Національний аерокосмічний університет ім. Н. Є. Жуковського «ХАІ»

**МЕТОД ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНОГО
СТАНУ ОПЕРАТОРА ЗА ЙОГО МОВНИМ СИГНАЛОМ**

Резюме

У статті показана можливість контролю і управління психофізіологічним станом операторів АСУ шляхом обліку зміщення складових спектру мовного сигналу оператора, а управління здійснюється за рахунок саморефлексії оператора на основі сприйняття власної мови з відновленим спектром. Описані блок-схема облаштування контролю і управління станом готовності операторів з використанням принципу активного зворотнього акустичного зв'язку.

Ключові слова: контроль, управління, мовний сигнал, спектр, пристрій, психологічний стан.

Tinkoff Alexandr M.

kandidat psychology, Associate Professor, Department of Psychology,
National Aerospace University. Zhukovsky «HAI»

Fedoseev Vitaliy A.

kandidat medicine, Associate Professor, Department of Psychology,
National Aerospace University. Zhukovsky «HAI»

**METHOD AND APPARATUS FOR MONITORING
PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE OPERATOR IN HIS SPEECH
SIGNALS**

Summary

Presently the most known method of analysis of speech signal are methods of automatic the recognition speeches applied mainly for providing of the conversational mode of «communication» with computer (in the systems with artificial intelligence). Such informative providing is carried out through a speech management and notifications (speech analyzers and synthesizers) that are the perspective technical equipments of activity of operators of ACE. The systems of speech notification (warning) provide reduction of time of perception of information.

Essence of the offered method of control and management psychophysiological part of control consists physiological readiness of that is controlled displacement of constituents of spectrum of speech signal of operator, depending on the психофизиологического state of operator, and a management comes true due to the self-reflection of operator on the basis of perception of own speech with the recovered spectrum. In the article a

checking and management feature is shown by the psychological state of operators of ACE by an account displacement of constituents of spectrum of speech signal of operator, and a management comes true due to the self-reflection of operator on the basis of perception of own speech with the recovered spectrum.

Key words: control, management, speech signal, spectrum, device, psychological state.

Стаття надійшла до редакції 13.10.2016