

УДК 612.852

Засядько К.И.<sup>1,2</sup>, Богомолов А.В.<sup>2</sup>, Солдатов С.К.<sup>2</sup>, Вонаршенко А.П.<sup>1</sup>, Борейчук А.Ф.<sup>1</sup>, Язлюк М.Н.<sup>1</sup>**ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТОНАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ РЕЧИ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**<sup>1</sup>Государственный центр подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний Министерства обороны Российской Федерации им. В.П. Чкалова, ул. Гагарина, 61а, Липецк, Россия, 398002;<sup>2</sup>Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Минобороны России, аллея Петровско-Разумовская, 12А, Москва, Россия, 127083

**Введение.** Проведенное исследование направлено на определение возможности использования анализа речевого сигнала для диагностики функциональных состояний (ФС) операторов управления воздушным движением (УВД) с обоснованием набора информативных показателей интонационной структуры речи.

**Материалы и методы.** В эксперименте на полунатурном моделирующем комплексе с участием 16 диспетчеров УВД мужского пола моделировалась профессиональная деятельность диспетчера УВД при умеренной (6 воздушных судов на управлении) и интенсивной (7–12 воздушных судов на управлении) рабочей нагрузке. Продолжительность моделируемой рабочей смены составляла 6 часов.

Регистрировались характеристики основного тона речи испытуемого и рассчитывались восемь джиттер-факторов, отражающих микроизменчивость кривой основного тона речевого сигнала, а также два индекса тремора, отражающих наличие в речевом сигнале периодических волн частотой 4–16 Гц в кривой частоты основного тона.

Динамика изменений ФС операторов определялась по показателям кардиоритма.

О надежности и работоспособности оператора судили по правильности ведения радиообмена, изменению рубежа приема и передачи управления ВС количеству допускаемых опасных сближений ВС, времени обнаружения вводимых отклонений ВС от заданной линии полета.

**Результаты и обсуждение.** Результаты анализа материалов экспериментов позволили установить, что ряд показателей основного тона имели явные изменения как в первой (при моделировании умеренной рабочей нагрузки), так и во второй серии (при моделировании интенсивной рабочей нагрузки) экспериментов.

Полученные данные свидетельствуют о снижении уровня психической регуляции профессиональной деятельности операторов в период с 3-го по 5-й час «рабочей смены» в первой серии экспериментов и со 2-го по 4-й час во второй серии экспериментов, обусловленном уменьшением их психофизиологических резервов и развитием утомления.

**Выводы:** Исследование динамики показателей интонационной структуры речи в профессиональной деятельности операторов УВД показало, что использование таких показателей обеспечивает адекватную диагностику ФС. В качестве наиболее информативных выделены среднее значение, асимметрия гистограммы и эксцесс частоты основного тона речи, длительность пауз между словами команд операторов и пятый джиттер-фактор.

**Ключевые слова:** функциональное состояние оператора; обработка речевой информации; интонационная структура речи; оператор управления воздушным движением; обработка речевой информации; диагностика функциональных состояний

**Для цитирования:** Засядько К.И., Богомолов А.В., Солдатов С.К., Вонаршенко А.П., Борейчук А.Ф., Язлюк М.Н. Динамика показателей интонационной структуры речи в профессиональной деятельности операторов управления воздушным движением. *Мед. труда и пром. экол.* 2019. 1: 31–37. <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-1-31-37>

**Для корреспонденции:** Солдатов Сергей Константинович, вед. науч. сотр. ЦНИИ ВВС Минобороны России, д-р мед. наук, проф. E-mail: gniiivm-s@ya.ru

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Konstantin I. Zasad'ko<sup>1,2</sup>, Aleksey V. Bogomolov<sup>2</sup>, Sergej K. Soldatov<sup>2</sup>, Aleksandr P. Vonarshenko<sup>1</sup>, Anatolij F. Borejchuk<sup>1</sup>, Maksim N. Jazljuk<sup>1</sup>

**CHANGES IN INDICATORS OF INTONATION STRUCTURE OF SPEECH IN OCCUPATIONAL ACTIVITY OF AIR TRAFFIC CONTROL OPERATORS**

<sup>1</sup>State Training Center for Aviation Personnel and Military Tests of the Ministry of Defense of the Russian Federation named after V.P. Chkalov, 61a, Gagarina str., Lipetsk, Russia, 398002;

<sup>2</sup>Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of Russia, 12A, Petrovsko-Razumovskaya alley, Moscow, Russia, 127083

**Introduction.** The study is aimed to determine possible use of vocal signal analysis for diagnosis of functional states in air traffic control operators, with justifying selection of informative parameters of intonation structure of speech.

**Materials and methods.** Experiments on semi-natural simulator complex with participation of 16 air traffic male dispatchers modelled occupational activity of air traffic dispatcher with moderate (6 aircrafts controlled) and intense (7–12 aircrafts controlled) work load. Duration of simulated working shift was 6 hours. Registration covered characteristics of main vocal tone of the examinees, with calculation of 8 jitter-factors that portrayed micro-changes of main vocal tone curve and 2 tremor indices disclosing periodic waves of 4–16 Hz in main vocal tone curve.

Functional state of the dispatchers was assessed via cardiac rhythm parameters.

Reliability and work capacity of the dispatchers corresponded to correct radio traffic, changes in threshold of reception and transfer of aircrafts in number of allowable dangerous approach of aircrafts, time to detection of input aircraft's deviation from preset flight line.

**Results and discussion.** According to analysis of the experiments results, some parameters of the main vocal tone carried significant changes both in first (simulated moderate work load) and second (simulated intense work load) experimental series. The data obtained prove lower level of psychic regulation of the dispatchers' occupational activity during 3<sup>rd</sup> to 5<sup>th</sup> hours of "working shift" in the first experimental series and from 2<sup>nd</sup> to 4<sup>th</sup> hours of the second experimental series, due to decreased psychophysiological resources and developing fatigue.

**Conclusion.** *Studies of changes in indicators of intonation structure of speech in occupational activity of air traffic dispatchers demonstrated that using such indicators provides adequate diagnosis of the functional state. The most informative indicators are average value, histogram asymmetry and excessive frequency of main vocal tone, duration of pauses between words of the dispatchers' commands and fifth jitter-factor.*

**Key words:** operator's functional state; processing of vocal information; intonation structure of speech; air traffic control operator; diagnosis of functional states

**For citation:** Zasyadko K.I., Bogomolov A.V., Soldatov S.K., Vonarshenko A.P., Borejchuk A.F., Yazlyuk M.N. Changes in indicators of intonation structure of speech in occupational activity of air traffic control operators. *Med. truda i prom. ecol.* 2019. 1: 31–37. <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-1-31-37>

**For correspondence:** Sergej K. Soldatov, leading researcher of Central Research Institute of Russian Defence Ministry, Dr. Med. Sci. E-mail: gniiivm-s@ya.ru

**Sponsorship:** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests:** The authors declare no conflict of interests.

**Введение.** Проблема диагностики функциональных состояний (ФС) авиационных специалистов, будучи одной из наиболее актуальных для обеспечения безопасности полетов, является составной частью общей проблемы повышения надежности человеческого звена в системе «пилот — наземный пункт управления» [1]. При этом кажущаяся простота сенсомоторного действия диспетчера управления воздушным движением (УВД) сопровождается выраженным стрессом, обусловленным высокой ответственностью за результаты деятельности [2]. В этой связи важной задачей является своевременное распознавание неблагоприятных изменений ФС операторов для своевременного принятия надлежащих мер по обеспечению их профессиональной работоспособности.

Существует большое число методик и способов диагностики ФС, основанных на показателях активности функциональных систем организма, задействованных в выполнении задач профессиональной деятельности. Однако трудности регистрации таких показателей без помех осуществлению деятельности и необходимость дополнительных каналов связи для регистрации показателей ФС ограничивают возможности диагностики ФС.

С учетом того, что речевая деятельность непосредственно входит в структуру профессиональной деятельности оператора УВД, для диагностики его ФС предпочтительно использовать методы диагностики ФС, основанные на результатах обработки речи.

К настоящему времени обоснован набор характеристик речевого сигнала, информативных для распознавания эмоциональных состояний человека [3–12]. Однако исследования по разработке методик диагностики ФС оператора УВД по показателям интонационной структуры речи не проводились.

**Цель исследования** — изучение динамики изменения показателей интонационной структуры речи при радиобмене в звене «наземный пункт управления — экипаж воздушного судна (ВС)» в зависимости от продолжительности рабочей смены и операциональной нагрузки на оператора УВД; исследование связи изменений показателей речи с показателями нервно-эмоционального напряжения оператора, самооценки операторами своего самочувствия, показателями качества и надежности деятельности; определение возможности использования анализа речевого

сигнала для диагностики ФС операторов УВД с обоснованием набора информативных показателей интонационной структуры речи.

**Материалы и методы.** Для определения динамики изменения интонационных характеристик речевого сигнала в зависимости от величины рабочей нагрузки на оператора проведены две серии исследований.

В эксперименте на тренажере (полунатурном моделирующем комплексе, полностью соответствующем реальному командно-диспетчерскому пункту УВД) моделировалась профессиональная деятельность диспетчера УВД при умеренной (6 ВС на управлении) и интенсивной (7–12 ВС на управлении) рабочей нагрузке. Продолжительность моделируемой рабочей смены составляла 6 часов.

В эксперименте приняли участие 16 профессионалов — диспетчеров УВД мужского пола (11 человек — II класса, 5 человек — I класса), имеющих допуск к УВД. Средний возраст испытуемых составил  $36 \pm 3$  года. Стаж работы по специальности составил от 11 до 16 лет. Все операторы прошли врачебную комиссию, не имели противопоказаний к профессиональной деятельности, в том числе нарушений и заболеваний голосового аппарата. Перед участием в эксперименте испытуемые проходили врачебный осмотр в объеме, определенном соответствующими руководящими документами и признаны здоровыми (предсменный осмотр).

В ходе экспериментов регистрировалась аудиограмма радиобмена; мониторно регистрировалась ЭКГ по Небу; с помощью аппаратуры «Авионикс» выполнялась самооценка самочувствия по методикам «Утомление» [13] и «Возбуждение-сонливость» [13], определялась выраженность эмоционального напряжения и оценивались поведенческие реакции операторов [13]. Кроме того, оценивалось качество профессиональной деятельности и ее надежность: вводились особые ситуации в виде незапланированных отклонений ВС от заданной траектории полета.

Для определения вариативности интонационных характеристик речи исследовались фонограммы радиопереговоров оператора УВД на протяжении «рабочей смены»: для анализа выбирались фрагменты репортажей продолжительностью 1,5–5 с, содержащие, как правило, позывной летчика и краткий запрос или команду.

Акустический анализ речи проводился с использованием компьютерной программы «Система идентификации

дикторов», разработанной группой компаний «Центр речевых технологий».

Для регистрации показателей ФС, исходя из данных литературы [7–17] и особенностей обработки материалов исследований, были выбраны следующие характеристики основного тона речи испытуемого: средняя частота основного тона (ЧОТ), медиана ЧОТ, среднеквадратичное отклонение ЧОТ, минимальное и максимальное значение ЧОТ, асимметрия гистограммы, эксцесс, средняя длительность участков убывания и возрастания, средняя длительность участков стабильности, длительность пауз.

Рассчитывались также восемь джиттер-факторов, отражающих микроизменчивость кривой основного тона речевого сигнала, а также два индекса тремора, отражающих наличие в речевом сигнале периодических волн частотой 4–16 Гц в кривой частоты основного тона [18–20].

Динамика изменений ФС операторов определялась на основании анализа показателей кардиоритма: математическое ожидание, стресс-индекс, вегетативный показатель ритма — с учетом самооценки утомления/возбуждения (сонливости) и латентного времени ответа на запросы «летчиков» [1,21,22].

О надежности и работоспособности оператора судили по правильности ведения радиообмена, изменению рубежа приема и передачи управления ВС, количеству допускаемых опасных сближений ВС, времени обнаружения вводимых отклонений ВС от заданной линии полета [1,23].

Все обследуемые были ознакомлены с условиями и рисками проводимых тестов и дали информированное согласие на их проведение.

Обработка полученных данных проводилась методами статистической обработки: отсутствие выбросов в анализируемых выборках подтверждено с помощью непараметрического критерия Смирнова-Граббса, рассчитывались оценки средних арифметических значений и оценки асимметрии гистограмм. Расчет оценок чувствительности и специфичности показателей интонационной структуры речи проводился с помощью стандартных методов обработки таблиц сопряженности (контингентности) [24].

**Результаты и обсуждение.** Результаты анализа материалов экспериментов позволили установить, что ряд показателей основного тона имели явные изменения как в первой (при моделировании умеренной рабочей нагрузки), так и во второй серии (при моделировании интенсивной рабочей нагрузки) экспериментов (рис. 1).

Так, период уменьшения среднего значения частоты основного тона во второй серии экспериментов был короче (до 2 часа), чем в первой серии (до 3,5 часа), а его увеличение возникало раньше, чем в первой серии. Во второй серии экспериментов, в отличие от первой серии, не наблюдалось периода повышения величины этого показателя после 5 часа работы (рис. 1б).

Длительность пауз в первой серии экспериментов увеличилась в промежутке с 3 по 5 час «рабочей смены» с пиком на 4 часа работы. Во второй серии экспериментов увеличение отмечалось с 2 по 4 час «смены», с пиком на 3 часа работы (рис. 1в).

Асимметрия гистограммы частоты основного тона в первой серии экспериментов уменьшалась на 3 часа «рабочей смены» и вновь увеличилась к концу «смены». Во второй серии экспериментов асимметрия гистограммы имела тенденцию к увеличению после 2,5 часов работы и к концу смены имела явные различия с исходными значениями (рис. 1г).

Эксцесс значений основного тона в первой серии экспериментов имел тенденцию к снижению на 3 часа «рабочей смены» с последующей тенденцией к увеличению к концу «смены». Во второй серии экспериментов прослеживалась аналогичная тенденция (рис. 1д).

Пятый джиттер-фактор в двух сериях исследований возрастал у операторов в ходе деятельности, и его значения к концу «рабочей смены» были выше исходных величин. Кроме того, прослеживается связь этого показателя с профессиональной загруженностью оператора как в первой, так и во второй сериях эксперимента (рис. 1е).

Наряду с этим выявлены характерные изменения в ряде показателей ФС операторов, показателей качества и надежности их профессиональной деятельности. Анализ динамики физиологических показателей регуляции сердечного ритма выявил усиление парасимпатического влияния на операторов после 3 час. деятельности в первой, после 2,5 час. деятельности во второй серии экспериментов, которое связывается с развитием утомления.

Обращает на себя внимание динамика активации и торможения вегетативной нервной системы. В первую половину эксперимента ввод особого случая (1 час. 30 мин., 2 час., 3 час.) приводил к активации вегетативной нервной системы. Через 3,5 часа работы наблюдались изменения variability кардиоритма, что обусловлено снижением симпатического влияния в вегетативной регуляции кардиоритма. Величина стресс-индекса постепенно снижалась на протяжении всей рабочей смены (как в первой, так и во второй серии экспериментов), однако во время ввода летных инцидентов отмечено его увеличение (рис. 1ж).

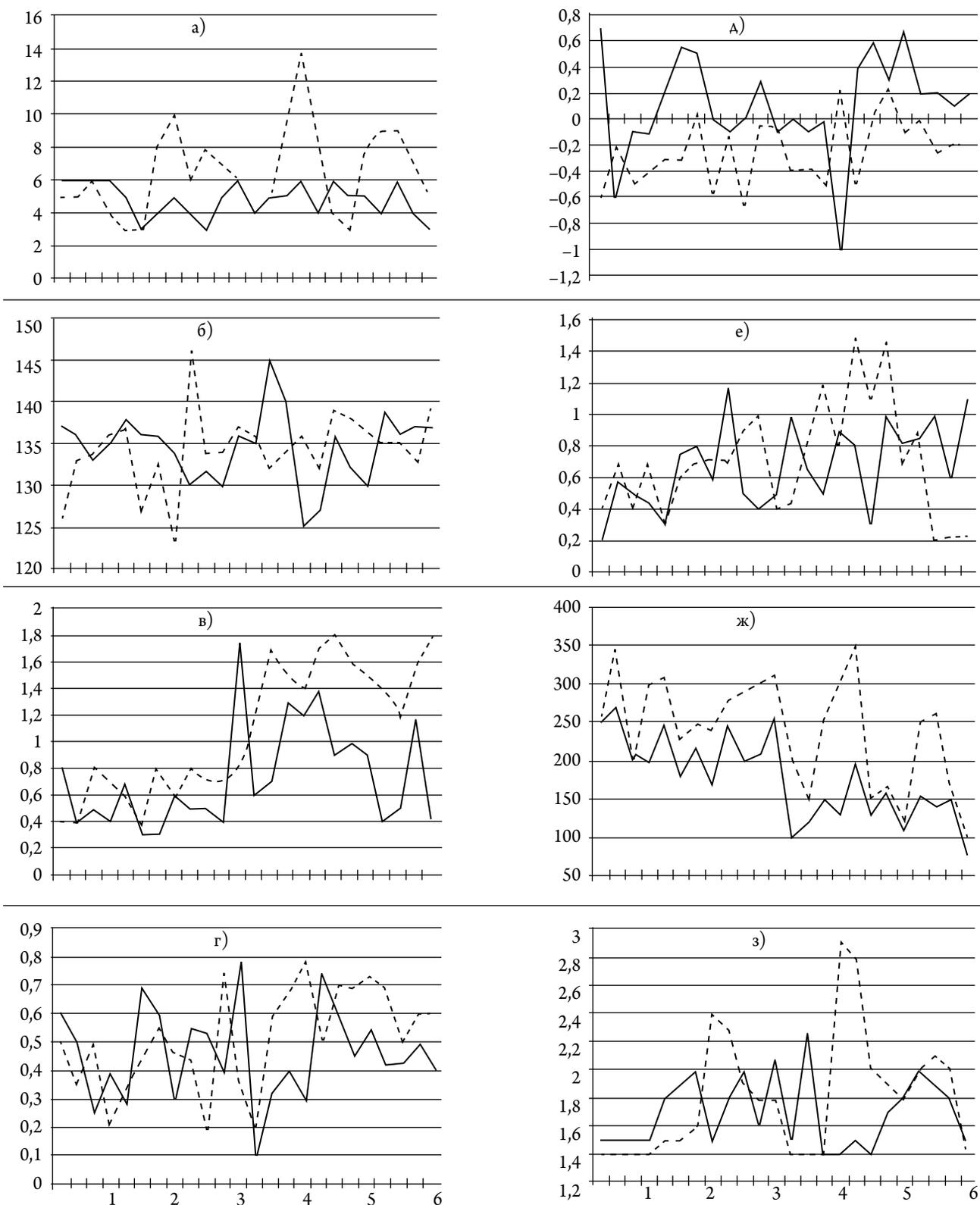
Латентное время ответа оператором на запросы пилотов также претерпевало определенные изменения. В первой серии экспериментов в период 3,5–5 часов наблюдалось его уменьшение: команды в этот период носили менее обдуманный характер, причем в этот период отмечалось наибольшее число случаев перепутывания позывных, ухудшалась рабочая взаимосвязь с руководителем дальней зоны и зоны посадки в ущерб безопасности полетов. Во второй серии уменьшение латентного времени ответа оператора на запросы «летчиков» наблюдалось после 2,5 часа работы, причем в период со 2 по 4 час не отмечалась (также, как в период 3,5–5 часов работы в первой серии) цикличность его изменения. Наибольшее число случаев опасных сближений, перепутанных позывных, потерь управления во второй серии наблюдалось на 2 и 4 часа работы (рис. 1з).

Анализ самооценки операторами своего состояния в первой серии экспериментов выявил снижение возбуждения и нарастания усталости после двух часов работы. Во второй серии экспериментов до четвертого часа работы превалировал сдвиг самооценки в сторону возбуждения, однако нарастание усталости отмечалось операторами после двух часов работы (таблица).

Рубеж приема и передачи управления в первой серии экспериментов ко 2 часу работы снижался с 60–75 км до 40–50 км, во второй серии — после 1 часа работы до 30–40 км.

Время обнаружения вводимых отклонений ВС от заданной линии полета в первой серии экспериментов через 1,5–2 часа работы увеличивалось вдвое (во второй серии — почти втрое); а к третьему часу — почти втрое (во второй серии — в 4 раза).

Полученные данные свидетельствуют о снижении уровня психической регуляции профессиональной деятельности операторов в период с 3 по 5 час «рабочей смены» в первой серии экспериментов и со 2 по 4 час во второй се-



**Рисунок.** Динамика показателей в ходе эксперимента (первая серия — сплошная линия, вторая серия — пунктирная линия; по оси абсцисс — время эксперимента, ч.; по осям ординат: а) рабочая нагрузка, шт. ВС; б) частота основного тона, Гц; в) длительность пауз, с; г) асимметрия гистограммы основного тона речи, усл. ед.; д) эксцесс основного тона, усл. ед.; е) джиттер-фактор, сдвиг по фазе между идеальным и действительным сигналами, с; ж) индекс напряжения, усл. ед., з) латентное время ответов операторов на запросы, с)

**Figure.** Changes in indicators during experiment (first series — solid line, second series — dotted line; X-axis — experiment time, hours; Y-axis — а) working load, aircrafts number; б) main tone frequency, Hz; в) duration of pauses, sec; д) histogram asymmetry of main vocal tone, units; е) main tone excess, units; ф) jitter-factor (voice transmission delay in IP-networks), phase shift between ideal and actual signals, sec; г) tension index, units; h) latent time of dispatcher's answer to call, sec)

Таблица

**Результаты самооценки операторами утомления (доля самооценок, %)**  
**Results of fatigue self-evaluation by operators (share, %)**

Время эксперимента, ч	Первая серия эксперимента			Вторая серия эксперимента		
	Усталости нет	Некоторая усталость	Значительная усталость	Усталости нет	Некоторая усталость	Значительная усталость
0,5	80	20	0	80	20	0
1	80	20	0	80	20	0
1,5	75	25	0	80	20	0
2	75	25	0	75	20	5
2,5	70	30	0	70	25	5
3	65	30	5	65	25	10
3,5	60	35	5	60	30	10
4	60	30	10	60	25	15
4,5	50	35	15	50	25	25
5	50	35	15	45	30	25
5,5	50	30	20	45	25	30
6	50	30	20	45	25	30

рии экспериментов, по-видимому, обусловленному уменьшением их психофизиологических резервов и развитием утомления, которое в первой серии после трех часов, а во второй — после двух часов непрерывной деятельности по УВД расценивается как стадия неустойчивой компенсации.

При этом, по мнению специалистов, изучающих нейрофизиологические механизмы стрессовых состояний (в том числе влияние эмоционального напряжения на динамику работоспособности и развитие утомления), происходит значительное возбуждение системы гипоталамуса, а через «гиппокампов круг» — и медиобазальных отделов височной области коры головного мозга, препятствующее дифференцированным действиям коры, необходимым для внимания и высших психических процессов, каковыми являются восприятие и воспроизведение речи [12,25–27].

Сопоставление направленности изменений показателей речевого сигнала в первой и второй серии исследований позволяет сделать заключение в том, что они носят аналогичный характер и, таким образом, адекватно отражают динамику ФС операторов УВД.

**Выводы:**

1. Динамика интонационной структуры речи в профессиональной деятельности операторов УВД показала, что использование данных показателей обеспечивает адекватную диагностику ФС. В качестве наиболее информативных выделены среднее значение, асимметрия сигмограммы и эксцесс частоты основного тона речи, длительность пауз между словами команд операторов и пятый джиттер-фактор.

2. Сопоставление направленности изменений показателей интонационной структуры речи, вегетативного состояния, а также качества и надежности деятельности оператора позволяет связать их динамику с развитием утомления (в стадиях неустойчивой компенсации).

3. Правильная интерпретация изменений интонационной структуры речи при диагностике ФС требует установления их взаимосвязи с содержанием, условиями и качеством деятельности операторов.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ушаков И.Б., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Физиология труда и надежность деятельности человека. М.: Наука; 2008.

2. Солдатов С.К., Засядько К.И., Богомолов А.В., Вонаршенко А.П., Соломка А.В. Профессионально важные качества операторов управления воздушным движением. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2017; 51(1): 30–4.

3. Бурлак С. Происхождение языка: факты, исследования, гипотезы. М.: Астрель, CORPUS; 2012.

4. Рахманенко И.А., Мещеряков Р.В. Анализ идентификационных признаков в речевых данных с помощью GMM-UBM системы верификации диктора. *Труды СПИИРАН*. 2017. 52(3): 32–50.

5. Карпов А.А., Юсупов Р.М. Многомодальные интерфейсы человеко-машинного взаимодействия. *Вестник Российской академии наук*. 2018; 88 (2): 146–55.

6. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Психофизиологические механизмы формирования и развития функциональных состояний. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2014; 100 (10): 1130–7.

7. Галунов В.И., Манеров В.Х. Связь между психофизиологическим состоянием говорящего и характеристиками речевого сигнала. В кн.: «Автоматическое распознавание слуховых образов». Львов, 1974. С. 46–9.

8. Марьев А.А. Метод интерпретации результатов измерений параметров речевого сигнала в задачах диагностики психоэмоционального состояния человека по его речи. *Инженерный вестник Дона*. 2011; 4: 41–6.

9. Лебедева Н.Н., Каримова Е.Д., Казимирова Е.А. Анализ речевого сигнала в исследованиях функционального состояния человека. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2015; 2: 3–12.

10. Величко А.Н., Будков В.Ю., Карпов А.А. Аналитический обзор компьютерных паралингвистических систем для автоматического распознавания лжи в речи человека. *Информационно-управляющие системы*. 2017. (90)5: 30–41.

11. Родькина О.Я., Никольская В.А. К проблеме распознавания психоэмоционального состояния человека по речи с использованием автоматизированных систем. *Информационные технологии*. 2016; (22)10: 728–33.

12. Витт Н.В. Информация об эмоциональных состояниях в речевой интонации. *Вопросы психологии*. 1965; 3: 89–103.

13. Бодров В.А. *Профессиональное утомление: фундаментальные и прикладные проблемы*. М.: ИП РАН; 2009.

14. Карпов А.А., Карпов А.В. Взаимосвязь психометрического интеллекта с организацией метакогнитивных процессов и качеств личности. *Психологический журнал*. 2016; (37)2: 69–78.

15. Червяков Н.И., Кучукова Н.Н. Проблемы автоматического распознавания слитной речи. методы обработки исходного речевого сигнала. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика.* 2016; 40(23): 148–55.
16. Савченко В.В., Акатьев Д.Ю., Кривошеев Д.В. Экспериментальные исследования акустического качества речевого сигнала на основе его информативных коррелятов. *Телекоммуникации.* 2017; 7: 12–6.
17. Бессонов М.А., Фархадов М.П. Алгоритмы интерпретации просодических признаков речи при ее обработке низкоскоростными кодеками. *Управление большими системами.* 2017; 66: 6–24.
18. Тиунов С.Д., Мещеряков Р.В., Черных Д.В. Оптимизация вычисления одновременной маскировки речевого сигнала. *Труды СПИИРАН.* 2014; 32(1): 45–57.
19. Вольф Д.А., Мещеряков Р.В. Модель процесса сингулярного оценивания частоты основного тона речевого сигнала. *Акустический журнал.* 2016; (62)2: 2–16.
20. Басов О.О., Носов М.В., Шалагинов В.А. Исследование характеристик джиттера периода основного тона речевого сигнала. *Труды СПИИРАН.* 2014; (32)1: 27–44.
21. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Method of synthesis of the psychophysiological stress index of operators. *Biomedical Engineering.* 2001; 35(4): 207–10.
22. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Информатизация программ персонализированной адаптационной медицины. *Вестник Российской академии медицинских наук.* 2014; (69)5–6: 124–8.
23. Крыжановский Г.А., Купин В.В. Обоснование способа экспериментальной оценки мотивационной готовности оператора при решении задач управления воздушным движением. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации.* 2017; (15)2: 70–91.
24. Кукушкин Ю.А., Бухтияров И.В., Богомолов А.В. Обобщение результатов независимых экспериментальных исследований методом мета-анализа. *Информационные технологии.* 2001; 6: 48–56.
25. Симонов П.В. Динамический стереотип и физиология эмоций. В кн. «Восемнадцатый Международный психологический конгресс. Симпозиум 3: Целостные формы условно-рефлекторной деятельности». М., 1966: 97–110.
26. Фролов М.В., Милованова Г.Б. Речевой сигнал как показатель функционального состояния человека-оператора. *Биомедицинская радиоэлектроника.* 2009; 6: 49–53.
27. Фролов М.В., Милованова Г.Б. Особенности контроля состояния человека-оператора по параметрам основного тона и спектра речи. *Физиология человека.* 2009; (35)2: 136–8.
28. Ushakov I.B., Bogomolov A.V., Kukushkin Ju.A. Psychophysiological mechanisms of formation and development of functional states. *Rossiiskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova.* 2014; 100(10): 1130–7 (in Russian).
29. Galunov V.I., Manerov V.H. Communication between the psychophysiological state of the speaker and the characteristics of the speech signal. In: *Avtomaticheskoe raspoznavanie sluhovykh obrazov.* L'vov, 1974: 46–9 (in Russian).
30. Mar'ev A.A. Method of interpreting the results of measurements of speech signal parameters in problems of diagnosing the psychoemotional state of a person from his speech. *Inzhenernyy vestnik Dona.* 2011. 4: 41–6 (in Russian).
31. Lebedeva N.N., Karimova E.D., Kazimirova E.A. Analysis of the speech signal in the study of a person's functional state. *Biomeditsinskaja radioelektronika.* 2015; 2: 3–12 (in Russian).
32. Velichko A.N., Budkov V.Ju., Karpov A.A. Analytical review of computer paralinguistic systems for automatic recognition of lies in human speech. *Informacionno-upravljajushhie sistemy.* 2017. 90(5): 30–41 (in Russian).
33. Rod'kina O.Ja., Nikol'skaja V.A. To the problem of recognition of a person's psychoemotional state by speech using automated systems. *Informacionnye tehnologii.* 2016; 22 (10): 728–33 (in Russian).
34. Vitt N.V. Information on emotional states in speech intonation. *Voprosy psihologii.* 1965; 3: 89–103 (in Russian).
35. Bodrov V.A. *Professional'noe utomlenie: fundamental'nye i prikladnye problemy.* Moscow: IP RAN, 2009 (in Russian).
36. Karpov A.A., Karpov A.V. Interrelation of psychometric intelligence with the organization of metacognitive processes and personality traits. *Psihologicheskij zhurnal.* 2016; 37(2): 69–78 (in Russian).
37. Chervjakov N.I., Kuchukova N.N. Problems of automatic recognition of speech. methods of processing the original speech signal. *Nauchnye ведомости Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Jekonomika. Informatika.* 2016; 40(23): 148–55 (in Russian).
38. Savchenko V.V., Akat'ev D.Ju., Krivosheev D.V. Experimental studies of the acoustic quality of a speech signal on the basis of its information correlates. *Telekommunikacii.* 2017; 7: 12–6 (in Russian).
39. Bessonov M.A., Farhadov M.P. Algorithms for interpreting prosodic features of speech when it is processed by low-speed codecs. *Upravlenie bol'shimi sistemami.* 2017; 66: 6–24 (in Russian).
40. Tiunov S.D., Meshherjakov R.V., Chernyh D.V. Optimization of the calculation of simultaneous masking of the speech signal. *Trudy SPIIRAN.* 2014. 32(1): 45–57 (in Russian).
41. Vol'f D.A., Meshherjakov R.V. The model of the process of singular estimation of the pitch frequency of the speech signal. *Akusticheskij zhurnal.* 2016. 62(2): 2–16 (in Russian).
42. Basov O.O., Nosov M.V., Shalaginov V.A. The study of jitter characteristics of the pitch period of the speech signal. *Trudy SPIIRAN.* 2014; 32(1): 27–44 (in Russian).
43. Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V. Method of synthesis of the psychophysiological stress index of operators. *Biomedical Engineering.* 2001; 35(4): 207–10.
44. Ushakov I.B., Bogomolov A.V. Informatization of personalized adaptation medicine programs. *Vestnik Rossijskoj akademii medicinskih nauk.* 2014; 69(5–6): 124–8 (in Russian).
45. Kryzhanovskij G.A., Kupin V.V. The substantiation of the method of experimental evaluation of the operator's motivational readiness for solving air traffic control problems. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoj aviacii.* 2017; 15(2): 70–91 (in Russian).

## REFERENCES

1. Ushakov I.B., Kukushkin Ju.A., Bogomolov A.V. Physiology of work and reliability of human activity. Moscow: Nauka; 2008 (in Russian).
2. Soldatov S.K., Zasad'ko K.I., Bogomolov A.V., Vonarshenko A.P., Solomka A.V. Professionally important qualities of air traffic control operators. *Aviakosmicheskaja i jekologicheskaja medicina.* 2017; 51(1): 30–4 (in Russian).
3. Burlak S. Origin of language: facts, research, hypotheses. Moscow: Astrel': CORPUS, 2012 (in Russian).
4. Rahmanenko I.A., Meshherjakov R.V. Analysis of identification features in speech data using TMM-UBM speaker verification system. *Trudy SPIIRAN.* 2017; 52(3): 32–50 (in Russian).
5. Karpov A.A., Jusupov R.M. Multimodal interfaces for human-machine interaction. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk.* 2018. 88 (2): 146–55. (in Russian).

24. Kukushkin Ju.A., Buhtijarov I.V., Bogomolov A.V. Generalization of the results of independent experimental studies by meta-analysis. *Informacionnye tehnologii*. 2001; 6: 48–56 (in Russian).

25. Simonov P.V. Dynamic stereotype and physiology of emotions. In: *Vosemnadcatyj Mezhdunarodnyj psihologicheskij kongress. Simpozium 3: Celostnye formy uslovno-reflektornoj dejatel'nosti*. Moscow; 1966: 97–110 (in Russian).

26. Vitt N.V. Informacija ob jemocional'nyh sostojanijah v rechevoj intonacii. *Voprosy psihologii*. 1965: 3: 89–103 (in Russian).

27. Frolov M.V., Milovanova G.B. Features of monitoring the state of the human operator in terms of the parameters of the fundamental tone and the spectrum of speech. *Fiziologija cheloveka*. 2009; 35(2): 136–8 (in Russian).

Дата поступления 01.10.2018

Дата принятия в печать 03.10.2018

Дата публикации 01.2019