

УДК 004.9

В.А. Темников

Національний авіаційний університет, Київ

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АВИАТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Представлены основные составляющие метода повышения быстродействия и достоверности работы систем поддержки принятия решений по управлению информационной безопасностью авиатранспортных предприятий. Применение разработанного метода позволило обеспечить функционирование системы поддержки принятия решений в режиме реального времени при высокой степени достоверности ее работы.*

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, диспетчер, аутентификация, психофизиологическое состояние, распознавание образов, искусственная нейронная сеть.

### Введение

В последнее время большую актуальность приобретает решение задач, связанных с обеспечением безопасности полетов в авиации.

Безопасность полетов не может быть обеспечена без применения систем управления информационной безопасностью авиатранспортных предприятий (АТП) и, в первую очередь, аэропортов. Это объясняется тем, что несанкционированный доступ злоумышленников к их информационным активам (базам данных, информационным потокам, циркулирующим в автоматизированных системах (АС) аэропортов и др.), ошибки диспетчеров (управления воздушным движением (авиадиспетчеров) и АС аэропортов) могут привести к опасным нежелательным последствиям, в том числе, человеческим жертвам и большим материальным потерям.

Для оказания помощи руководителям АТП в управлении информационной безопасностью разработана система информационной поддержки принятия решений. Задачей одной из ее подсистем (голосовой системы поддержки принятия оперативных решений (СППоР) по контролю за действиями авиадиспетчеров в процессе выполнения ими функциональных обязанностей) является оперативное выявление лиц, находящихся в ненадлежащем психофизиологическом состоянии (ПФС). Высокая значимость СППоР обусловлена тем, что нахождение диспетчера в возбужденном или депрессивном состоянии, состоянии утомления, сонливости или тревоги является одной из наиболее частых причин ошибок диспетчеров.

СППоР представляет собой интеллектуальную информационную систему, построенную с приме-

нением современных информационных технологий. Ее работа основана на анализе речевых сигналов, снимаемых с выходов микрофонов, которые диспетчеры эргатических систем АТП используют в процессе работы (в частности, авиадиспетчеры – в процессе проведения аудиообмена с членами экипажей воздушных судов). Использование такого биометрического признака человека, как голос, в качестве «инструмента» для контроля за действиями диспетчеров со стороны лиц, принимающих решения (ЛПР), позволяет осуществлять контроль бесконтактно, не отвлекая диспетчера от выполнения функциональных обязанностей.

Значимыми критериями эффективности функционирования СППоР являются быстродействие и достоверность работы.

В статье представлены основные составляющие метода повышения эффективности (быстродействия и достоверности работы) СППоР, применение которого позволило обеспечить функционирование разработанной СППоР в режиме реального времени при высокой степени достоверности ее работы. Результаты применения разработанного метода представлены применительно к СППоР по контролю за действиями авиадиспетчеров со стороны ЛПР в диспетчерских службах аэропортов.

В основе метода лежит обоснование структуры СППоР и информационных технологий, применяемых при проектировании подсистем СППоР.

### Структурная схема разработанной СППоР и информационные технологии для построения ее подсистем

1. Контроль за действиями диспетчеров, в соответствии с разработанным методом, осуществля-

ется как последовательное проведение аутентификации и мониторинга ПФС по непрерывной речи.

Для повышения достоверности работы СППоР аутентификацию и контроль ПФС диспетчеров предлагается проводить по так называемым «ключевым» речевым фрагментам, представляющим собой сегменты слов (словосочетаний), часто употребляемых диспетчерами в процессе работы и являющихся элементами фразеологии, обязательной для употребления авиадиспетчерами в процессе проведения аудиообмена с членами летных экипажей.

Достоверность работы СППоР повышается в связи с тем, что, как показали проведенные исследования, информативные параметры речевых сигналов зависят, например, от месторасположения гласных фонем в речевых фрагментах, по которым проводятся аутентификация диспетчеров и определение их ПФС.

Структурная схема СППоР в этом случае будет представлять собой последовательность таких подсистем: предварительной обработки речевого сигнала, снимаемого с выхода микрофона, выявления «ключевых» речевых фрагментов в непрерывной речи диспетчера, распознавания и определения ПФС человека (контролируемого лица).

2. Подсистема предварительной обработки речевого сигнала осуществляет его шумоочистку и сегментацию на речевые фрагменты, среди которых в дальнейшем будут выявлены «ключевые» речевые фрагменты.

Снижение зашумленности речевого сигнала повышает точность определения информативных параметров речевого сигнала, и таким образом приводит к повышению достоверности работы СППоР.

При применении разработанного метода шумоочистка и сегментация речевого сигнала проводятся с применением вейвлетов.

3. Подсистема выявления «ключевых» речевых фрагментов осуществляет их поиск среди речевых фрагментов, полученных на выходе модуля сегментации.

4. По найденным «ключевым» речевым фрагментам подсистемами распознавания человека и определения его ПФС проводятся соответственно аутентификация и определение ПФС.

5. Подсистемы выявления «ключевых» речевых фрагментов, распознавания контролируемых лиц и определения ПФС, в соответствии с теорией распознавания образов [1], состоят из модулей параметризации, классификации и принятия решения, а также включают в себя базы данных параметров, характеризующих соответственно речевой сигнал («ключевые» речевые фрагменты), человека (контролируемое лицо) и его ПФС.

6. Модули классификации подсистем выявления «ключевых» речевых фрагментов и распознавания контролируемых лиц в разработанной СППоР построены с применением искусственных нейронных сетей (ИНС) [2], обученных на распознавание соответственно речевых фрагментов и человека.

Обе ИНС имеют одинаковую топологию и архитектуру (в частности, в обеих подсистемах в качестве ИНС рекомендуется применять многослойные перцептроны с одним скрытым слоем). Применение ИНС в обеих подсистемах позволило в значительной степени унифицировать систему поддержки принятия оперативных решений.

Построение модулей классификации подсистем СППоР с применением искусственных нейронных сетей позволяет ускорить процесс классификации, а, следовательно, и всей системы в целом, по сравнению с методами, основанными на вычислении расстояний между векторами параметров, на применении скрытых марковских моделей, методом DTW и др. [3].

7. Возможность применения ИНС в качестве основы для построения модулей классификации ограничивается количеством параметров сигналов, поступающих на ее входы. В наших разработках модули параметризации подсистем выявления «ключевых» речевых фрагментов и распознавания человека строятся на основе метода кратковременного анализа [3].

При этом определение информативных параметров речевых сигналов основывается на расчете кепстральных коэффициентов на каждом фрейме, на которые делится «ключевой» речевой фрагмент. В случае непосредственного использования в качестве информативных параметров таких кепстральных коэффициентов, их количество, а, значит, и количество входных параметров ИНС, достигало бы значительных величин (с учетом того, что количество кепстральных коэффициентов на одном фрейме составляет от 12 до 20 единиц, а количество фреймов – несколько десятков).

Для обеспечения возможности построения модулей классификации подсистем выявления «ключевых» речевых фрагментов и распознавания человека на основе ИНС было необходимо существенно уменьшить количество информативных параметров речевых сигналов, подаваемых на вход ИНС. Это было достигнуто в процессе разработки новой системы информативных параметров, базирующихся на кепстральных коэффициентах линейного предсказания (ККЛП), рассчитываемых на каждом фрейме, на которые разбиваются «ключевые» речевые фрагменты. Применение разработанной системы информативных параметров позволило существенно (более чем на порядок) уменьшить

количество входных параметров (нейронов) искусственной нейронной сети без сколько-нибудь существенного уменьшения процента правильной аутентификации человека.

8. Дальнейшее повышение достоверности определения степени утомления, сонливости и тревоги может быть достигнуто на основе введения контроля этих состояний во время регулярных перерывов в работе диспетчера по состоянию его сердечно-сосудистой системы (с применением портативных электрокардиографов). Оценить состояние сердечно-сосудистой системы диспетчера можно по пульсу и параметрам электрокардиограммы (в частности, по вариабельности сердечного ритма, определяемой по значениям кардиоинтервалов на основе работ Баевского Р.М., Кальниша В.В. и других ученых [4]).

контроль, в совокупности с психофизиологическим предсменным и послесменным психофизиологическим контролем, позволяет судить о тенденции изменения состояния диспетчера. Анализ тенденции изменения ПФС диспетчера в течение рабочей смены и от смены к смене, а также тенденции изменения его психофизиологического ресурса позволяет более обоснованно подходить к вопросам допуска авиадиспетчера на его рабочее место.

### **Пути повышения достоверности работы и быстродействия подсистем СППоР**

#### **Пути повышения достоверности работы и быстродействия подсистем распознавания человека и выявления «ключевых» речевых фрагментов в его непрерывной речи**

1. Для повышения достоверности работы системы поддержки принятия оперативных решений в подсистемах распознавания человека и выявления «ключевых» речевых фрагментах предлагается применять ИНС с несколькими выходами.

При применении ИНС в подсистеме распознавания человека на каждом выходе ИНС рассчитывается вектор размерности  $n$ ,  $i$ -й элемент которого является вероятностным значением того, что процедуру аутентификации проходит конкретный ( $i$ -ый) диспетчер, параметры которого занесены в соответствующую базу данных.

При применении ИНС с несколькими выходами в подсистеме распознавания речевых фрагментов получаем вектор размерности  $n$ , каждый ( $i$ -й) элемент которого есть вероятностное значение того, что поступивший на вход искусственной нейронной сети речевой фрагмент является одним из ключевых (параметры которого занесены в базу данных ключевых речевых фрагментов).

Применение искусственных нейронных сетей с несколькими выходами позволяет ускорить процессы аутентификации и поиска «ключевых» речевых фрагментов в непрерывной речи диспетчера, производя указанные действия одновременно по соответственно нескольким диспетчерам и речевым фрагментам.

Естественно, применение искусственных нейронных сетей с несколькими выходами сопровождается усложнением процесса обучения искусственных нейронных сетей.

2. Еще одним путем повышения достоверности работы и быстродействия системы поддержки принятия оперативных решений является обоснованный выбор параметров искусственных нейронных сетей.

Значения параметров искусственных нейронных сетей рассчитывались в процессе тестирования модулей параметризации и классификации по критерию максимума процента правильно проведенной классификации (процента правильной аутентификации / правильно классифицированных сигналов). Определялись следующие параметры модулей параметризации и классификации: длина фрейма, количество коэффициентов линейного предсказания, примененных при расчете ККЛП, количество ККЛП, количество нейронов в скрытом слое ИНС и количество эпох.

Исследования показали, что существенное влияние на быстродействие системы поддержки принятия оперативных решений оказывает количество нейронов в скрытом слое ИНС – результаты совместного анализа зависимости процента правильной аутентификации и времени проведения классификации от этого параметра свидетельствуют о том, что качество аутентификации незначительно зависит от количества нейронов в скрытом слое, между тем как продолжительность вычислений при увеличении количества нейронов скрытого слоя существенно возрастает.

3. Для обеспечения работы системы поддержки принятия оперативных решений в режиме реального времени (достижение этого режима являлось одной из целей исследований и разработки системы) время обработки сигналов не должно превышать усредненную длительность «ключевых» речевых фрагментов.

На практике была достигнута средняя продолжительность обработки в подсистемах распознавания человека и выделения «ключевых» речевых фрагментов из непрерывной речи на уровне 25 мс, что существенно меньше длительности «ключевых» речевых фрагментов. Это свидетельствует об обеспечении работы системы поддержки принятия оперативных решений в режиме реального времени.

### Пути повышения достоверности работы подсистемы контроля ПФС авиадиспетчера

В соответствии с разработанным методом контроль ПФС предлагается проводить на основе сравнительного анализа контрольных и эталонных информативных параметров, характеризующих отдельные (в первую очередь, гласные) фонемы, входящие в состав «ключевых» речевых фрагментов.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, целью которых являлся анализ параметров, характеризующих речевые фрагменты, с точки зрения их эффективности для определения ПФС, показали, что для повышения достоверности работы системы поддержки принятия оперативных решений целесообразно увеличивать количество анализируемых информативных параметров.

В качестве информативных предлагается применять следующие параметры «ключевых» речевых фрагментов: частоту основного тона и связанные с ней параметры (изрезанность мелодического контура, дисперсия, среднее значение и др.), формантные частоты и их отношения, длительность произнесения «ключевых» речевых фрагментов.

### Выводы

В статье приведены основные составляющие метода повышения достоверности работы и быстрого действия голосовой системы поддержки принятия оперативных решений, применение которых позволило обеспечить функционирование разработанной системы в режиме реального времени при высокой степени достоверности (процент правильной аутентификации выше 98%).

Обоснована структурная схема системы поддержки принятия оперативных решений, описаны информационные технологии, с применением ко-

торых разработан метод, представлены пути повышения достоверности работы и быстрого действия подсистем разработанной системы поддержки принятия оперативных решений.

В соответствии с разработанным методом аутентификация диспетчера по его непрерывной речи сводится к ее проведению по «ключевым» речевым фрагментам, выделенным из непрерывной речи диспетчера. Поиск и выделение из непрерывной речи «ключевых» речевых фрагментов осуществляется с применением введенной в состав системы поддержки принятия оперативных решений специальной подсистемы.

Подсистемы распознавания человека и выявления «ключевых» речевых фрагментов построены на основе методов теории распознавания образов. Предложен новый подход к построению подсистем распознавания человека и выявления «ключевых» речевых фрагментов, основанный на применении ИНС, обоснованном выборе их параметров, а также разработанной системе информативных параметров речевого сигнала.

### Список литературы

1. Рамишвили Г.С. Автоматическое опознавание говорящего по голосу // М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети // 2-е изд. Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
3. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов // М.: Мир, 1978. – 848с.
4. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика // Клиническая информатика и телемедицина. – 2004. – № 1. – С. 54-64

Надійшла до редколегії 16.10.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Козловский, Національний авіаційний університет, Київ.

### МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ АВІАТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В.О. Темніков

*Представлені основні складові методу підвищення швидкодії та достовірності роботи систем підтримки прийняття рішень з управління інформаційною безпекою авіатранспортних підприємств. Застосування розробленого методу дозволило забезпечити функціонування системи підтримки прийняття рішень в режимі реального часу при високому ступені достовірності її роботи.*

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, диспетчер, аутентифікація, психофізіологічний стан, розпізнавання образів, штучна нейронна мережа.

### METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INFORMATION SECURITY MANAGEMENT OF AIR TRANSPORT ENTERPRISES

V.A. Temnikov

*The article presents the main components of the method for improving the speed and reliability of the decision support system for information security management of air transport enterprises. The application of the developed method allowed to ensure the functioning of the decision support system in real time mode with a high degree of reliability of its work.*

**Keywords:** decision support system, air traffic controller, authentication, psychophysiological state, pattern recognition, artificial neural network.