



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014143870/14, 29.10.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.10.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.10.2014

(45) Опубликовано: 10.04.2016 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **ЕПИФАНЦЕВ Б.Н. Скрытая идентификация психофизиологического состояния человека-оператора в процессе профессиональной деятельности, монография, Омск, СибАДИ, 2013, с. 19, 23, 24, 131-132, 145-151, 167-170. RU 2358647 C1, 20.06.2009. RU 2392860 C1, 27.06.2010. RU 2480156 C1, 27.04.2013. WO 2012146957 A1, 01.11.2012. WO 0178598 A1, 25.10.2001. STUIVER (см. прод.)**

Адрес для переписки:

644080, г.Омск, пр-кт Мира, 5, СибАДИ,
патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):

**Епифанцев Борис Николаевич (RU),
Ковальчук Андрей Сергеевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)" (RU)

(54) СПОСОБ СКРЫТОЙ ОЦЕНКИ И МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ОПЕРАТОРА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к медицине, биологии, системам обеспечения безопасности функционирования человеко-машинных систем. Проводят скрытую оценку и мониторинг опасных психофизиологических состояний (ПФС) оператора человеко-машинных систем в процессе профессиональной деятельности (ПД) с учетом сравнения параметров кардиограммы (ЭКГ) при приеме оператора на работу или переаттестации знаний на объекте-имитаторе при выполнении различных видов ПД и на реальном объекте. Вначале параметры оценивают в исходном состоянии - до начала ПД, далее - во время ПД на объекте-имитаторе, далее - на реальном объекте. По результатам сравнения принимают решение о ПФС оператора. Причем регистрацию ЭКГ проводят скрытно от испытуемого. На ЭКГ

выделяют стационарные участки с последующим построением на каждом из них плотностей распределения вероятностей показателей variability сердечного ритма (ВСР). Их принимают за эталоны адекватного ПФС оператора в исходном состоянии и на этапе выполнения типовых задач ПД на объекте-имитаторе. Перед началом ПД на реальном объекте вначале проводят аутентификацию приступающего к работе оператора с одновременной регистрацией его ЭКГ с выделением на ней стационарных участков и построением на каждом из них плотностей распределения регистрируемых на предыдущих этапах показателей ВСР. Определяют степень сходства полученного распределения вероятностей этих показателей на начальном

стационарном участке с распределением-эталонном, полученным ранее в исходном состоянии оператора до начала ПД на объекте-имитаторе. Допуск к работе на реальном объекте осуществляют при соблюдении двух условий: наличия аутентификатора оператора и адекватного ПФС оператора, которое устанавливают, если упомянутая степень сходства распределений вероятностей показателей ВСП превышает заданный уровень. В противном случае допуск оператора к работе на реальном объекте блокируется. В процессе ПД на реальном объекте при регистрации ЭКГ сравнивают

получаемые на каждом последующем ее стационарном участке распределения вероятностей показателей ВСП с соответствующими ранее полученными распределениями-эталонами. Выделяют наиболее близкое к текущему распределение. По нему устанавливают, в каком ПФС в текущий момент находится испытуемый. Если степень сходства распределений не превышает заданного уровня, оператор в неадекватном состоянии - опасном для продолжения ПД. Способ обеспечивает высокую достоверность оценки ПФС оператора в процессе ПД. 4 ил.

(56) (продолжение):

A. et al. Short-term cardiovascular responses to changing task demands// Int J Psychophysiol. 2012 Aug;85(2):153-60, реф. PubMed, найдено [26.05.2015] из Интернет www.pubmed.com.

RU 2579422 CS 2246752

RU 2579422 CS 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014143870/14, 29.10.2014**

(24) Effective date for property rights:
29.10.2014

Priority:

(22) Date of filing: **29.10.2014**

(45) Date of publication: **10.04.2016** Bull. № 10

Mail address:

644080, g.Omsk, pr-kt Mira, 5, SibADI, patentno-informatsionnyj otdel

(72) Inventor(s):

**Epifantsev Boris Nikolaevich (RU),
Kovalchuk Andrej Sergeevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego professionalnogo obrazovaniya "Sibirskaia gosudarstvennaia avtomobilno-dorozhnaja akademiya (SibADI)" (RU)

(54) **METHOD OF HIDDEN EVALUATING AND MONITORING OF HAZARDOUS PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATES OF HUMAN-MACHINE SYSTEM OPERATOR DURING PROFESSIONAL ACTIVITIES**

(57) Abstract:

FIELD: psychophysiology.

SUBSTANCE: perform hidden assessment and monitoring of hazardous psychophysiological conditions (PPC) of human-machine system operator during professional activities (PA) taking into account compared parameters of cardiogram (ECG) when hiring operator or re-evaluating knowledge on object-simulator when performing different types of PA and on the real object. First, parameters are evaluated in initial state - before the beginning of PA, then - during PA on object-simulator, then -on the real object. Based on comparison results the decision on operator`s PPC is taken. Upon that ECG is registered without the knowledge of a person being tested. Stationary sections of ECG are defined with subsequent formation of probability density of heart rate variability (HRV) parameters on each of them. Their are accepted as references of operator`s adequate PPC in the initial state and at the stage of performing standard PA tasks on object-simulator. Prior to PA on the real object perform authentication of operator while simultaneously recording his ECG and separating stationary sections and forming on each of them the distribution density of HRV indices detected at previous stages. Define

degree of similarity of the obtained probability density of these indices at the initial stationary section with standard distribution sample obtained earlier when operator was in the initial state prior to PA on object-simulator. Tolerance to PA at real object is performed under two conditions: presence of operator`s authenticator and adequate PPC which is determined, if the degree of similarity of HRV probability density exceeds the specified level. Otherwise the operator`s permit to work at real object is locked. In process of PA at he real object upon ECG recording the probability density of HRV indices obtained on each following stationary section is compared with appropriate previously received distributions-references. Distribution which is the most close to the current distribution is specified. Based on this distribution PPC is defined in which tested person is currently residing. If the degree of distribution similarity does not exceed the preset level, the operator is in inadequate state - dangerous for PA continuation.

EFFECT: method provides high reliability of operator`s PPC evaluation during PA.

1 cl, 4 dwg

RU 2 579 422 C1

RU 2 579 422 C1

Изобретение относится к системам обеспечения безопасности функционирования человеко-машинных систем и предназначено для предупреждения служб безопасности об опасных психофизиологических состояниях взаимодействующего с системой оператора.

5 Главной причиной нештатных ситуаций в любой человеко-машинной системе является человеческий фактор. Оператор может находиться в неадекватном психофизиологическом состоянии: алкогольное опьянение, чрезмерное возбуждение, в стадии засыпания и др. [Человеческий фактор. В 6-ти томах. Т. 1. Эргономика - комплексная научно-техническая дисциплина / Под ред. Г. Салвенди. - М.: Мир, 1991. 10 - 600 с.].

Известен способ оценки психофизиологического состояния работающего оператора по частоте моргания глаз, которая изменяется при накоплении усталости [http://news.bbs.co.uk/hi/Russian/sci/tech/newsid_2246000/2246943.stm].

15 Недостатком указанного способа является высокая вероятность ложной тревоги и невозможность организации скрытого режима формирования эталонов опасных психофизиологических состояний оператора.

Известен способ распознавания появления усталости работающего субъекта, разработанный компанией Мерседес-Бенц [<http://www.berlinauto.ru/index.php?p=technologies&id=1230>]. Согласно способу непрерывно отслеживаются движения субъекта, 20 и на основе полученных данных моделируется типичное лично для него поведение. Если поведение отличается от полученного в результате моделирования, выдается сигнал, рекомендуемый субъекту отдохнуть.

Основными недостатками способа являются ограниченность идентифицируемых ситуаций (усталость), пригодность для использования в системах одного типа, высокая 25 сложность, необходимость вводить субъекта в опасные для него психофизиологические состояния (например, потребление наркотиков) на стадии обучения системы идентификации.

Известен способ бесконтактного выявления изменений в психофизиологическом состоянии субъекта, основанном на последовательном анализе изображений лиц в 30 дальнем инфракрасном диапазоне оптического спектра [Пат. 2233558 РФ, МПК А61В 5/04. Способ бесконтактного выявления изменений в психологическом состоянии субъекта [Текст] / Виленчик Л.С. и др.].

Недостатками способа является невысокая надежность принимаемых решений и невозможность создания эталонов опасных психофизиологических состояний субъекта.

35 Известен способ оценки психофизиологического состояния человека по сердечному ритму [Пат. 2246251 РФ, МПК А61В 5/00. Способ оценки психофизиологического состояния субъекта по сердечному ритму [Текст] / Годунов В.А. и др.]. В основу способа положена формула оценки индекса стресса по значениям спектральных мощностей в низкочастотной и высокочастотной областях спектра динамического ряда 40 кардиоинтервалов.

Отсутствие интерфейса между указанным индексом и психофизиологическими состояниями субъекта, рассмотренными в [Машин В.А. К вопросу классификации функциональных состояний человека // Экспериментальная психология, 2011, т. 4, №1, С. 40-56], ограничивают возможности применения способа.

45 Из известных технических решений наиболее близким по совокупности признаков к заявленному решению является «Способ оценки и мониторинга психофизиологического состояния оператора по ритму сердца в процессе профессиональной деятельности» [Пат. 2358647 РФ, МПК А61В 5/02. Способ оценки

и мониторинга психофизиологического состояния оператора по ритму сердца в процессе профессиональной деятельности [Текст] / Мокеев В.Д. и др.]. По этому способу предварительно (на стадии обучения) оценивают параметры последовательности кардиоинтервалов субъекта, находящегося в состоянии, принимаемом за «нормальное», в качестве параметров для оценки психофизиологического состояния используют среднюю частоту сердечных сокращений ($\overline{\text{ЧСС}}_i$) и среднеквадратическое отклонение этой частоты от средней (σ_i) при выполнении i -го вида операторской деятельности в том числе и в состоянии покоя ($i=0$). На стадии профессиональной деятельности уровень психофизиологического напряжения ($У$) определяют из соотношения $\overline{\text{ЧСС}}_i / \overline{\text{ЧСС}}_0$, а степень напряжения субъекта оценивают по отклонению текущей частоты ЧСС_t от $\overline{\text{ЧСС}}_i$ в единицах σ_i .

Недостатком известного способа является необходимость выполнения условия: знать, какой из установленных на стадии обучения видов деятельности реализуется оператором на данном отрезке времени профессиональной деятельности. Если регистрируемый процесс характеризуется средней $\overline{\text{ЧСС}}_i$

между i -м и $(i+1)$ состоянием, задача по определению напряжения $У$ становится неопределенной. Кроме того параметры работающего оператора $\overline{\text{ЧСС}}_i$ и σ_i в зависимости от его психофизиологического состояния до начала профессиональной деятельности (прием таблеток, алкоголя, конфликт с начальником и др.) заметно отличаются от принятых за эталонные, полученные на стадии обучения. Поэтому достоверность принимаемых решений не может быть высокой. Ограниченность используемого пространства признаков ($\overline{\text{ЧСС}}_i, \sigma_i$) не позволяет достичь приемлемых вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода.

Целью изобретения является повышение достоверности по оценке психофизиологического состояния оператора в процессе профессиональной деятельности.

Поставленная цель достигается тем, что при приеме оператора на работу или переаттестации знаний скрыто регистрируют кардиограмму в исходном состоянии - до начала деятельности, далее - на объекте-имитаторе при выполнении различных видов профессиональной деятельности выделяют стационарные участки на кардиограмме с последующей оценкой на каждом из них плотностей распределения вероятностей менее 10-ти принятых в медицинской практике показателей variability сердечного ритма и 25-ти дополнительных показателей, полученных оригинальным описанном ниже и проиллюстрированным на фиг. 2 способом, которые принимают за эталоны, описывающие адекватные психофизиологические состояния оператора в исходном состоянии и при выполнении типовых задач предстоящей работы, на этапе профессиональной деятельности на реальном объекте проводят аутентификацию личности приступающего к работе оператора с одновременной скрытой регистрацией его кардиограммы с выделением на ней стационарных участков и построением на каждом из них плотностей распределения вероятностей параметров ВСР, определением степени сходства полученного распределения вероятностей этих показателей на начальном стационарном участке с распределением-эталонном, полученным ранее в исходном состоянии оператора до начала деятельности на объекте-имитаторе, при

этом допуск к работе на реальном объекте осуществляется при соблюдении двух условий: наличия аутентификатора оператора и адекватного психофизиологического состояния оператора, которое устанавливается в случае, если упомянутая степень схождения распределений вероятностей показателей ВСП превышает заданный уровень;

5 в противном случае допуск оператора к работе на реальном объекте блокируется; далее в процессе профессиональной деятельности оператора на реальном объекте при регистрации кардиограммы сравнивают получаемые на каждом последующем ее стационарном участке распределения вероятностей показателей ВСП с соответствующими ранее полученными распределениями-эталоны, выделяют наиболее
10 близкое к текущему распределение, по которому устанавливают, в каком психофизиологическом состоянии текущий момент находится испытуемый, и в случае, если степень схождения распределений не превышает заданного уровня, констатируют нахождение оператора в неадекватном состоянии - опасном для продолжения профессиональной деятельности.

15 Предлагаемый способ поясняется иллюстрациями.

На фиг. 1 представлена временная диаграмма работы системы, реализующей последовательность операций по предлагаемому способу: изменение кардиограммы $C_{1Э}$ во времени на этапе проверки профессиональных навыков оператора в исходном состоянии $C_{0Э}$ и при выполнении различных операций на тренажере $C_{1Э}$, $C_{2Э}$, ..., $C_{NЭ}$
20 (а); моменты времени принятия решений C_P об изменении свойств кардиограммы в точках t_0, t_1, \dots, t_N (б); плотности распределения вероятностей показателей ВСП, т.е. $C_{iЭ}$, до принятия решений в соответствующий момент времени t_i (в); операции г)-и) отражают последовательность работы оператора на реальном объекте, причем $C_A(t)$
25 - функция принятия решения системой на предъявление аутентификатора (пароля, смарт-карты и др.) (г), $C_{iP}(t)$ - изменение кардиограммы в процессе работы (д), $C_P(t)$ - сигналы принятия решений о смене свойств кардиограммы (е), $P(C_{0P})$ - плотность распределения параметра C_{0P} кардиограммы до начала выполнения профессиональной
30 деятельности в момент t'_0 (ж); d - показатель схождения текущего распределения вероятности параметра с одним из его распределений в базе эталонов, U_P - минимальный уровень схождения сравниваемых распределений, ниже которого допуск оператора к работе в системе блокируется (з); $P(C_{1P})$ - плотность распределения вероятностей
35 параметра C_{1P} , характеризующая кардиограмму до появления решения о смене ее свойств в момент времени t'_1 (и).

На фиг. 2 проиллюстрирована идея расширения числа показателей для описания ВСП: R_i, R_{i+1} - i-й и (i+1)-й интервалы сердечных сокращений, $G(M)$ -
40 среднеквадратическое отклонение расстояний между точками от центра выделенного квадрата.

На фиг. 3 приведены экспериментальные одномерные распределения вероятностей показателей ВСП в исходном состоянии оператора «ИС», при потреблении им 30 мг сорокаградусного алкоголя «А», при потреблении «сонной» таблетки «С»: VLF -
45 мощность очень низкочастотных составляющих кардиограммы, LF/HF - отношение мощностей в низкочастотном и высокочастотном диапазоне кардиограммы; C_1 - коэффициент корреляции сдвинутых на один шаг последовательности кардиоинтервалов; Обл. 18 - процент попадания точек с координатами R_i, R_{i+1} в область с номером 18.

На фиг. 4, а, б изображен модернизированный автомобильный тренажер на базе персонального компьютера, который использовался для проверки работоспособности способа в условиях работы испытуемых в ситуациях, имеющих место быть на практике: 1 - имитатор автомобильного руля, 2 - блок имитации автомобильных педалей, 3 - блок имитации рычага переключения передач, 4 - мониторы, 5 - акустическая система, 6 - клавиатура, 7 - системный блок, 8 - холтеровский монитор «Кардиотехника-04-8(М)», 9 - чехол для холтеровского монитора, закрепленный на автомобильном сиденье, 10 - блок связи с холтеровского монитора с ПК.

Обозначенный выше технический результат достигается следующим образом. При приеме на работу или при очередной переаттестации знаний оператору предлагается продемонстрировать навыки работы на объекте-имитаторе или тренажере. В отличие от представленных на рынке тренажеров он дополнительно снабжен датчиком бесконтактной регистрации кардиограммы, позволяющим реализовать режим скрытой идентификации психофизиологического состояния субъекта как на стадии предварительной оценки параметров ВСП, так и в процессе ведения профессиональной деятельности.

Предложено и апробировано несколько технологий дистанционного измерения параметров сердечной деятельности человека. Одна из них основана на использовании кресла со встроенной «электромеханической пленкой» [Annttonen J., Surakka V. Emotions and Heart Rate While Sitting on a Chair // Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. New York, NY: ACM, 2005. pp. 491-493. [Электронный ресурс] - URL: <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1055040>]. Более широко распространена технология лазерной доплеровской виброметрии, основанной на анализе интерференционных картин, формирующихся при освещении кожного покрова лазерным излучением [Habib Tabatabai, David E. Oliver, John W. Rohrbaugh, Christopher Popadopoulos. Novel Applications of Laser Doppler Vibration Measurements to Medical Imaging // Sensing and Imaging: An International Journal, June 2013, V. 14, Is. 1-2, pp. 13-28; Чен М. и др. Лазерные доплеровские виброизмерения физиологических функций: оценка биометрических возможностей // IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2010, 5(3), art. № 5483212, pp. 449-460]. Технология позволяет измерять пульс на расстоянии до 20 м с различных сторон субъекта.

Не менее эффективный метод дистанционного получения информации о состоянии сердечно-сосудистой системы, основанный на анализе видео- и тепловых изображений кожного покрова [Jain U., Tan B., Li Q. Concealed knowledge identification using facial thermal imaging // ICASSP. IEEE International Conference on Acoustics Speech and signal Processing, 2012, March 25-30. Art. № 6288219, pp. 1677-1680; Cross C.B., Shipper J.A., Petkil D.T. Thermal imaging to detect physiological indicators of stress in humans // Conference on Thermosense- Thermal Infrared Applications XXXV, 2013, April 30-May 01, V. 8705, Art. no. 870501. DOI: 10.1117/12].

Учитывая малые размеры устройств, реализующих отмеченные технологии, обеспечение режима скрытого получения информации о состоянии сердечно-сосудистой системы интересующего субъекта не является ограничивающим фактором.

На тренажере (объекте-имитаторе) моделируются типичные ситуации профессиональной деятельности переаттестуемого (принимаемого на работу) оператора. Регистрируемые параметры кардиограммы (один из которых показан на фиг. 1, а) анализируются на стационарность, при нарушении которой формируются сигналы $S_p(t)$ (фиг. 1, б), запускающие процесс формирования эмпирической плотности распределения вероятностей $P(C_{iЭ})$ выбранных параметров $C_{iЭ}$ (фиг. 1, в), принимаемых

за эталонные. Алгоритмы нарушения стационарности известны [Никифоров И.В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. - М.: Наука, 1983. - 200 с.]. Первые из распределений $P(C_{0Э})$ характеризуют состояние оператора до проведения профессиональной деятельности (исходное состояние). Технология создания исходного состояния путем снятия «напряжения перед экзаменом» известна в полиграфии и сводится к формированию так называемых нейтральных вопросов [Варламов В.А. Детектор лжи. - М.: ПЕР-СЭ-Пресс, 2004. - 352 с.]. По завершению экзаменационных испытаний информация о $P(C_{1Э})$ вводится в компьютер объекта управления. На этом процесс обучения завершается, если доступ на объект осуществляется по аутентификатору. Очевидно, эталоны характеризуют изменение напряжения субъекта при выполнении i -го вида деятельности, находясь в психофизиологическом состоянии, признанным экспертом-психологом адекватным.

Перед началом профессиональной деятельности реализуется операция допуска оператора к управляемой системе по аутентификатору, и если допуск состоялся (фиг. 1, г), формируется сигнал $C_A(t)$ (фиг. 1, г). Одновременно скрыто регистрируется кардиограмма оператора (фиг. 1, д) и запускается процесс ее анализа на стационарность. По первому нарушению стационарности (момент t'_0 на фиг. 1, е) завершается построение распределения $P(C_{0P})$, (фиг. 1, ж), отражающего исходное психофизиологическое состояние оператора перед работой. Это распределение сравнивается с аналогичным распределением $P(C_{0Э})$, полученным на стадии обучения. Определяется мера сходства этих распределений d (фиг. 1, з), при превышении ею заданного уровня U_P запускается процесс слежения за психофизиологическим состоянием оператора. При $d < U_P$ его допуск к работе на объекте блокируется с объяснением оператору правдоподобной причины, например, несоответствие аутентификатора зарегистрированному в памяти этого объекта. Фактическая причина несоответствия сравниваемых распределений - нахождение работника в неадекватном состоянии (алкогольное или наркотическое опьянение, прединфарктное состояние, возбуждение перед реализацией намерения незаконного изъятия конфиденциальной информации из компьютера, недопустимый уровень утомления и др.). Иными словами, доступ к работе на объекте управления осуществляется при выполнении двух условий: наличие аутентификатора и нахождение работника в адекватном состоянии.

В процессе выполнения поставленных задач скрыто регистрируются те же параметры $C_{iP}(t)$, что и в процессе обучения (фиг. 1, д), реализуется и алгоритм нахождения моментов времени изменения свойств регистрограммы (фиг. 1, е). Появление первого решения о появлении таких изменений в момент t'_1 , формируется распределение параметров на интервале $t \in t'_1; t'_0$, т.е. $P(C_{1P})$ (фиг. 1, и). Сравнение его с эталонными $P(C_{1Э})$, $P(C_{2Э})$, $P(C_{3Э})$ и т.д. по максимуму сходства d устанавливается, в каком состоянии i в указанный период находился оператор, а по дисперсии σ_i^2 - уровень колебания напряжения нервной системы при выполнении i -го задания.

Для проверки работоспособности предложенного технического решения необходимо прежде всего выбрать параметры (признаки по терминологии теории распознавания образов) кардиограммы, описывающие психофизиологическое состояние субъекта.

Считается, что объективным показателем эмоционального напряжения человека может служить совокупность электрокардиографических параметров [Симонов В.П.

Эмоциональный мозг. - М.: Наука, 1981. - 167 с.]. В 1996 г. Европейским обществом кардиологов и Североамериканским электрофизическим обществом предложены стандарты измерений и интерпретации вариабельности сердечного ритма с рекомендациями по клиническому использованию этого источника информации о состоянии человека [Heart Rate Variability of measurement, physiological interpretation and clinical use // Europlan Heart Journal, 1996, k. 17, pp. 354-381]. В отечественной литературе опыт по исследованию ВСР систематизирован в методических рекомендациях, изложенных в [Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. В помощь практическому врачу. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем. Методические рекомендации // Вестник аритмологии. - 2001. - №24. - С. 65-87]. На сегодняшний день для описания психофизиологического состояния человека по потоку кардиоинтервалов можно использовать индекс напряжения регуляторных систем или стресс-индекс SI, среднеквадратическое отклонение RR интервалов SDNN, среднее значение RR интервалов M, индекс стресса IS, предложенный в [Пат. 2246251 РФ, МПК А61В 5/00. Способ оценки психофизиологического состояния субъекта по сердечному ритму [Текст] / Годунов В.А. и др.], коэффициент корреляции между массивами RR_N и RR_{N+1} C_1 и др. (всего более 20 параметров).

Результаты исследований по созданию систем идентификации психофизиологического состояния субъекта с использованием каждого из перечисленных параметров в отдельности позволили сделать вывод, что все они относятся к классу малоинформативных, т.е. не обеспечивающих приемлемый уровень надежности (вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода) идентификации. Подобная ситуация характерна и для задач биометрической идентификации субъектов по динамике подсознательных движений [Епифанцев Б.Н. Скрытая идентификация психофизиологического состояния человека-оператора в процессе профессиональной деятельности. - Омск, СибАДИ, 2013, 198 с.]. Существующий взгляд на проблему - решение принимать по результатам анализа всей совокупности имеющихся признаков [Ушмаев О.С. Проблемы применения биометрической идентификации в комплексной защите информации // Информационные технологии, 2009, №12, с. 34-38]. Идеологическая основа: каждый признак несет незначительную информацию о психофизиологическом состоянии субъекта, но использование всей совокупности признаков в принципе позволяет получить приемлемые вероятности ошибок 1-го и 2-го рода.

Различные исследователи в своих работах используют от 3-х до 20-ти показателей вариабельности сердечного ритма. При решении задачи идентификации психофизиологического состояния потребовалось увеличить это число. Обратимся к фиг. 2, а, на которой в координатах пар последовательных кардиоинтервалов RR_i и RR_{i+1} отражена реальная картина работы сердца испытуемого в различных психофизиологических состояниях. Для конкретного субъекта изображение кардиограммы в указанных координатах меняет очертания при различных психофизиологических состояниях субъекта.

Для описания изображения подобного вида найдем его центр M_{RR_i} , $M_{RR_{i+1}}$ и разобьем его на 25 областей (фиг. 2, б): от центра отступаем в каждую сторону на величину среднеквадратического отклонения $G(M)$. Пронумеруем области от 1 до 25, процент попадания точек в каждую из них примем за дополнительные признаки.

В процессе исследования регистрировались все признаки, по данным эксперимента строились гистограммы совместного распределения, по критерию χ^2 - Пирсона

определялся вид стандартного распределения, параметры которого принимались за эталонные.

Известно, что число образов, предъявляемых на этапе обучения, должно существенно превышать $20n$, где n - число признаков [Ерош И.Л., Сергеев М.Б., Соловьев Н.В. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности. - СПб.: СПбГУАП, 2005. - 154 с.]. Это означает, что для построения эталона психофизиологического состояния «алкогольное опьянение» испытуемый должен порядка 1000 раз принимать алкоголь.

Чтобы продемонстрировать работоспособность предложенного технического решения, отступим от схемы «оптимального приема сигналов» по терминологии [Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. - М.: Радио и связь, 1983. - 320 с.], упростив следующие операции.

На этапе «обучения» вместо совместного распределения вероятностей значений признаков будем строить одномерные распределения вероятностей для каждого из них. На фиг. 3, а-г приведены примеры нескольких таких распределений ряда параметров в трех психофизиологических состояниях: исходное состояние, принимаемое инструктором за нормальное состояние, после принятия 30 мг сорокоградусного алкоголя, состояние после принятия снотворной таблетки: ИС, А, С.

Сопоставление текущего (их) распределения (й) вероятностей признаков с эталонными можно реализовать несколькими способами. Классический из них основан на получении оценки близости сравниваемых векторов по расстоянию между ними. Наиболее простой является оценка евклидова расстояния

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}$$

где a_i, b_i - значения i -го признака каждого из векторов, каждый из которых в рассматриваемой задаче является моментом сравниваемых распределений вероятностей. Более сложны по конструкции расстояния Махаланобаса, Танимото, Фишера и др.

В другом варианте исполнения способа можно исключить этап построения распределений вероятностей признаков на этапе профессиональной деятельности, а операцию выделения эталонного распределения, наиболее близкого к текущему, заменить операцией выделения эталонного распределения, наиболее адекватно описываемого текущим набором признаков. Для проведения этой операции требуется алгоритм.

Пусть A_j - идентифицируемый признак, H_i - гипотеза, ассоциируемая с идентифицируемым образом, i - номер гипотезы, N - количество гипотез, k - номер реализации идентификационных данных, порождаемых идентифицируемым образом (и описывающих его), j - номер идентификационного признака, n - общее количество признаков, $P(A_j/H_i)$ - апостериорная плотность распределения вероятностей гипотез.

При поступлении k -реализации формируется набор вероятностей $P_k(A_j/H_i)$. Первой гипотезе соответствуют вероятности $P_k(A_1/H_1), \dots, P_k(A_j/H_1), \dots, P_k(A_n/H_1)$, i -ой: $P_k(A_1/H_i), \dots, P_k(A_j/H_i), \dots, P_k(A_n/H_i)$ и т.д. Тогда вероятность гипотезы H_i по всем признакам можно оценить по формуле

$$q_k(H_i) = \sum_{j=1}^n P_k(A_j/H_i) / \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N P_k(A_j/H_i)$$

В простейшем случае решение о номере верной гипотезы i принимается по максимальному значению $q_k(H_i)$. Более продвинутые варианты базируются на статистической теории принятия решений.

5 Второй алгоритм решения задачи строится на модифицированной формуле гипотез Байеса

$$P(H_i / A_j) = P(\Gamma_{ij}) / P(A_j / H_i) / \sum_{i=1}^N P(\Gamma_{ij}) / P(A_j / H_i),$$

10 где $P(\Gamma_{ij})$ - априорные вероятности i -х гипотез при поступлении j -го признака. Если они неизвестны, будем считать

$$P(\Gamma_{ij}) = N^{-1} \text{ при } j=1;$$

$$P(\Gamma_{ij}) = 0,5(P(\Gamma_{ij}) + P(H_i/A_j)), \text{ при } j=2;$$

$$15 P(\Gamma_{ij}) = m^{-1} \sum_{v=j-1}^{j-m} P(H_i / A_v), \text{ при } j>m.$$

При $m=1$ данная формула переходит в классическую формулу Байеса.

Третий алгоритм решения задачи можно построить на общей теореме о повторении опытов. Согласно этой теореме вероятность того, что событие H_i в n независимых опытах
20 появится d раз, равна коэффициенту при z^d в выражении производящей функции:

$$\varphi_n(z) = \prod_{i=1}^n (q_{ij} + p_{ij}z),$$

где $q_{ij} = 1 - p_{ij}$, p_{ij} - вероятность i -й гипотезы при поступлении j -го признака.

25 Коэффициент при z^0 есть вероятность P_{0n} того, что рассматриваемая гипотеза не верна. Тогда с вероятностью $Q_{0n} = 1 - P_{0n}$ она признается справедливой.

Для сравнения перечисленных алгоритмов по обеспечиваемой ими вероятности ошибок идентификации проведен вычислительный эксперимент при следующих условиях:
30 число признаков 7, максимальное число гипотез (психофизиологических состояний - 50, $k=100$).

Параметры генераторов апостериорных вероятностей по каждому признаку определялись исходя из условия: плотности распределения вероятностей $P(A_j/H_i)$ подчиняются нормальному закону. Для генерации значений признаков в соответствии
35 с их распределениями использовался метод разыгрывания случайных величин Монте-Карло.

По результатам исследования сделан вывод, что рассмотренные алгоритмы по сумме вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода примерно одинаковы, и в последующих экспериментах использовался алгоритм на базе модифицированной формулы Байеса.

40 Для каждой гипотезы было сгенерировано по 30000 реализаций. При параметре значимости $\alpha=0,01$ достоверность сделанных выводов о вероятностях идентификации психофизиологических состояний оператора (ИС, А, С) составляет 0,974. Полученное усредненное значение вероятности верной идентификации опасных состояний для группы испытуемых из 20 человек оказалась равной 93,7%.

45 Эксперименты проводились на автомобильном тренажере (фиг. 4) и включали в себя вождение транспортного средства в различных психофизиологических состояниях.

Формула изобретения

Способ скрытой оценки и мониторинга опасных психофизиологических состояний

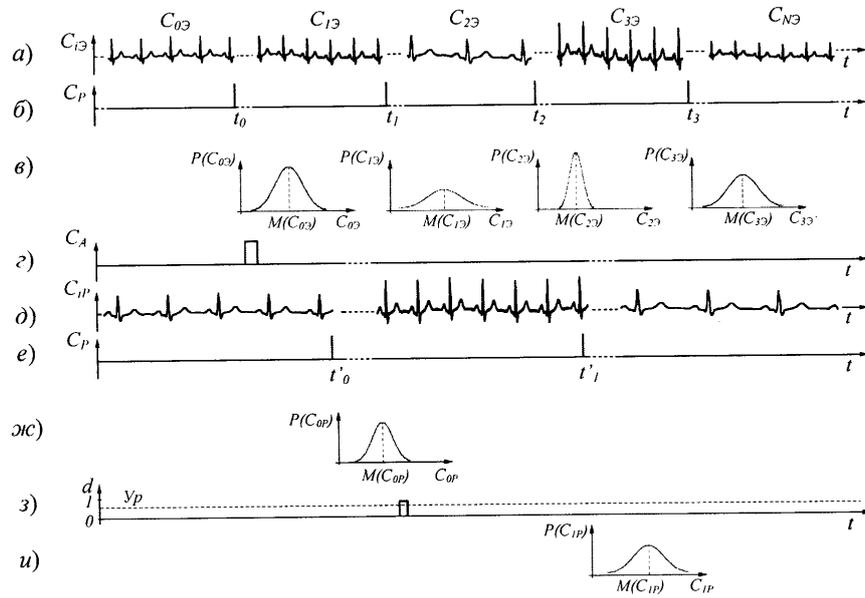
оператора человеко-машинных систем в процессе профессиональной деятельности, основанный на сравнении параметров кардиограммы при приеме оператора на работу или переаттестации знаний на объекте-имитаторе при выполнении различных видов деятельности и на реальном объекте, для чего вначале параметры оценивают в исходном состоянии - до начала деятельности, далее - во время профессиональной деятельности на объекте-имитаторе, далее - на реальном объекте, по результатам сравнения параметров принимают решение о психофизиологическом состоянии оператора, отличающийся тем, что регистрацию кардиограммы проводят скрытно от испытуемого, при этом на кардиограмме выделяют стационарные участки с последующим построением на каждом из них плотностей распределения вероятностей показателей variability сердечного ритма (ВСР), которые принимают за эталоны адекватного психофизиологического состояния оператора в исходном состоянии и на этапе выполнения типовых задач профессиональной деятельности на объекте-имитаторе, при этом перед началом профессиональной деятельности на реальном объекте вначале проводят аутентификацию приступающего к работе оператора с одновременной регистрацией его кардиограммы с выделением на ней стационарных участков и построением на каждом из них плотностей распределения регистрируемых на предыдущих этапах показателей ВСР, определяют степень сходства полученного распределения вероятностей этих показателей на начальном стационарном участке с распределением-эталонном, полученным ранее в исходном состоянии оператора до начала деятельности на объекте-имитаторе, при этом допуск к работе на реальном объекте осуществляется при соблюдении двух условий: наличия аутентификатора оператора и адекватного психофизиологического состояния оператора, которое устанавливается в случае, если упомянутая степень сходства распределений вероятностей показателей ВСР превышает заданный уровень; в противном случае допуск оператора к работе на реальном объекте блокируется;

далее в процессе профессиональной деятельности оператора на реальном объекте при регистрации кардиограммы сравнивают получаемые на каждом последующем ее стационарном участке распределения вероятностей показателей ВСР с соответствующими ранее полученными распределениями-эталонами, выделяют наиболее близкое к текущему распределение, по которому устанавливают, в каком психофизиологическом состоянии в текущий момент находится испытуемый, и в случае, если степень сходства распределений не превышает заданного уровня, констатируют нахождение оператора в неадекватном состоянии - опасном для продолжения профессиональной деятельности.

40

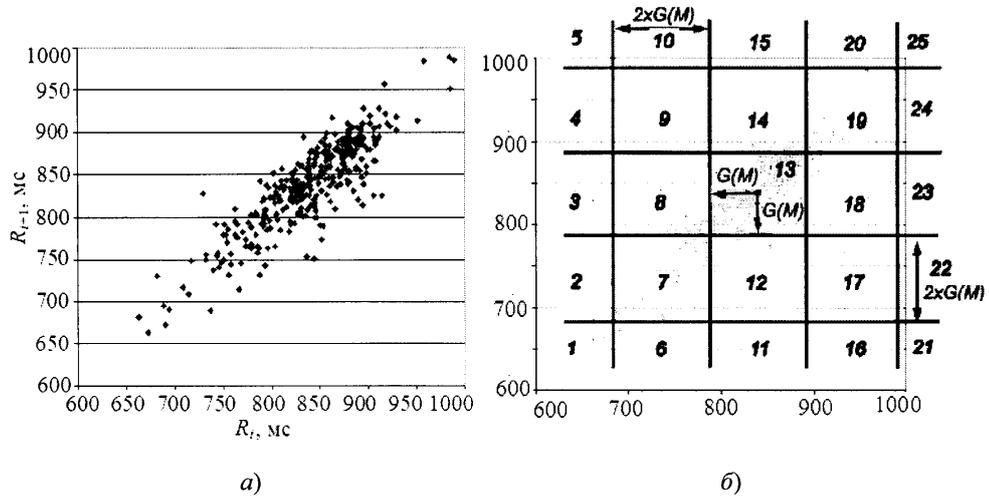
45

Способ скрытого обнаружения опасных психофизиологических состояний оператора человеко-машинных систем в процессе профессиональной деятельности



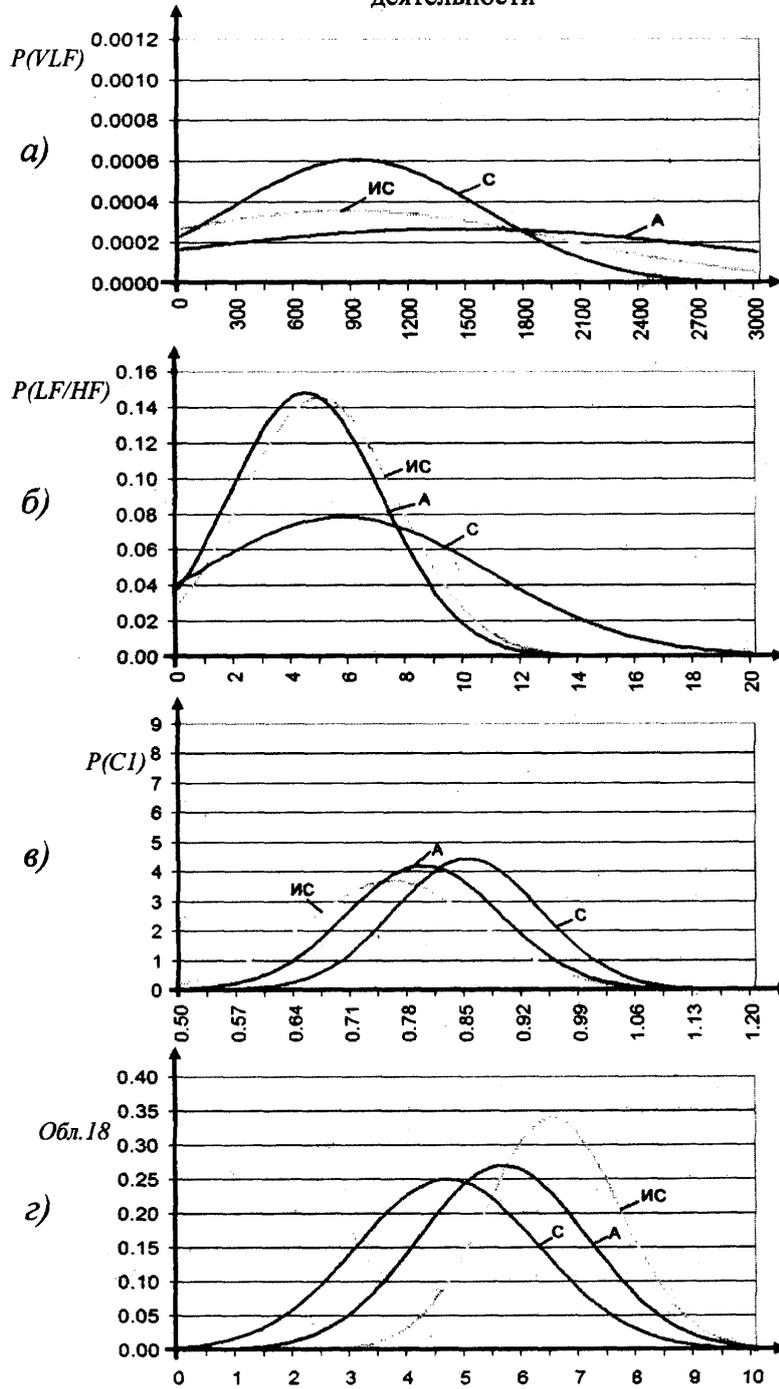
Фиг. 1

Способ скрытого обнаружения опасных психофизиологических состояний оператора человеко-машинных систем в процессе профессиональной деятельности



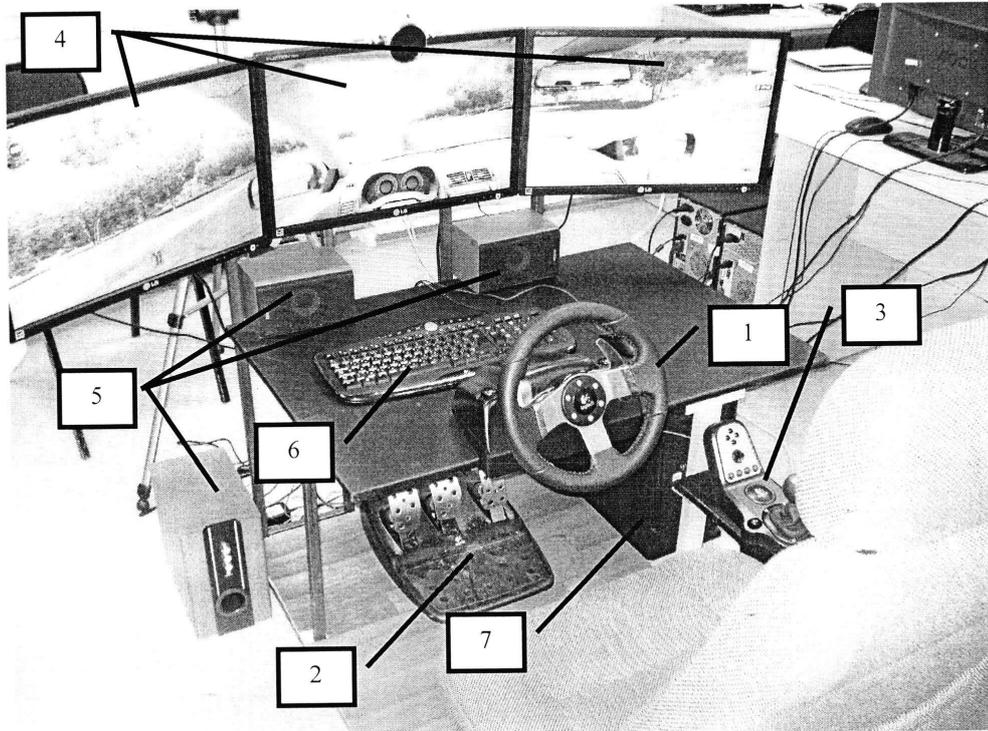
Фиг. 2

Способ скрытого обнаружения опасных психофизиологических состояний оператора человеко-машинных систем в процессе профессиональной деятельности

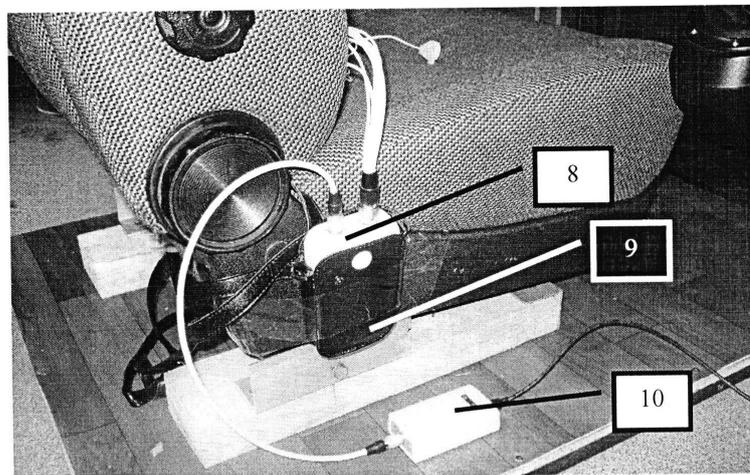


Фиг. 3

Способ скрытого обнаружения опасных психофизиологических состояний оператора человеко-машинных систем в процессе профессиональной деятельности



а)



б)

Фиг. 4