

Распознавание психофизиологических состояний пользователей на основе скрытого мониторинга действий в компьютерных системах¹

Аннотация. Установлено, что признаки голоса, клавиатурного почерка и характера работы субъекта с компьютерной мышью содержат информацию о следующих психофизиологических состояниях оператора: нормальное, усталость, опьянение, возбужденное, расслабленное (сонное). Признаки голоса лучше всего позволяют распознавать усталость или сонное состояние диктора. Клавиатурный почерк, помимо указанных состояний, имеет признаки, характеризующие нормальное состояние оператора. Некоторые особенности работы с мышью содержат информацию о сонном состоянии и состоянии опьянения. Проведен эксперимент по распознаванию состояний на основе стратегии Байеса и нейросетевого подхода, наилучший результат: 5,9% ошибок определения состояния за время мониторинга субъекта до 100 секунд.

Ключевые слова: клавиатурный почерк, биометрический признак, особенности голоса, идентификация психофизиологических состояний, параметр работы с компьютерной мышью.

Введение

Развитие информационных технологий, повышение степени автоматизации и перераспределение функций между человеком и компьютером обострило проблему взаимодействия человека-оператора с системой управления. Анализ текущей ситуации и наблюдаемых тенденций приводит к выводу: доля ошибок, совершаемых человеком, возрастает на фоне повышения надежности машин. Оператор является главным звеном системы «человек-машина», так как он ставит задачи, контролирует процесс функционирования и анализирует результат работы машин. Поэтому контроль психофизиологического состояния (ПФС) оператора является важной задачей [1], однако на данный момент он осуществляется в основном нормативными документами, регламентирующими действия сотрудников. Исследования показали, что функциональные состояния (ФС)

монотонии и психического перенапряжения оператора являются потенциальными источниками снижения эффективности и надежности его деятельности. Работа в состоянии переутомления, эмоционального возбуждения или алкогольного (либо иного) опьянения, вызывает резкое повышение вероятности появления ошибок, связанных с человеческим фактором. Сотрудник неадекватно оценивает свои возможности, снижается его уровень концентрации внимания, происходит ухудшение периферийного поля зрения и искажение восприятия действительности. Только личный негативный опыт влияет на отношение человека к возможности выполнения профессиональной деятельности в неадекватном состоянии, а не уровень его информированности о последствиях и рисках такого действия.

Национальным советом по безопасности на транспорте (США) расследовано 182 инцидента, произошедших с 2001 по 2012 год, в результате усталость назвали их причиной в 20% слу-

¹Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант №16-37-50045.

чаев [2]. Ежегодно в мире от техногенных аварий погибает до 200 тыс. человек и около 120 млн получают травмы. Основной причиной считается «человеческий фактор». Ошибки оператора нередко вызваны опьянением. Установлено, что после принятия даже незначительной дозы спиртного в течение часа реакция замедляется на 30–40% [3].

К последствиям нахождения в неадекватных состояниях (опьянение, психоз, переутомление) относится также увеличение вероятности неумышленной порчи информации и других активов организации собственными сотрудниками [4]. Число крупных инцидентов информационной безопасности, большая часть которых инициирована внутренним нарушителем, в мире постоянно возрастает: 2011 год – 2562, 2012 год – 2989, 2013 год – 3741, 2014 год – 4948, 2015 год – 6853 [4]. Средний ущерб от одного инцидента также растет и исчисляется от сотен тысяч до нескольких миллионов долларов [4].

Таким образом, очевидно, что задача определения психофизиологического состояния оператора, выполняющего профессиональную деятельность крайне актуальна, а ее решение позволит уменьшить влияние человеческого фактора в возникновении и развитии внештатных и аварийных ситуаций, а также количество ошибок при выполнении оператором работы. Требуется комплексный подход к мониторингу сотрудников в процессе профессиональной деятельности, который включает автоматическое определение опасного с точки зрения информационной и производственной безопасности ПФС с возможностью обеспечения скрытости этой операции.

Данное исследование направлено на проверку гипотезы о том, что по данным стандартного оборудования компьютера (клавиатура, мышь, микрофон) можно определить ПФС оператора. Цель работы: оценить идентификационные возможности динамических биометрических признаков голоса, клавиатурного почерка и особенностей работы с манипулятором «мышь» для задач распознавания ПФС субъектов.

1. Краткий анализ способов бесконтактного определения состояний человека

Прежде всего, нужно определиться, что подразумевается под состоянием человека.

Имеется несколько трактовок этого понятия [5]. В данной работе интерес представляют следующие:

1. Функциональное состояние (ФС), которое характеризует эффективность деятельности или поведения человека и возможность выполнить конкретную работу [5]. Диагностика ФС выполняется на основании результатов измерения психофизиологической информации, а также информации о качестве деятельности субъекта. Данный термин часто употребляется в контексте рассмотрения эргатических систем и когда речь идет о производительности труда.

2. Психофизиологическое состояние (ПФС) – совокупность свойств человека, отражающих биологические аспекты проявления адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды и оцениваемых на основании измерения психофизиологической информации.

При определении сущности понятия «состояние человека» разные авторы опираются на различные уровни функционирования человека (физиологический, психологический, психофизиологический). В работе [6] приводятся несколько точек зрения относительно смыслового различия понятий ФС и ПФС. Автор не считает данные понятия тождественными, однако подчеркивает, что они взаимосвязаны, и придерживается термина ПФС. По его мнению, «когда речь идет о функциональных состояниях, имеют в виду уровень функционирования человека в целом или его отдельных функциональных систем (сенсорной, интеллектуальной, моторной), а когда говорят о психических состояниях, то речь идет о качественной специфике реагирования человека на ту или иную ситуацию (без учета уровня функционирования)». Авторы настоящей работы разделяют данную точку зрения и считают, что последнее определение ПФС является предпочтительным с точки зрения решаемых в рамках работы задач и в большей степени подчеркивает психофизиологическую природу распознаваемых состояний.

Приведем краткую справку о достигнутых результатах по рассматриваемому направлению. Созданы основы теории оценки ПФС человека по его физиологическим показателям [7]. Анализ электрокардиограмм субъектов позволил сделать однозначный вывод о связи вариабельности сердечного ритма (ВСР) с ПФС организма [8, 9]. Выявлена тесная связь между показателями ВСР и кратковременными изме-

нениями в психической нагрузке, и предложена трехфакторная модель вегетативной регуляции сердечного ритма, на основании которой определено 8 функциональных классов, описывающих основные и промежуточные ПФС человека в процессе его жизнедеятельности [10].

Обозначились успехи в области скрытого измерения текущих физиологических параметров человека: частоты пульса, артериального давления, кровенаполнения сосудов лица, частоты дыхания, электрокардиограммы и т.д. Известны примеры дистанционного бесконтактного измерения параметров ВСП: с помощью эффекта Доплера и ультразвука, лазерного луча [11, 12], по тепловому видеоизображению [13], по видеоизображению в видимой части спектра [14], методом биорадиолокации [15]. Последний метод основан на модуляции радиолокационного сигнала, отраженного от поверхности тела человека, вызванной перемещением поверхности грудной клетки в такт с дыханием и сердцебиением.

Для оценки ПФС также анализируют тепловое поле человека. Известны работы по использованию тепловизора в качестве «детектора лжи» [16]. В работе [17] достигнут показатель точности более 90% при классификации состояния стресса по тепловому изображению. В работе [18] количество ошибок идентификации трех ПФС (адекватное, усталость, опьянение) 60 субъектов по тепловым изображениям лица составило для различных испытуемых от 0,2 до 2,8%. Результат был зафиксирован в лабораторных условиях.

Основные достигнутые результаты по скрытому определению ПФС человека изложены в монографии [19]. В ней делается ряд выводов об информативности примесей в выдыхаемом воздухе, параметров тремора (движений головы на микроуровне) и изменения температуры лица субъекта для решения задачи распознавания ПФС. Последний класс признаков автор относит к наиболее перспективным. Сделан вывод о невозможности выявления ПФС человека по результатам анализа тремора головы и запястья вытянутой руки в классе таких воздействий как прослушивание музыки, запахи, болевое воздействие, вынужденное произнесение лжи.

Тем не менее, несмотря на обозначившийся прогресс, у существующих методов определения ПФС и ФС имеется проблема: отсутствие возможности проведения скрытой ненавязчивой

проверки без активного вовлечения человека в эту процедуру, что является ограничивающим фактором распространения данных методов.

Как известно, параметры клавиатурного и рукописного почерка, голоса субъекта, работы пользователя с компьютерной мышью относятся к особенностям так называемых подсознательных движений человека [20]. Известно также, что психофизиологическое состояние отражается на особенностях и стабильности воспроизведения подсознательных движений субъектами [21-24]. Авторами работы [21] установлено, что учитывая ПФС при создании эталона и в процессе идентификации субъекта по динамике воспроизведения подписи, количество ошибок идентификации снижается в среднем на 28%, что также говорит в пользу существования информации о ПФС, скрытой в особенностях воспроизведения подсознательных движений субъектами. Позже в работах [22, 23] была показана принципиальная возможность идентификации ПФС в пространстве признаков подписей, использованном ранее для распознавания подписантов.

Известно также, что параметры голоса отражают эмоции человека [25]. В работе [26] вероятность верного распознавания различных эмоций по голосу составила для разных испытуемых от 0,686 до 0,927. Точность верного распознавания агрессии по голосу составляет порядка 90% [27]. Также для распознавания эмоций используются параметры векодвигательной реакции (ВДР): направление и расфокусировка взгляда, движения зрачков, интервалы между морганиями. В работах [28, 29] подтверждается связь векодвигательной реакции и ПФС. Показатель количества правильных решений при детектировании эмоций по ВКР в среднем составляет от 60 до 90% [30].

В доступной литературе не было обнаружено материалов, однозначно подтверждающих либо опровергающих возможность определения ПФС по следующим характеристикам: клавиатурный почерк, параметры голоса, особенности работы пользователя с компьютерной мышью. Измерение указанных признаков может быть осуществлено на стандартном периферийном оборудовании (клавиатура, мышь и встроенный микрофон) скрыто от субъекта, что является существенным преимуществом. Однако результаты работы [24] говорят в пользу подтверждения высказанной гипотезы. Уста-

новлено, что во время нарушения режима доступа к конфиденциальной информации со стороны авторизованных сотрудников вероятность их правильной непрерывной скрытой идентификации по клавиатурному почерку и особенностям работы с мышью снижается. Из этого можно сделать вывод: волнение, связанное с осуществлением противоправных действий, отражается на параметрах воспроизведения подсознательных движений.

2. Формирование базы биометрических образцов субъектов, находящихся в различных психофизиологических состояниях

Выбор критериев, определяющих состояние человека, представляет собой нетривиальную задачу. В настоящем исследовании решено адаптировать (упростить) модель восьми состояний, предложенную в работе [10]. Для изменения психофизиологического состояния испытуемых можно использовать различные лекарственные и иные препараты, воздействие которых на нервную систему хорошо изучено. Для легкого возбуждения нервной системы могут быть использованы адаптогены растительного происхождения: лимонник, элеутерококк, женьшень, золотой корень, родиола. Состояние возбуждения и легкой эйфории может быть вызвано также употреблением кофеина. О переходе в состояние возбуждения свидетельствует учащение пульса. Чтобы ввести испытуемого в расслабленное или сонное состояние, можно воспользоваться естественными растительными средствами (веществами) седативного действия, к которым относится пустырник, мята. Также успокаивающее действие на нервную систему оказывают валериана (в гранулах). Указанные вещества (средства) не вызывают привыкания и существенных побочных эффектов и могут быть безопасно использованы в рамках эксперимента. Предложена модель пяти психофизиологических состояний, потенциально влияющих на вероятность возникновения ошибки при выполнении ответственных заданий.

1. Адекватное (или нормальное) состояние, при котором субъект не подвергался каким-либо воздействиям. Эксперимент проводился в начале рабочего дня. Обязательным условием

было выполнение требования полноценного отдыха в предшествующие сутки.

2. Возбуждение – характерно для человека, сконцентрированного на решении ответственной задачи. Перед началом эксперимента участник выпивал несколько чашек кофе.

3. Усталость (после нагрузки) – возникает в период после выполнения ответственного задания, характеризуется угнетенностью, утомлением. Для получения нужного эффекта испытуемые подвергались интенсивной физической нагрузке (упражнения, бег).

4. Расслабленное состояние, характеризующееся легкой сонливостью, низкой продуктивностью. Участники принимали успокаивающие естественные растительные средства седативного действия, к которым относится пустырник, мята, валериана.

5. Опьянение. Испытуемый принимал алкоголь, дозировка рассчитывалась по формуле Видмарка: $c = A/m \cdot r$, где c – концентрация алкоголя в крови в ‰, A – масса выпитого напитка в граммах, m – масса тела в килограммах, r – коэффициент Видмарка (0,7 – для мужчин, 0,6 – для женщин). Масса выпитого соответствовала такому количеству алкоголя, для которого значение концентрации равняется 0,5 ‰. Данный показатель превышает допустимый уровень концентрации алкоголя для водителей транспортных средств в России, соответствует Методическим указаниям Минздрава и приводит к статистически значимым изменениям ВСР [31]. Сбор биометрических образцов в этом состоянии производился в отдельный день.

Привлечено 60 испытуемых (молодые люди в возрасте от 18 до 25 лет, мужчины и женщины в равном соотношении), каждый из которых, находясь в соответствующем психофизиологическом состоянии, при помощи специально разработанного программного модуля, предъявлял следующие данные, которые сохранялись в типизированные файлы:

- вводил 80 реализаций парольной фразы «система защиты должна постоянно совершенствоваться» на стандартной клавиатуре (сохранялись временные характеристики нажатий клавиш);

- с помощью микрофона Pioneer V-237 производил 15 минутную аудиозапись голоса при произношении произвольного текста (стихотворения, чтение новостных лент);

– осуществлял не менее 300 перемещений курсора мыши между кнопками различных размеров, появляющиеся в случайно определенных областях экрана, испытуемому предлагалось нажимать на данные кнопки (подробней этот процесс описывается в работе [32]), при этом сохранялись координаты траекторий перемещения курсора между кнопками.

Перед началом эксперимента проводилась оценка неврологического статуса испытуемых: состояния высших мозговых функций (настроение, уровень внимания, быстрота и адекватность ответов на вопросы), двигательных функций и координации (точность произвольных движений, способность поддерживать равновесие), чувствительность (наличие болевого синдрома). Неврологический статус всех испытуемых до начала эксперимента оценивался как нормальный. В процессе ввода биометрических данных за испытуемыми осуществлялся холтер-мониторинг частоты сокращений сердечной мышцы (использовался регистратор «Кардиотехника-04»). При изменении ПФС частота сердечных сокращений менялась минимум на 10%.

Полученные файлы в дальнейшем использовались для вычисления биометрических признаков – параметров, характеризующих субъектов и их ПФС. Каждый образец биометрических данных преобразовывался в вектор значений признаков.

3. Пространство биометрических признаков

Для проверки гипотезы о том, что параметры голоса, клавиатурного почерка и работы с мышью характеризуют не только оператора компьютерной системы, но и его ПФС, прежде всего, выявим ряд величин, характеризующих субъекта и вероятно его ПФС.

В работе [33] предложено 2 подхода к выделению признаков голоса: на основе фиксированных фраз и коротких фрагментов произвольной речи. Второй подход показал более приемлемые результаты в задаче распознавания субъектов по голосу при помощи нечетких экстракторов. Кроме того, подход на базе анализа произвольной речи удобнее на практике для распознавания ПФС диктора, так как при этом не нужно запоминать контрольные фразы и не исключается возможность осуществления скрытой от субъекта экспресс-оценки его ПФС.

По этим причинам в настоящем исследовании применен подход к выделению признаков из непрерывной речи. Признаки из работы [33] были дополнены новыми характеристиками.

Аудиозаписи голосов субъектов дискретизированы со следующими параметрами: размер аудиообразца – 8 бит (256 уровней квантования), частота дискретизации ν_d – 8000 Гц. Выбор значения первого параметра обусловлено стремлением минимизировать объем аудиообразца и субъективными оценками аудиентов, которыми распознавались записанные голоса: распознавание было однозначно удовлетворительным, не отличалось от записей с размером аудиообразца 16 бит (65536 уровней квантования). Вторым параметром задавался исходя из диапазона частот занимаемых речевым сигналом (до 4000 Гц), в соответствии с теоремой Котельникова о дискретизации сигнала: дискретное кодирование без потерь для непрерывного сигнала из диапазона до определенной частоты возможно при его дискретизации с удвоенной частотой. Каждая аудиозапись делилась на фрагменты Z_k , которые преобразовывались в векторы значений признаков.

Для вычисления векторов значений признаков исходный дискретный сигнал Y был разбит на интервалы Y_i по 0,025 секунд со сдвигом $\tau_{OT}=0,0125$ секунд. Значение 0,025 секунд объясняется частотой основного тона (ОТ), обусловленной частотой вибраций голосовых связок (80 Гц). Частота ОТ ν_{OT} является наименьшей значимой частотой спектра голосового сигнала $\min(OT)$. Длина интервала выбрана в два раза больше периода $\min(OT)$, чтобы в отдельный интервал поместился минимум один период ОТ. Длина сдвига была равной периоду $\min(OT)$ для более точной локализации во времени изменений обрабатываемого сигнала.

Для каждого сигнала Y_i вычислено количество переходов через нулевой уровень. Для этого от значений отсчетов Y_i был вычтен уровень квантования 128, соответствующий нахождению мембраны микрофона в спокойном состоянии – сформирован сигнал Y_i^{128} , имеющий положительные и отрицательные значения, сумма которых на интервале близка к нулю (не равна строго, так как интервал не содержит точного количества периодов ОТ). Возможно отклонение суммы получаемых отсчетов Y_i^{128} от нуля из-за активного выходящего воздушного давления, отклоняющего мембрану микрофона от

спокойного состояния (звуковые колебания записываются уже на напряженную мембрану). На этот случай сделана поправка – определено его среднее $Y_i^{cp} = \sum_{j=0}^n (Y_{ij}^{128})$, где $n = \tau_{OT} \cdot \nu_D$, которое затем было вычтено (если $Y_i^{cp} > 0$) или добавлено (если $Y_i^{128} < 0$) к значению каждого отсчета сигнала Y_i^{128} . Таким образом, получены центрированные сигналы Y_i^0 . Каждому интервалу Y_i ставилось в соответствие количество переходов сигнала Y_i^0 через ноль – $T0(Y_i)$, вычисляемое по формуле:

$$T0(Y_i) = \sum_{x=1}^n (y(x) = \begin{cases} 1, Y_i^0(x-1) \cdot Y_i^0(x) < 0 \\ 0, Y_i^0(x-1) \cdot Y_i^0(x) \geq 0 \end{cases}), \quad (1)$$

где $n = \tau_{OT} \cdot \nu_D$.

Интервалы Y_i были сгруппированы в массивы, соответствующие фрагментам Z_k исходного 10 минутного сигнала. Каждому Z_k в соответствие ставится гистограмма относительных частот $G_k(T0(Y_i))$ значений $T0(Y_i)$, принадлежащих Z_k . Длительность Z_k подобрана исходя из влияния количества интервалов на сумму $Sum(G_k(T0(Y_i)))$ квадратов разниц столбцов гистограмм, в соответствии с правилом: $Sum(G_k(T0(Y_{i+1}))) - Sum(G_k(T0(Y_i))) < z$, где z – эмпирически определенный коэффициент. Чем выше длительность фрагмента речевого сигнала Z_k , тем точнее вычислялись значения признаков. Однако длительная процедура записи голосового сообщения неудобна для практики, поэтому решено взять $z = 0,03$, при этом длина фрагмента Z_k составляет 9-12 секунд. Совокупность значений столбцов $G_k(T0(Y_i))$ являются признаками k -го голосового образца Z_k .

Следующие использованные признаки – переходы сигнала Y_i^0 через уровень среднего значения модуля уровня сигнала U , характеризующего уровень энергии сигнала. Для каждого Y_i^0 , вычислено $U_i^p = \sum_{x=0}^n (|Y_i^0(x)|)$, где n – количество отсчетов интервала Y_i^0 . Далее для каждого Y_i выполнялось преобразование:

$$TU^p(Y_i) = \sum_{x=1}^n (y(x) = \begin{cases} 1, (Y_i^0(x-1) - U_i^p) \cdot (Y_i^0(x) - U_i^p) < 0 \\ 0, (Y_i^0(x-1) - U_i^p) \cdot (Y_i^0(x) - U_i^p) \geq 0 \end{cases}), \quad (2)$$

где $n = \tau_{OT} \cdot \nu_D$.

Каждому Z_k аналогичным образом ставилась в соответствие гистограмма относительных частот $G_k(TU^p(Y_i))$. Отдельно строились гистограммы $G_k(TU^m(Y_i))$ для переходов сигнала Y_i^0

через отрицательную функцию $U_i^m = -U_i^p$, а также гистограммы $G_k(TU^{pm}(Y_i))$ относительных частот переходов через $+U$ и $-U$, вычисляемых как $TU^{pm}(Y_i) = TU^p(Y_i) + TU^m(Y_i)$.

Количество столбцов гистограмм $G_k(T0(Y_i))$, $G_k(TU^p(Y_i))$, $G_k(TU^m(Y_i))$ и $G_k(TU^{pm}(Y_i))$ влияет на количество признаков, эмпирически было определено и решено использовать по 20 столбцов для каждой гистограммы. Множество значений столбцов гистограмм вместе с коэффициентами корреляции между функциями $T0(Y_i)$ и $TU^p(Y_i)$, а также $TU^{pm}(Y_i)$ и $TU^m(Y_i)$ принималось за вектор значений признаков, характеризующих образ диктора. При непопадании вычисляемых величин в интервал гистограммы, значение соответствующего признака игнорировалось (исключалось из вектора значений признаков), так как в данном случае приравнивать относительную частоту к нулю некорректно. Это происходит по причине недостаточной длины фрагмента (образца) Z_k . Признаки с большим количеством нулевых значений были исключены.

Методы распознавания по клавиатурному почерку основаны на том, что оператор запоминает удачные решения задачи набора текста на клавиатуре путем их многократных повторений [20, 24]. Программа управления мышцами откладывается в подсознательной сфере и реализуется автоматически [20, 24]. В настоящей работе вектор значений признаков клавиатурного почерка формировался непосредственно из регистрируемых временных задержек между нажатием клавиш и длительностей их удержания, аналогично тому, как это производилась в работе [24], (но учитывались все клавиши, а не только часто встречающиеся).

Особенности работы с мышью можно оценить, анализируя траектории передвижения курсора мыши по экрану между элементами интерфейса. За основу методики выделения признаков были взяты подходы из работ [24, 32], однако они были дополнены некоторыми другими характеристиками. Оценить среднее время перемещения курсора мыши между элементами интерфейса предложено при помощи адаптированной для данной задачи формулы (3) закона Фиттса [34]. Закон связывает время движения к наблюдаемой цели с точностью движения и с расстоянием до нее. Фактическое время перемещения должно совпадать с оценкой (3), а в качестве идентификационного при-

знака решено использовать коэффициент b , который легко выражается через:

$$T = b \cdot \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right), \quad (3)$$

где b — величина, зависящая от типичной скорости движения курсора мыши (идентификационный признак), D — дистанция перемещения курсора между элементами интерфейса (в пикселях), W — ширина элемента интерфейса, к которому направляется курсор (в пикселях), T — фактически затрачиваемое время на перемещение курсора, регистрируемое между нажатием на кнопки.

Перед выделением остальных признаков, траектории перемещения курсора мыши между парой элементов интерфейса нормировались аналогично тому, как это выполнялось в работе [32]. Производилось прямое и последующее обратное преобразование Фурье (осуществлялась повторная дискретизация с одинаковой длительностью, равной средней продолжительности масштабируемых сигналов для субъекта) над функциями координат курсора $x(t)$ и $y(t)$, соответствующих отрезку пути между элементами интерфейса. Максимальное зарегистрированное время перемещения курсора между элементами интерфейса составляет чуть менее 2 секунд. Управляющие сигналы движения руки пользователя при работе с мышью имеют преимущественно низкую частоту (0,5-16 Гц). Эти процессы описываются первыми пятью гармониками функций координат $x(t)$, $y(t)$ и скорости перемещения курсора $v_{xy}(t)$ (производная от $x(t)$ и $y(t)$ [32]). Хотя частотный диапазон колебаний курсора мыши шире, информативная частота сосредоточена в диапазоне, соответствующем подсознательным движениям руки пользователя при управлении мышью, остальные гармоники являются шумом. В качестве признаков решено использовать амплитуды гармоник функций $x(t)$, $y(t)$ и $v_{xy}(t)$ после нормировки, описанной выше, в трех вариантах: без дополнительной нормировки, с дополнительной нормировкой по энергии сигналов (вычисляемой как сумма квадратов амплитуд всех гармоник) и с дополнительной нормировкой по энергии и соотношению $\log_2(D/W+1)$, взятому из формулы (3), где D — дистанция перемещения курсора между элементами интерфейса (в пикселях), W — ширина элемента интерфейса, к которому направляется курсор (в пикселях). Также признаками в данной работе являются

энергии сигналов $x(t)$, $y(t)$ и $v_{xy}(t)$, в исходном виде и после нормировки по $\log_2(D/W+1)$.

Кроме того, вычисляются следующие характеристики: отношение длины фактически проделанного пути курсора мыши в пикселях и кратчайшего пути между парой кнопок, и аналогичная величина дополнительно нормируемая по $\log_2(D/W+1)$.

4. Оценка информативности признаков

Под показателем информативности группы признаков в данном исследовании подразумевается совокупность оценок, полученных по двум основным факторам:

1. Средняя величина и разброс значений площадей пересечения функций плотностей вероятности признака, характеризующих различные психофизиологические состояния. Данный фактор характеризует информативность каждого отдельного признака без учета его корреляции с другими признаками.

2. Средняя величина и разброс значений коэффициентов парной корреляционной зависимости признака с другими признаками.

Прежде всего, нужно определить законы распределения исследуемых признаков. Был проведен статистический анализ данных, и на основании метода Хи-квадрат Пирсона определены наиболее близкие законы распределения значений вычисляемых признаков (Табл. 1) для большинства испытуемых, принимавших участие в эксперименте по сбору данных. Проверка осуществлялась как для каждого субъекта в отдельности, так и для всей совокупности значений признаков испытуемых.

Так как число испытуемых и количество биометрических образцов достаточно велико, то в случае, если образцы не содержали бы никакой информации о состоянии испытуемых, функции плотностей вероятности значений всех признаков были бы практически равны (погрешность должна быть минимальна, площадь пересечения указанных функций не должна была превысить 0,98-0,99). Однако полученные результаты говорят об обратном, так как такая картина не наблюдается. Можно видеть, что различные состояния имеют свои наиболее информативные признаки. Признаки голоса наилучшим образом позволяют распознавать усталость или расслабленное (сонное) состояние диктора (Рис. 1). Клавиатурный по-

черк, помимо указанных состояний, также имеет признаки, хорошо характеризующие нормальное состояние оператора (Рис. 2). Некоторые особенности работы с мышью дают значительное количество информации для распознавания опьянения и расслабленного со-

стояния (Рис. 3). Наименьшее влияние на все биометрические образы оказывает усталость после физической нагрузки, однако имеется небольшое количество признаков, все же характеризующих данное состояние.

Табл.1. Биометрические признаки субъектов

№	Краткое описание группы признаков	Ближние законы распределения
1.1.	Характеристики интегральной частоты фрагментов речевого сигнала (нулевой форманты), а также интегральной частоты переходов речевого сигнала через огибающую энергии	Нормальный, экспоненциальный (реже логнормальный)
1.2.	Частотные характеристики уровня положительного и отрицательного давления.	Нормальный, экспоненциальный (реже логнормальный)
1.3.	Коэффициенты корреляции характеристик интегральной частоты сигнала и переходов речевого сигнала через огибающую энергии, а также частотных характеристик уровня положительного и отрицательного давления	Нормальный
2.1.	Временные задержки удержания клавиш	Нормальный
2.2.	Временные задержки между нажатием клавиш	Нормальный или логнормальный
3.1.	Амплитуды первых пяти низкочастотных гармоник функций координат и скорости перемещения курсора по экрану между элементами интерфейса (в том числе нормированных по энергии и другим параметрам)	Логнормальный (реже нормальный)
3.2.	Величина, зависящая от типичной скорости движения курсора мыши, вычисляемая по формуле (5).	Логнормальный
3.3.	Энергии функций координат и скорости перемещения курсора по экрану (в том числе нормированные по некоторым параметрам)	Логнормальный
3.4.	Отношение длины фактически проделанного пути курсора мыши в пикселях и кратчайшего пути между элементами интерфейса	Логнормальный

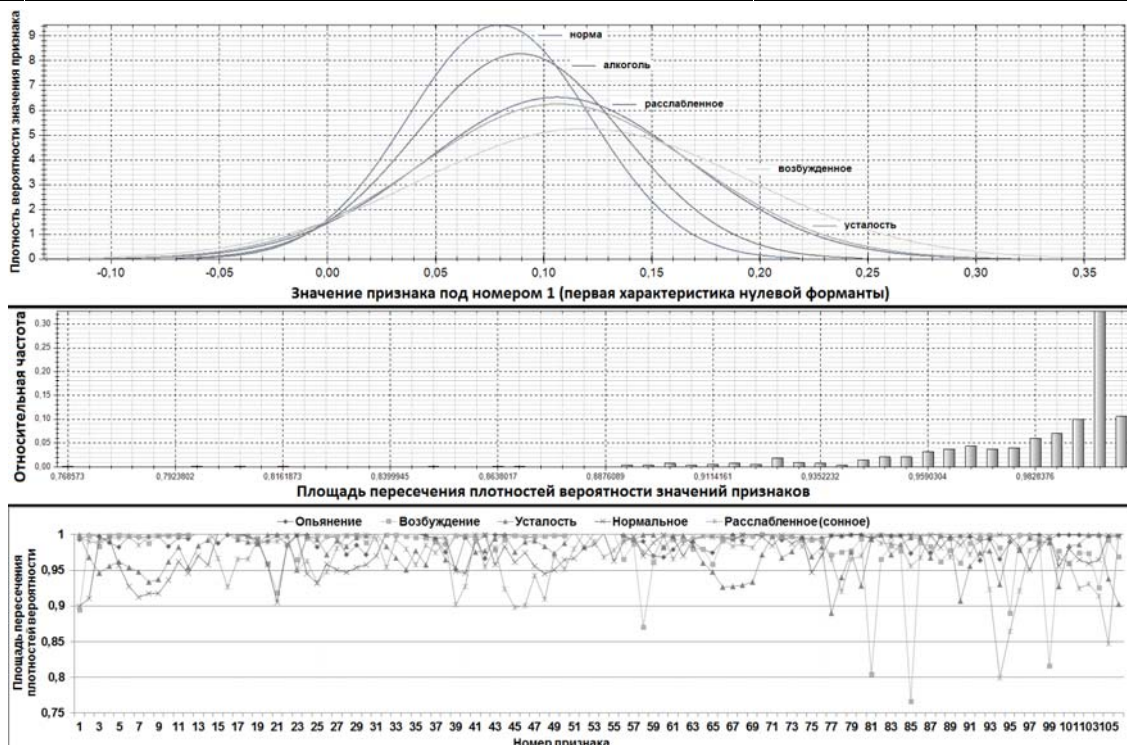


Рис.1. Субъект-независимая оценка информативности признаков голоса через площади пересечения плотностей вероятности признаков, характеризующих исследуемые состояния для всех испытуемых одновременно

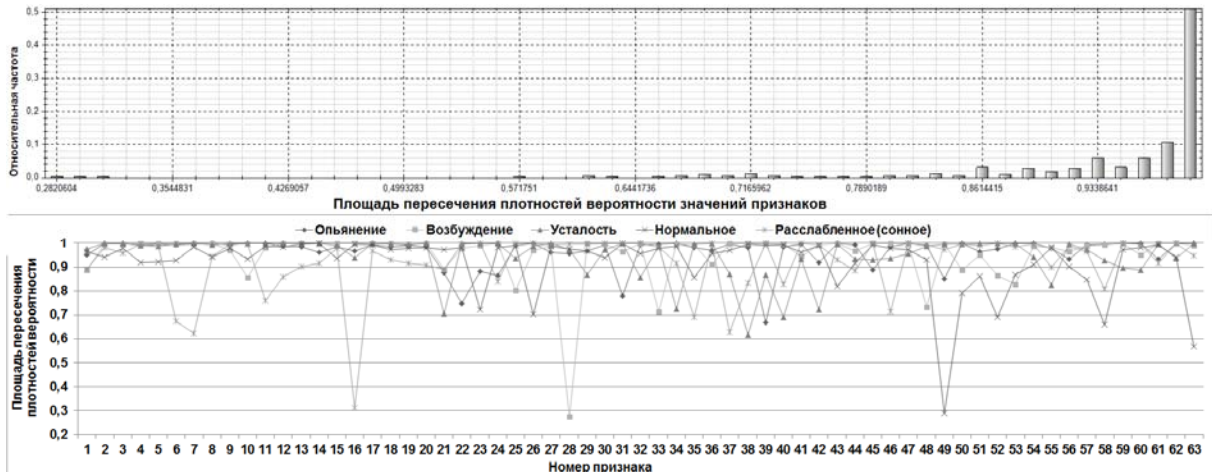


Рис.2. Субъект-независимая оценка информативности признаков клавиатурного почерка через площади пересечения плотностей вероятности признаков, характеризующих исследуемые состояния для всех испытуемых одновременно

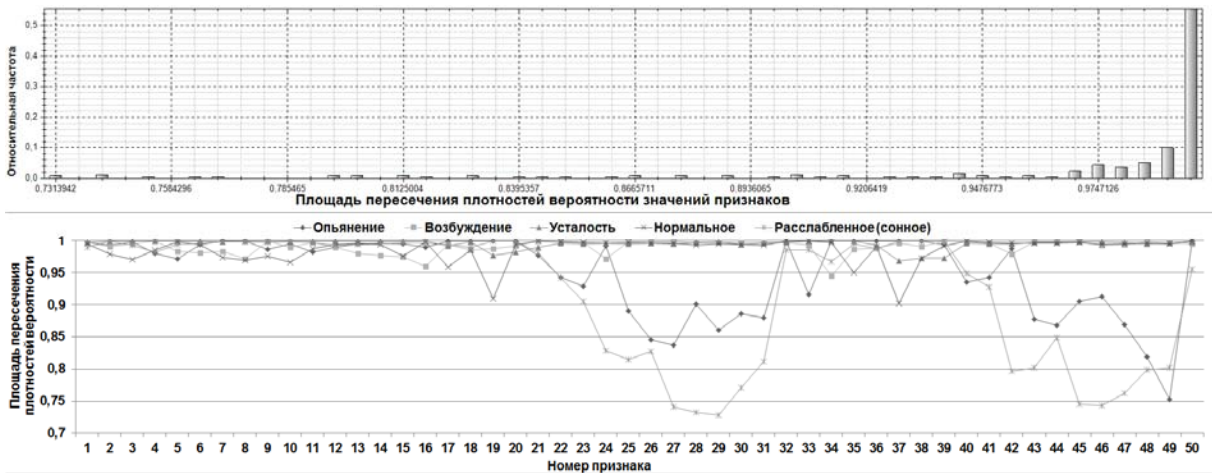


Рис.3. Субъект-независимая оценка информативности признаков, характеризующих работу с мышью, через площади пересечения плотностей вероятности признаков, характеризующих исследуемые состояния для всех испытуемых одновременно

Площадь пересечения функции плотности вероятности признака, характеризующая одно из ПФС испытуемого, с аналогичными плотностями, характеризующими другие ПФС данного испытуемого, является суммой вероятностей ошибок 1-ого и 2-ого рода, т.е. вероятностью ошибочного распознавания данного ПФС этого испытуемого по данному признаку. Необходимо прояснить следующий вопрос: вызваны ли изменения значений признаков, вычисляемых по биометрическим данным, полученным от субъектов, находящихся в разных ПФС, именно изменением состояний субъектов, а не кратковременными изменениями динамических биометрических признаков, не зависящими от

смены состояния. Для этого по данным всех испытуемых были построены функции плотностей вероятности признаков, характеризующие 5 классов образов, соответствующих исследуемым ПФС (Рис. 1-Рис. 3).

Взаимная корреляционная зависимость признаков голоса, а также клавиатурного почерка является слабой по шкале Чеддока (коэффициент корреляции по модулю менее 0,3) или отсутствует (менее 0,1) в более 90% случаев (Рис. 4). Корреляция между признаками работы с мышью более чем в 50% случаев умеренная, заметная или высокая. В целом информативность особенностей работы с мышью гораздо ниже, чем других признаков.

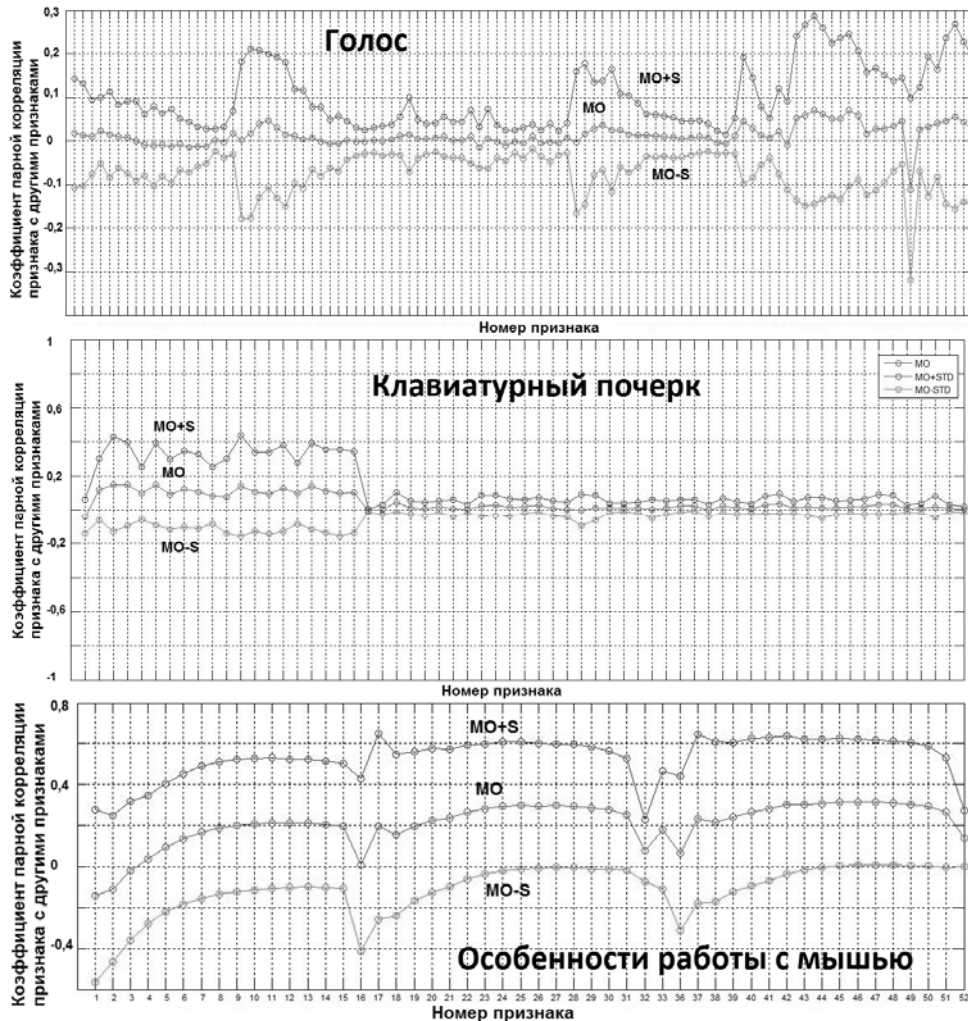


Рис.4. Средние коэффициенты парной корреляции между признаками для различных субъектов МО и разброс их значений (стандартное отклонение S)

Субъект-независимое распознавание пяти состояний вряд ли возможно реализовать с приемлемыми для практики показателями ошибок (по крайней мере, в пространстве рассматриваемых признаков), так как площади пересечения плотностей вероятности большинства признаков значительны. Поэтому предлагается перейти к субъект-зависимому распознаванию пяти состояний, т.е. распознаванию ПФС каждого испытуемого отдельно.

5. Оценка надежности субъект-зависимых методик идентификации ПФС

При разработке метода распознавания ПФС целесообразно ориентироваться на биометрические системы идентификации личности и

апробировать методики формирования решений, используемые в данных системах. Интегральные оценки близости предъявляемого на этапе идентификации образца к эталонам ПФС можно получить путем многократного применения правила Байеса [21-26] за некоторое число шагов, равное количеству признаков. Известны варианты модификации данного способа, в частности с использованием формулы (4) [21, 24, 35, 36], вместо классической формулы Байеса. Каждому эталону ставится в соответствие гипотеза. На каждом шаге по формуле (4) рассчитываются апостериорные вероятности гипотез с учетом значения одного из признаков, при этом за априорную вероятность гипотезы принимается ее апостериорная вероятность, вычисленная на предыдущем шаге. На первом шаге все гипотезы равновероятны $P(H_i|A_0)=n^{-1}$, где n – количество гипотез. На последнем шаге предпочтение

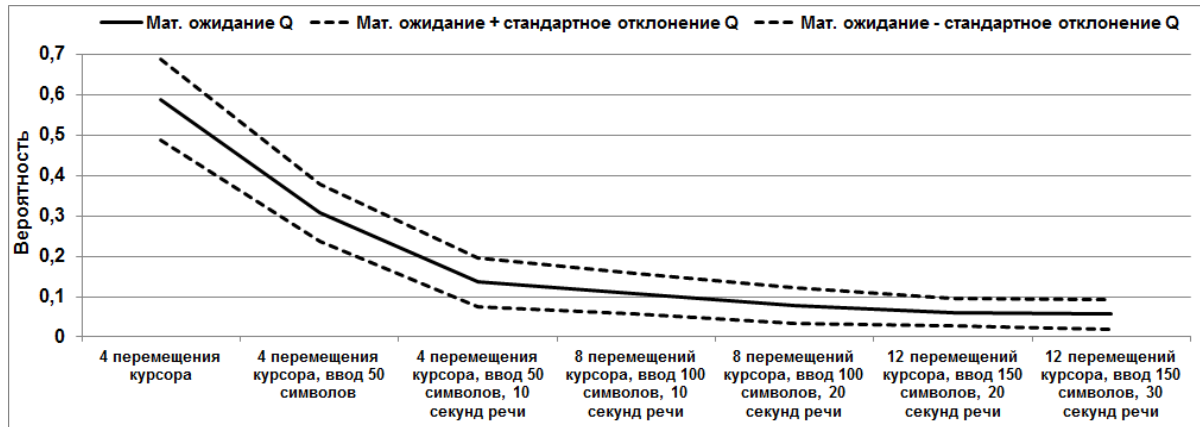


Рис.5. Средняя вероятность ошибок идентификации пяти состояний и разброс их значений для различных субъектов по данным непрерывного мониторинга стандартного оборудования длительностью 60-100 секунд

отдается гипотезе с максимальной апостериорной вероятностью:

$$P(H_i | A_j) = P(H_i | A_{j-1}) + \left(\frac{P(H_i | A_{j-1})P(A_j | H_i)}{\sum_{i=1}^n P(H_i | A_{j-1})P(A_j | H_i)} - P(H_i | A_{j-1}) \right) \times (w_j), \quad (4)$$

где $P(H_i | A_j)$ – апостериорная вероятность i -й гипотезы, вычисляемая на j -м шаге при поступлении j -го признака; $P(A_j | H_i)$ – условная вероятность i -й гипотезы на j -м шаге (равна плотности вероятности признака A_j , полученной из параметров i -ого эталона); w_j – вес j -го признака, характеризующий его информативность.

Вес признака может определяться разными способами (например, исходя из площадей пересечения плотностей вероятности его значений для различных образов, как в [21, 35, 36]), но должен принадлежать интервалу (0; 1). При $w_j=1$ получим классическую стратегию Байеса. В таком варианте Байесовский классификатор часто называют «наивным», так как предполагается, что признаки статистически независимы (что на практике чаще всего оказывается не так). Тем не менее, в ряде случаев он работает хорошо. В настоящем исследовании решено апробировать традиционный вариант ($w_j=1$) [22, 23] и модифицированный из работ [21, 24, 35, 36].

Проведен вычислительный эксперимент по идентификации ПФС на базе модели пяти состояний. Образцы биометрических данных были преобразованы в векторы значений признаков. Формировались эталоны психофизиологических

состояний каждого субъекта в отдельности, для каждого эталона использовалось по 21 образцу биометрических данных (количество образцов для создания эталона решено сделать аналогичным тому, сколько образцов данных «Свой» требуется для обучения нейронных сетей в ГОСТ Р 52633.5-2011). Оставшиеся векторы значений признаков подавались на вход алгоритма идентификации. Далее для каждой методики принятия решений подсчитывалось общее количество ошибок идентификации и число ошибок на каждого субъекта. За ошибку принималась ситуация, при которой рассчитываемое значение меры близости не являлось наивысшим для эталонного описания ПФС, которому принадлежал входной образ. Вероятность ошибки Q вычислялась как отношение количества ошибок к числу соответствующих опытов. Наилучший результат получен при $w_j=1$ и представлен на Рис. 5.

При увеличении количества признаков вероятность ошибок идентификации состояний классической стратегией Байеса интенсивно снижается (Рис. 5). Увеличение длины вектора значений признаков производилось пока объем выборки позволял получить высоко достоверные результаты (доверительную вероятность 0,99 при доверительном интервале 0,01).

6. Оценка надежности субъект-зависимых методик верификации ПФС

В биометрии используется подход на базе искусственных нейронных сетей и алгоритма их обучения ГОСТ Р52633.5-2011. Стандарт

описывает первый не итерационный абсолютно устойчивый алгоритм обучения сетей персептронов с детерминированным вычислением весов нейронов на основе параметров распределения значений признаков. Рекомендуется использовать однослойные или двухслойные нейронные сети (большее количество слоев считается избыточными). Процесс обучения подробно описан в указанном стандарте. По требованиям стандарта для обучения сети требуется не менее 21 образца данных «Свой» и 64 независимых образца данных «Чужой», т.е. 64 образца от разных субъектов. Количество независимых образцов в решаемой задаче определяется числом распознаваемых ПФС – 5, чего явно не достаточно. По этой причине в рамках поставленной задачи использовать алгоритм ГОСТ Р 52633.5 проблематично, как и итерационные алгоритмы обучения (из-за проблем тупиков, заикливания и т.д.). Обучение сети на зависимых биометрических образцах не привело к положительным результатам. Поэтому решено использовать однослойные сети метрик (5) и (6): сети Пирсона-Хемминга [37] и Хи-модуль-сети [37]. Для каждого нейрона устанавливается пороговое значение активации. Оптимальное пороговое значение подбирается эмпирически, исходя из произведения $\theta = \chi_{\max} \cdot a_1$, где χ_{\max} – это максимальное значение функционала при поступлении на вход обучающих примеров образа ПФС, a_1 – стабилизирующий коэффициент, экспериментально подбираемый для каждого пространства признаков. При превышении порога нейрон выдает единицу («1»), иначе нуль («0»). Исходя из количества единиц, можно принимать решение о подтверждении ПФС субъекта:

$$\chi_i = \sum_{j=1}^m \frac{(M(a_j) - a_j)^2}{\sigma(a_j)^2}, \quad (5)$$

$$\chi_i = \sum_{j=1}^m \frac{|M(a_j) - a_j|}{\sigma(a_j)}, \quad (6)$$

где a_j – значение j -го признака; $M(a_j)$ и $\sigma(a_j)$ – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение его значений; m – количество признаков, поступающих на вход функционала (его размерность).

Метрика Пирсона (5) является квадратичной формой, не учитывающей корреляционные связи между признаками. Классическая квадратичная форма предполагает обращение корреляци-

онных (ковариационных) матриц (размерность матрицы равна количеству признаков). На практике обращение этих матриц затруднительно, если их размерность оказывается выше пяти, так как возникает эффект «проклятия размерности» [38]. Поэтому можно использовать сети малоразмерных квадратичных форм или иных высокомерных функционалов, не учитывающих корреляционные связи. В ряде задач биометрической аутентификации эти сети показывают достаточно высокие результаты [39].

Проведен аналогичный вычислительный эксперимент по верификации ПФС однослойными сетями Пирсона-Хемминга и Хи-модуль-Хемминга (Хи-модуль-сетями). Объем обучающей выборки был аналогичным. Подсчитывалось количество ошибок 1-го и 2-го рода, т.е. ошибочного не определения ПФС и ошибочного определения ПФС. Вероятность ошибки определенного рода вычислялась как отношение количества ошибок к числу соответствующих опытов. Вероятность ошибки любого рода равна половине суммы вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода. В ходе эксперимента изменялось количество нейронов и их входов для всех сетей. По результатам эффект от комплексирования независимых групп признаков менее ощутимый, чем в случае использования стратегии Байеса для идентификации ПФС (Рис. 6).

Заключение

Установлено, что признаки голоса, клавиатурного почерка и характера работы субъекта с компьютерной мышью содержат информацию о следующих ПФС: нормальное, усталость, опьянение, возбужденное, расслабленное (сонное). Имеющаяся база признаков насчитывает достаточное количество образцов, чтобы сделать заключение: отличия плотностей вероятности признаков субъекта для разных состояний слишком существенны, поэтому не могут быть вызваны кратковременными изменениями динамических биометрических признаков или погрешностью измерений. Показано, что информативность признаков характера работы с мышью гораздо ниже, в сравнении с признаками клавиатурного почерка и голоса. Признаки голоса лучше позволяют распознавать усталость или сонное состояние диктора. Клавиатурный почерк, помимо указанных признаков, имеет признаки, характеризующие нормальное

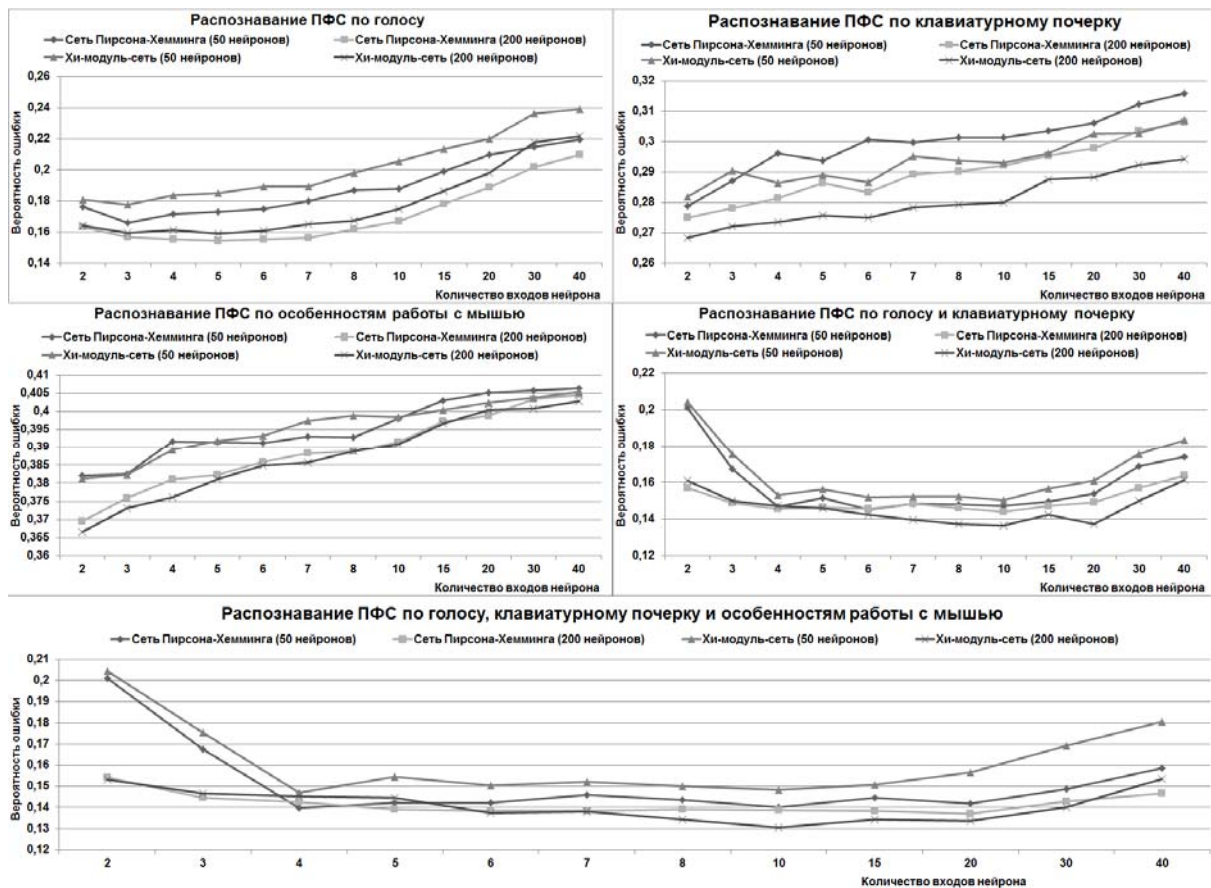


Рис. 6. Итоговая вероятность ошибок верификации пяти состояний для различных субъектов

состояние оператора. Некоторые особенности работы с мышью содержат информацию о сонном состоянии и состоянии опьянения. Сделан вывод: субъект-независимое распознавание ПФС в пространстве рассматриваемых признаков не удастся осуществить с приемлемыми показателями ошибок. Получены следующие результаты субъект-зависимой верификации пяти состояний:

- по голосу с использованием сети Пирсона-Хемминга с количеством нейронов 200 и их входов 6 с вероятностями ошибок 1-го и 2-го рода 0,144 и 0,164;
- по клавиатурному почерку с использованием Хи-модуль-сети с количеством нейронов 200 и их входов 2 с вероятностями ошибок 1-го и 2-го рода 0,398 и 0,137;
- по особенностям работы с мышью с использованием Хи-модуль-сети с количеством нейронов 200 и их входов 2 с вероятностями ошибок 1-го и 2-го рода 0,182 и 0,55;
- по голосу и клавиатурному почерку с использованием Хи-модуль-сети с количеством

нейронов 200 и их входов 10 с вероятностями ошибок 1-го и 2-го рода 0,14 и 0,132;

- по всем рассматриваемым признакам с использованием Хи-модуль-сети с количеством нейронов 200 и их входов 10 с вероятностями ошибок 1-го и 2-го рода 0,132 и 0,128.

Получены следующие вероятности ошибки любого рода субъект-зависимой идентификации пяти состояний на основе классической стратегии Байеса: 0,135, 0,078 и 0,059 за ориентировочное время мониторинга субъекта не более 35, 70 и 100 секунд соответственно.

Литература

1. Машин В.А. Психическая нагрузка, психическое напряжение и функциональное состояние операторов систем управления// Вопросы психологии, 2007. № 6. С. 86-96.
2. Marcus J.H., Rosekind M.R. Fatigue in transportation: NTSB investigations and safety recommendations. Injury Prevention. 2016. doi: 10.1136/injuryprev-2015-041791.
3. Лужников Е.А. Клиническая токсикология. М.: Медицина, 1994. 256 с.

4. The Global State of Information Security® Survey 2016. [Электронный ресурс]. PricewaterhouseCoopers. (<http://www.pwc.com/gx/en/issues/cyber-security/information-security-survey/download.html>, дата обращения: 27.06.2016).
5. Богомолов А.В., Гридин Л.А., Кукушкин Ю.А., Ушаков И.Б. Диагностика состояния человека: математические подходы. М.: Медицина, 2003. 464 с.
6. Ильин Е.П. Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005. 412 с.
7. Cacioppo J.T., Tassinary L.G., Berntson G. Handbook of Psychophysiology. 3rd Edition. Cambridge university press, 2007. P. 433-452.
8. Bayevsky R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V. HRV Analysis under the usage of different electrocardiography systems (Methodical recommendations). Committee of Clinic Diagnostic Apparatus and the Committee of New Medical Techniques of Ministry of Health of Russia, 2002. V. 4. P. 2-67.
9. Malik M., Bigger J.T., Camm A.J. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. European Heart Journal, 1996. Vol. 17 (3). P. 354-381.
10. Машин В.А., Машина М.Н. Классификация функциональных состояний и диагностика психоэмоциональной устойчивости на основе факторной структуры показателей вариабельности сердечного ритма// Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова, 2004. Т. 90(12). С. 1508-1521.
11. Shi Ping, Vicente Azorin P., Echiadis A. Non-contact Reflection Photoplethysmography Towards Effective Human Physiological Monitoring. Journal of Medical and Biological Engineering, 2009. Vol. 30(3). P. 161-167.
12. Habib Tabatabai, David E. Oliver, John W. Rohr-baugh, Christopher Popadopoulos. Novel Applications of Laser Doppler Vibration Measurements to Medical Imaging. Sensing and Imaging: An International Journal, 2013. Vol. 14(1-2). P.13-28.
13. Jing B, Li H. A novel thermal measurement for heart rate. Journal of Computers, 2013. Vol. 8(9). P. 2163-2166.
14. Zhao F. Li M., Qian Y., Tsien J.Z. Remote Measurements of Heart and Respiration Rates for Telemedicine. PLoS ONE, 2013. Vol. 8(10).
15. Sun Y., Yu X., Berilla J. An innovative non-invasive ECG sensor and comparison study with clinic system. Proceedings of the IEEE Annual Northeast Bioengineering Conference, NEBEC, 2013, April 5-7. Art. no. 6574408. P. 163-164.
16. Jain U., Tan B., Li Q. Concealed knowledge identification using facial thermal imaging. Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2012, March 25-30. Art. no. 6288219. P. 1677-1680.
17. Carl B. Cross; Julie A. Skipper, Petkie D. Thermal imaging to detect physiological indicators of stress in humans. Proceedings of SPIE. Vol. 8705. doi:10.1117/12.2018107.
18. Ложников П.С., Сулавко А.Е., Толкачева Е.В., Жумажанова С.С. Распознавание водителей и их функциональных состояний по обычному и тепловому изображениям лица// Труды научно-технической конференции кластера пензенских предприятий, обеспечивающих безопасность информационных технологий. Пенза, 2016. Т. 10. С. 63-65.
19. Епифанцев Б.Н. Скрытая идентификация психофизиологического состояния человека-оператора в процессе профессиональной деятельности: монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2013. 198 с.
20. Васильев В.И., Ложников П.С., Сулавко А.Е., Еременко А.В. Технологии скрытой биометрической идентификации пользователей компьютерных систем (Обзор)// Вопросы защиты информации. М.: Изд-во ФГУП «ВИМИ», 2015. №3. С. 37-47.
21. Lozhnikov P.S., Sulavko A.E., Samotuga A.E. Personal Identification and the Assessment of the Psychophysiological State While Writing a Signature. Information, 2015. № 6. P. 454-466.
22. Епифанцев Б.Н., Ложников П.С., Сулавко А.Е., Жумажанова С.С. Идентификационный потенциал рукописных паролей в процессе их воспроизведения// Автометрия, 2016. №3. С. 28-36.
23. Сулавко А.Е., Еременко А.В., Левитская Е.А., Смотуга А.Е. Идентификация психофизиологических состояний подписантов по особенностям воспроизведения автографа// Информационно-измерительные и управляющие системы, 2017. №1. С. 40-48.
24. Сулавко А.Е., Еременко А.В., Левитская Е.А. Разграничение доступа к информации на основе скрытого мониторинга действий пользователей в информационных системах: портрет нелояльного сотрудника// Известия Трансиба. Омск: Изд-во ОмГУПС, 2015. № 1(21). С. 80-89.
25. Ayadi M. El., Kamel M.S., Karray F. Survey on speech emotion recognition: Features, classification schemes, and databases. Pattern Recognition, 2011. Vol. 44(3). P. 572-587.
26. Ткаченко А.В., Давыдов А.Г., Киселёв В.В., Хитров М.В. Классификация эмоционального состояния диктора с использованием метода опорных векторов и критерия Джини// Известия ВУЗов. Приборостроение, 2013. Т. 56(2). С. 61-66.
27. Давыдов А.Г., Киселёв В.В., Кочетков Д.С. Классификация эмоционального состояния диктора по голосу: Проблемы и решения// Труды международной конференции «Диалог 2011». М.: РГТУ, 2011. С. 178-185.
28. Orden K.F., Jung Tzyy-Ping, Makeig S. Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. Biological Psychology, 2000. № 52. P. 221-240.
29. Захарченко Д.В., Дорохов В.Б. Изменение отдельных параметров зрительно-моторных реакций под действием алкоголя// Экспериментальная психология, 2012. №2. С. 5-21.
30. Князев Б.А., Гапанюк Ю.Е. Распознавание аномального поведения человека по его эмоциональному состоянию и уровню напряженности с использованием экспертных правил. Инженерный вестник, 2013. №3. С. 509-523.
31. Mascord, D.J. & Heath, R.A. Behavioral and physiological indices of fatigue in a visual tracking task. Journal of Safety Research, 1992. Vol. 23. P. 19-25.
32. Борисов Р.В., Зверев Д.Н., Сулавко А.Е., Писаренко В.Ю. Оценка идентификационных возможностей особенностей работы пользователя с компьютерной мышью// Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии СибАДИ. Омск: Изд-во СибАДИ, 2015. № 5(45). С. 106-113.
33. Сулавко А.Е., Еременко А.В., Борисов Р.В. Генерация криптографических ключей на основе голосовых сообщений// Прикладная информатика. М.:Изд-во НОУ ВПО МФПУ «Синергия», 2016. № 5. С.76-89.

34. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. СПб: Символ-плюс, 2010. 272 с.
35. Васильев В.И., Ложников П.С., Сулавко А.Е., Жумажанова С.С. Оценка идентификационных возможностей биометрических признаков от стандартного периферийного оборудования// Вопросы защиты информации. М.: Изд-во ФГУП «ВИМИ», 2016. №1. С. 12-20.
36. Vasilyev V.I., Sulavko A.E., Eremenko A.V., Zhumazhanova S.S. Identification potential capacity of typical hardware for the purpose of hidden recognition of computer network users. Proceedings of X International IEEE Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics), 15-17 November 2016. P. 1-5. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819106.
37. Ложников П.С., Иванов А.И., Качайкин Е.И., Сулавко А.Е. Биометрическая идентификация рукописных образов с использованием корреляционного аналога правила Байеса// Вопросы защиты информации. М.: Изд-во ФГУП «ВИМИ», 2015. №3. С. 48-54.
38. Ivanov A.I., Lozhnikov P.S., Serikova Yu.I. Reducing the Size of a Sample Sufficient for Learning Due to the Symmetrization of Correlation Relationships Between Biometric Data. Cybernetics and Systems Analysis, 2016. Vol. 52(3). P. 379-385.
39. Сулавко А.Е., Еременко А.В., Жумажанова С.С., Буря Е.В. Генерация ключевых последовательностей и верификация субъектов на основе двумерного изображения лица// Автоматизация процессов управления, 2017. № 1. С. 58-66.

Васильев Владимир Иванович. Профессор, заведующий кафедрой вычислительной техники и защиты информации ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет». Окончил Уфимский авиационный институт в 1970 году. Доктор технических наук. Количество печатных работ: более 400. Область научных интересов: системный анализ, управление динамическими объектами, искусственный интеллект, биометрические системы, интеллектуальные системы защиты информации. E-mail: vasilyev@ugatu.ac.ru

Сулавко Алексей Евгеньевич. Старший преподаватель кафедры комплексной защиты информации ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет». Окончил Сибирскую государственную автомобильно-дорожную академию (СибАДИ) в 2009 году. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: более 70. Область научных интересов: распознавание образов, искусственный интеллект, биометрия, интеллектуальные системы защиты информации. E-mail: sulavich@mail.ru

Борисов Роман Владимирович. Аспирант кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия». Окончил Сибирскую государственную автомобильно-дорожную академию (СибАДИ) в 2009 году. Количество печатных работ: более 10. Область научных интересов: распознавание образов, распознавание речи, искусственный интеллект, биометрия, распознавание диктора. E-mail: brv1986@yandex.ru

Жумажанова Самал Сагидуллоевна. Аспирант кафедры комплексной защиты информации ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет». Окончила Сибирскую государственную автомобильно-дорожную академию (СибАДИ) в 2015 году. Количество печатных работ: более 10. Область научных интересов: распознавание образов, искусственный интеллект, биометрия, оценка функционального и психофизиологического состояний. E-mail: samal_shumashanova@mail.ru

Recognition of psychophysiological state of the user based on a hidden monitoring of computer systems

V.I. Vasilyev, A.E. Sulavko, R.V. Borisov, S.S. Zhumazhanova

Abstract. It is established that the signs of the voice, the keyboard handwriting and the nature of the work of the subject with a computer mouse contain the following information about psychophysiological state of the operator: normal, fatigue, intoxication, excited, relaxed (sleepy). Signs of voice are best in order to recognize fatigue or sleepy speaker. Keyboard handwriting in addition to these states has features that characterize the normal state of the operator. Some of the features of the work with a computer mouse contain information about the states of intoxication and sleepy. An experiment of the recognition of state was based on Bayes strategies and neural network approach, the best result: 5.9% errors of determination of the states for the monitoring of the subject is not more than 100 seconds.

Keywords: keyboard handwriting, biometric characteristic, voice signs, identification of psychophysiological conditions, the option of working with a computer mouse.

References

1. Mashin V.A. Psihicheskaja nagruzka, psihicheskoe naprjazhenie i funkcional'noe sostojanie operatorov sistem upravlenija. *Voprosy psihologii*, 2007. № 6. P. 86-96.
2. Marcus J.H., Rosekind M.R. Fatigue in transportation: NTSB investigations and safety recommendations. *Injury Prevention*, 2016. doi: 10.1136/injuryprev-2015-041791.
3. Luzhnikov E.A. *Klinicheskaja toksikologija*. M.: Medicina, 1994. 256 p.
4. The Global State of Information Security® Survey 2016 [Elektronnyj resurs] // PricewaterhouseCoopers. URL: <http://www.pwc.com/gx/en/issues/cyber-security/information-security-survey/download.html> (data obrashhenija: 27.06.2016).
5. Bogomolov A.V., Gridin L.A., Kukushkin YU.A., Ushakov I.B. Diagnostika sostojanija cheloveka: matematicheskie podhody. M.: Medicina, 2003. 464 p.
6. Il'in E.P. Psihofiziologija sostojanij cheloveka. SPb.: Piter, 2005. 412 s.
7. Cacioppo J.T., Tassinary L.G., Berntson G. *Handbook of Psychophysiology*. 3rd Edition. Cambridge university press, 2007. P. 433-452.
8. Bayevsky R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V. HRV Analysis under the usage of different electrocardiography systems (Methodical recommendations). Committee of Clinic Diagnostic Apparatus and the Committee of New Medical Techniques of Ministry of Health of Russia, 2002. Vol. 4. P. 2-67.
9. Malik M., Bigger J. T., Camm A. J. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use // *European Heart Journal*, 1996. Vol. 17 (3). P. 354-381.
10. Mashin V.A., Mashina M.N. Klassifikacija funkcional'nyh sostojanij i diagnostika psihojemocional'noj ustojchivosti na osnove faktornoj struktury pokazatelej variabel'nosti serdechnogo ritma. *Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2004. T. 90(12). P. 1508-1521.
11. Shi Ping, Vicente Azorin P., Echiadis A. Non-contact Reflection Photoplethysmography Towards Effective Human Physiological Monitoring. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2009. Vol. 30(3). P. 161-167.
12. 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*, 2013. Vol. 14(1-2). P. 13-28.
13. Jing B, Li H. A novel thermal measurement for heart rate. *Journal of Computers*, 2013. Vol. 8(9). P. 2163-2166.
14. Zhao F. Li M., Qian Y., Tsien J.Z. Remote Measurements of Heart and Respiration Rates for Telemedicine. *PLoS ONE*, 2013. Vol. 8(10).
15. Sun Y., Yu X., Berilla J. An innovative non-invasive ECG sensor and comparison study with clinic system. *Proceedings of 39th IEEE Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC)*, 2013. P. 163-164.
16. Jain U., Tan B., Li Q. Concealed knowledge identification using facial thermal imaging. *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2012. P. 1677-1680.
17. Carl B. Cross ; Julie A. Skipper, Petkie D. Thermal imaging to detect physiological indicators of stress in humans // *Proceedings of SPIE*. Vol. 8705. doi:10.1117/12.2018107.
18. Lozhnikov P.S., Sulavko A.E., Tolkacheva E.V., Zhumazhanova S.S. Raspoznavanie voditelej i ih funkcional'nyh sostojanij po obychnomu i teplovomu izobrazhenijam lica. *Trudy nauchno-tehnicheskoy konferencii klastera penzenskikh predpriyatij, obespechivajushhij bezopasnost' informacionnyh tekhnologij*. Penza, 2016 T. 10. P. 63-65.
19. Epifancev B.N. Skrytaja identifikacija psihofiziologicheskogo sostojanija cheloveka-operatora v processe professional'noj dejatel'nosti: monografija. Omsk: Izd-vo SibADI, 2013. 198 p.
20. Vasil'ev V.I., Lozhnikov P.S., Sulavko A.E., Eremenko A.V. Tekhnologii skrytoj biometricheskoy identifikacii pol'zovatelej komp'yuternyh sistem (Obzor). *Voprosy zashchity informacii*. Moskva: Izd-vo: FGUP «VIMI», 2015. №3. S. 37-47.
21. Lozhnikov P.S., Sulavko A.E., Samotuga A.E. Personal Identification and the Assessment of the Psychophysiological State While Writing a Signature. *Information*, 2015. № 6. P. 454-466.
22. Epifantsev B. N., Lozhnikov P. S., Sulavko A. E., Zhumazhanova S. S.. Identification Potential of Online Handwritten Signature Verification. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2016. № 3(52). P. 238-244. DOI: 10.3103/S8756699016030043.
23. Sulavko A.E., Eremenko A.V., Levitskaja E.A., Samotuga A.E. Identifikacija psihofiziologicheskikh sostojanij podpisantov po osobennostjam vosproizvedenija avtografa. *Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy*, 2017. №1. P. 40-48.
24. Sulavko A.E., Eremenko A.V., Levitskaja E.A. Razgranichenie dostupa k informacii na osnove skrytogo monitoringa dejstvij pol'zovatelej v informacionnyh sistemah: portret nelojal'nogo sotrudnika. *Izvestija Transiba*. Omsk: Izd-vo OmGUPS, 2015. № 1(21). P. 80-89.
25. Ayadi M. El. Survey on speech emotion recognition: Features, classification schemes, and databases. *Pattern Recognition*, 2011. Vol. 44(3). P. 572-587.
26. Davydov A.G., Kiselyov V.V., Kochetkov D.S. Klassifikacija ehmocional'nogo sostojanija diktora po golosu: Problemy i reshenija // *Trudy mezhdunarodnoj konferencii «Dialog 2011»*. M.: RGGU, 2011. P. 178-185.
27. Tkachenja A.V., Davydov A.G., Kiselyov V.V., Hitrov M.V. Klassifikacija ehmocional'nogo sostojanija diktora s ispol'zovaniem metoda opornyh vektorov i kriterija Dzhini. *Izv. VUZov. Priborostroenie*, 2013. T. 56(2). P. 61-66.
28. Orden K.F., Jung Tzyy-Ping, Makeig S. Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. *Biological Psychology*, 2000. № 52. P. 221-240.
29. Zaharchenko D.V., Dorohov V.B. Izmenenie otdel'nyh parametrov zritel'no-motornyh reakcij pod dejstviem alkoholja. *Ekspperimental'naja psihologija*, 2012. № 2. P. 5-21.

30. Knjazeв B.A., Gapanjuk YU.E. Raspoznavanie anomal'nogo povedenija cheloveka po ego ehmocional'nomu sostojaniju i urovnju naprjazhennosti s ispol'zovaniem ehkspertnyh pravil. Inzhenernyj vestnik, 2013. № 3. P. 509-523.
31. Mascord, D.J. & Heath, R.A. Behavioral and physiological indices of fatigue in a visual tracking task. Journal of Safety Research, 1992. Vol. 23. P. 19-25.
32. Borisov R.V., Zverev D.N., Sulavko A.E., Pisarenko V.Ju. Ocenka identifikacionnyh vozmozhnostej osobennostej raboty pol'zovatelja s komp'yuternoju mysh'ju. Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii. Omsk: Izd-vo SibADI, 2015. № 5(45). P. 106-113.
33. Sulavko A.E., Eremenko A.V., Borisov R.V. Generacija kriptograficheskikh ključej na osnove golosovyh soobshhenij. Prikladnaja informatika. Moskva: Izd-vo NOU VPO «MFPU «Sinergija», 2016. № 5. P. 76-89.
34. Raskin D. Interfejs: novye napravlenija v proektirovanii komp'yuternyh sistem. SPb: Simvol-pljus, 2010. 272 p.
35. Vasil'ev V.I., Lozhnikov P.S., Sulavko A.E., Zhumazhanova S.S. Ocenka identifikacionnyh vozmozhnostej biometricheskikh priznakov ot standartnogo periferijnogo oborudovanija. Voprosy zashchity informacii. Moskva: Izd-vo FGUP «VIMI», 2016. №1. S. 12-20.
36. Vasilyev V.I., Sulavko A.E., Eremenko A.V., Zhumazhanova S.S. Identification potential capacity of typical hardware for the purpose of hidden recognition of computer network users. Proceedings of X International IEEE Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics), 15-17 November 2016. P. 1-5. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819106.
37. Lozhnikov P.S., Ivanov A.I., Kachajkin E.I., Sulavko A.E. Biometricheskaja identifikacija rukopisnyh obrazov s ispol'zovaniem korrelyacionnogo analoga pravila Bajesa. Voprosy zashchity informacii. Moskva: Izd-vo FGUP «VIMI», 2015. №3. P. 48-54.
38. Ivanov A.I., Lozhnikov P.S., Serikova Yu.I. Reducing the Size of a Sample Sufficient for Learning Due to the Symmetrization of Correlation Relationships Between Biometric Data. Cybernetics and Systems Analysis, 2016. Vol. 52(3). P. 379-385.
39. Sulavko A.E., Eremenko A.V., Zhumazhanova S.S., Buraja E.V. Generacija klyuchevyh posledovatel'nostej i verifikacija sub"ektov na osnove dvumernogo izobrazhenija lica. Avtomatizacija processov upravlenija, 2017. № 1. P. 58-66.

Vasilyev Vladimir I. Head of the Department of computer science and information security FGBOU VO "Ufa state aviation technical University", Ufa, Karl Marx str., 12. Doctor of technical Sciences, Professor, honored worker of science of the Republic of Bashkortostan and the Russian Federation. In 1970 he graduated from the Ufa aviation Institute. The number of publications more than 400. Area of scientific interests: system analysis, management of dynamic objects, artificial intelligence, biometric systems, intelligent information security systems. E-mail: vasilyev@ugatu.ac.ru

Sulavko Alexey E. Senior lecturer, Department of integrated information security of the "Omsk state technical University", Omsk, str. PR. Mira, 11. Candidate of technical Sciences. In 2009 he graduated from the Siberian state automobile and highway Academy (SibADI). The number of publications more than 70. Research interests: pattern recognition, artificial intelligence, biometrics, intelligent information security systems. E-mail: sulavich@mail.ru

Borisov Roman Vladimirovich. Postgraduate student of the Department of information safety "Siberian state automobile and highway Academy", Omsk, str. PR. Mira, 5. In 2009 he graduated from the Siberian state automobile and highway Academy (SibADI). Number of publications: 10. Research interests: pattern recognition, speech recognition, artificial intelligence, biometrics, speaker recognition. E-mail: brv1986@yandex.ru

Zhumazhanova, Samal S. Postgraduate student of the Department of complex information security of the "Omsk state technical University", Omsk, str. PR. Mira, 11. In 2015 he graduated from the Siberian state automobile and highway Academy (SibADI). Number of publications: 7. Research interests: pattern recognition, artificial intelligence, biometrics, assessment of functional and psychophysiological states. E-mail: samal_shumashanova@mail.ru