

О.О. БАСОВ, П.Ю. ХАХАМОВ, М.В. НОСОВ  
**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ  
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ ПЕРСОНАЛА**

---

*Басов О.О., Хахамов П.Ю., Носов М.В. Повышение эффективности управления в условиях изменения психофизиологического состояния персонала.*

**Аннотация.** Представлен подход к совершенствованию научно-методического аппарата определения психофизиологического состояния операторов по информации от многомодального входного интерфейса автоматизированных рабочих мест. В качестве уникальной поведенческой характеристики человека, отражающей его психофизиологическое состояние, предложено использовать джиттер периода основного тона речевого сигнала, длительности нажатия и интервала между нажатиями кнопок на клавиатуре, длительности нажатия и интервала между нажатиями левой клавиши «мышь», а также сигнала ее перемещения. Показана возможность объединения частных оценок психофизиологического состояния оператора, определяемых как доля кадров анализируемого сигнала, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает пороговое значение, на основе обобщенной функции Харрингтона. Продемонстрированы пример повышения эффективности закрепления производственно-технологических функций за операторами на 7,4% по сравнению с известным решением и возможность автоматизации процесса управления персоналом газодобывающих и газотранспортных предприятий.

**Ключевые слова:** эффективность, управление персоналом, психофизиологическое состояние, автоматизированное рабочее место, джиттер.

*Basov O.O., Hahamov P.Yu., Nosov M.V. Improving the efficiency of management under the conditions of staff's psychophysiological state changing.*

**Abstract.** An approach to improving the methodological apparatus determining psychophysiological operators' state by information from multimodal automated workstations' input interface is represented. As a unique behavioral person's characteristics, reflecting his psychophysiological state, it is proposed to use the jitter of the pitch period of the speech signal, the duration and period of pressing buttons on the keyboard, and the duration of the period of holding the left button "mouse", and its movement signal. The opportunity to combine partial estimates of operator's psychophysiological state, determined as the proportion of the analyzed signal frames, on which the random jitter's absolute value exceeds a threshold value, based on Harrington's generalized function is shown. An example of increasing the efficiency of restraining engineering and manufacturing functions for operators on 7,4% in comparison with the known solution and the ability to automate the process of human resource management in gas production and gas transmission companies is shown.

**Keywords:** efficiency, human resource management, psychophysiological state, automated workstation, jitter.

---

**1. Введение.** В настоящее время при создании систем диспетчерского управления газодобывающих и газотранспортных предприятий делаются попытки эффективной интеграции MES- и SCADA-систем, в том числе с автоматизированными системами управления (ERP-системами) подземных хранилищ газа [8, 9, 11, 14].

Интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ) предъявляют повышенные требования к квалификации персонала и его функциональному (психофизиологическому) состоянию. Однако существующие системы автоматизированного планирования (MES и ERP) предусматривают только приблизительное оценивание человеческих ресурсов производства и возможность планирования его показателей на этапе распределения производственных заданий. В работах [4, 7, 15, 16, 24], посвященных вопросам совершенствования процесса оперативного управления персоналом промышленных предприятий, не учитываются влияния, связанные с возникновением нервно-эмоционального напряжения, утомления, заболевания и других отклонений психофизиологического состояния (ПФС) исполнителей, что негативно сказывается на качестве принимаемых ими решений.

Развитию методов оценки ПФС операторов автоматизированных рабочих мест (АРМ) посвящены работы [2, 6, 23], однако в них, как правило, используется либо косвенная оценка ПФС, либо рассматриваются одномодальные входные интерфейсы АРМ, что значительно снижает точность получаемых оценок. В современных ИАСУ входные интерфейсы различных по функциональности типов АРМ, как правило, реализуются с использованием клавиатуры и манипулятора типа «мышь» (далее – «мышшь»), а оперативное управление производственно-технологическим процессом сопровождается коммуникативным взаимодействием операторов. Данные факты указывают на возможность и необходимость использования многомодальных входных интерфейсов (ММВИ) АРМ для оценки ПФС операторов.

Таким образом, повышение эффективности управления персоналом газодобывающих и газотранспортных предприятий может быть достигнуто за счет совершенствования научно-методического аппарата определения ПФС операторов по информации от ММВИ АРМ и его применения в ИАСУ.

**2. Критерий эффективности управления персоналом.** Перспективным подходом к автоматизации управления персоналом и его эффективному использованию является менеджмент, основанный на знаниях – Skills-Based (SB) Management и Knowledge-Based Management [42, 45].

SB-менеджмент реализует представление производственно-технологического процесса (ПТП) в виде комплекса взаимосвязанных работ – одной или нескольких производственно-технологических функций (ПТФ). Для выполнения ПТФ оператором или при его участии необходимо, чтобы он владел соответствующими компетенция-

ми – знаниями, умениями и навыками. Автоматизация в рамках SB-менеджмента основана на двух типах моделей [4, 20].

Модель, представляющая требуемые уровни компетенций оператора  $\bar{R}_j = (R_{j1}, R_{j2}, \dots, R_{jk}, \dots, R_{jK})$ , необходимые для выполнения  $j$ -й функции ПТП, названа нормативным профилем  $j$ -й ПТФ ( $j = \overline{1 \dots N}$ ). Профиль ПТФ формируется экспертным путем при проектировании техпроцесса и включается в его рабочий паспорт. Набор оценок  $\bar{P}_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}, \dots, P_{iK})$ , где  $P_{ik}$  – фактический уровень  $i$ -го оператора по  $k$ -ой компетенции, назван квалификационным профилем (профилем компетенций)  $i$ -го оператора ( $i = \overline{1 \dots M}$ ).

Матрицы  $[R]_{N \times K}$  ПТФ и  $[P]_{M \times K}$  квалификационных профилей составляют основу задачи оптимального закрепления функций за операторами АРМ (максимизации эффективности управления):

$$E = \sum_{i=1}^M f_i \sum_{j=1}^N e_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$e_{ij} = w_j \sum_{k=1}^K (\min(P_{ik}, R_{jk})) / \sum_{k'=1}^K R_{jk'}, \quad (2)$$

при условии закрепления достаточного числа операторов за каждой функцией:

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1, \quad (3)$$

и ограничениях на их загрузку:

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j \leq q_i, \quad (4)$$

где  $0 \leq f_i \leq 1$  – оценка ПФС  $i$ -го оператора ( $f_i = 1$  соответствует его нормальному состоянию);  $0 \leq x_{ij} \leq 1$  – доля  $j$ -й функции ( $j = \overline{1 \dots N}$ ), выполняемая  $i$ -м оператором ( $i = \overline{1 \dots M}$ );  $e_{ij}$  – эффективность закрепления  $i$ -го оператора за  $j$ -й функцией;  $w_j$  – показатель значимости  $j$ -й функции;  $Q_j$  – трудоемкость выполнения  $j$ -й функции;  $q_i$  – трудовой ресурс  $i$ -го оператора [18, 20].

Для решения задачи (1) необходимо исследовать характеристики сигналов ММВИ АРМ, отражающие текущее ПФС оператора.

**3. Существующий методический инструментарий оценивания ПФС человека по сигналам входного интерфейса АРМ.** Основным методологическим положением, указывающим, как надо диагностировать состояние человека, является следующее: «Исследование функционального состояния должно проводиться с помощью достаточно широкого набора методик с целью последующего объединения полученных показателей в общую интегральную оценку» [10]. Центральной проблемой при этом является выбор из большого числа имеющихся методик наиболее надежных и удобных для практического применения.

При использовании оператором текстового (клавиатура и «мышь») и речевого каналов взаимодействия ММВИ АРМ можно выделить следующие методы измерения показателей ПФС.

*Дистанционная сетевая биометрия* [38], согласно которой каждому пользователю ставится в соответствие уникальный паттерн движения курсора в процессе взаимодействия с Web-страницей. Сбор и сопоставление паттернов различных испытуемых для идентификации ПФС пользователя по движению курсора основан на параметрическом обучении и статистической классификации последовательностей.

*Автоматизация процесса определения ПФС человека-оператора АРМ, основанная на биометрической обработке его клавиатурного почерка и определении параметров его состояния на основе искусственных нейронных сетей* [1–3]. Параметром, характеризующим ПФС оператора АРМ, является относительное отклонение моторных функций от эталонного представления. Их представление основано на использовании клавиатурного почерка в виде временных соотношений между нажатиями клавиш и времени нажатия самих клавиш. В качестве инструментария для решения задачи определения степени отклонения от эталона в [1–3] использовалась искусственная нейронная сеть типа многослойный перцептрон.

*Метод распознавания эмоций по голосу*, основанный на анализе скорости, интенсивности и интонационного паттерна при выводе оценки эмоциональной окраски. Паттерны голоса сопоставляются с мерой выраженности основных ПФС [37].

Указанные методы позволяют осуществлять дистанционные (бесконтактные) психометрические измерения, но ввиду их новизны являются недостаточно апробированными и требуют дальнейших исследований в направлении обоснования информативности применяемых критериев.

Используемый показатель должен наиболее полно отражать функциональное состояние исследуемой системы, т. е. быть адекватен

выполняемой ею работе. Кроме того необходимо, чтобы выбираемый показатель обладал определенной степенью устойчивости, реагируя не на любое колебание параметра, а фиксируя изменение ПФС. В то же время нельзя допустить использования слишком грубых показателей, способных уловить только ярко выраженные изменения [10].

С этой точки зрения, особый интерес представляют работы [32, 34, 43, 44], в которых для определения отклонений ПФС используются статистические характеристики джиттера основного тона (ОТ) речевого сигнала. Приводятся экспериментальные данные о возможности разделения джиттера периода ОТ на постоянную и случайную компоненты [32, 43], хорошо согласующиеся с акустическими особенностями речеобразования: характером колебаний голосовых связок (включая нерегулярность), состоянием артикуляционного аппарата при речеобразовании, а также определенным воздействием пульсации кровотока [12]. Имеются результаты оценки патологии голосового тракта человека по характеристикам джиттера ОТ его речи [44].

Предпосылки использования поведенческих характеристик человека, определяющих ритмичность (апериодичность) его действий при изменении ПФС, обусловили возможность оценки таких состояний на основе характеристик джиттера  $Jitter^{T_{OT}}$  периода  $T^{OT}$  ОТ речевого сигнала [5], джиттера  $Jitter^{t_{НАЖ.ЛКМ}}$  длительности  $t_{НАЖ}$  нажатия и  $Jitter^{T_{НАЖ.ЛКМ}}$  интервала  $T_{НАЖ}$  между нажатиями кнопок на клавиатуре, джиттера  $Jitter^{t_{НАЖ}}$  длительности  $t_{НАЖ.ЛКМ}$  нажатия и  $Jitter^{T_{НАЖ}}$  интервала  $T_{НАЖ.ЛКМ}$  между нажатиями левой клавиши «мышь» (ЛКМ), а также джиттера  $Jitter^{T_{мышь}}$  сигнала ее перемещения. Алгоритмы их формирования представлены в [19].

Расчет значений джиттера для речевых сигналов 17 человек (длительность 54 минуты) и сигналов клавиатуры и «мышь», зарегистрированных от 26 испытуемых (длительность 183 минуты), находящихся в различных ПФС, позволил экспериментально получить их распределения. Оценивание степени близости теоретических распределений к эмпирическим по критерию А. Н. Колмогорова позволило принять при критическом уровне значимости  $\alpha = 0,01$  гипотезы о нормальности распределения указанных величин. Однако результаты статистического анализа этих величин отдельно для каждого испытуемого указали на их непараметрический характер и необходимость дальнейшего анализа.

**4. Методика разделения джиттера сигналов многомодального входного интерфейса АРМ и оценки характеристик его компонент.** Единство представления джиттера сигналов ММВИ АРМ обеспечило возможность разработки универсального научно-методического инструментария для его разделения на компоненты и их последующего анализа (рисунок 1) [17].

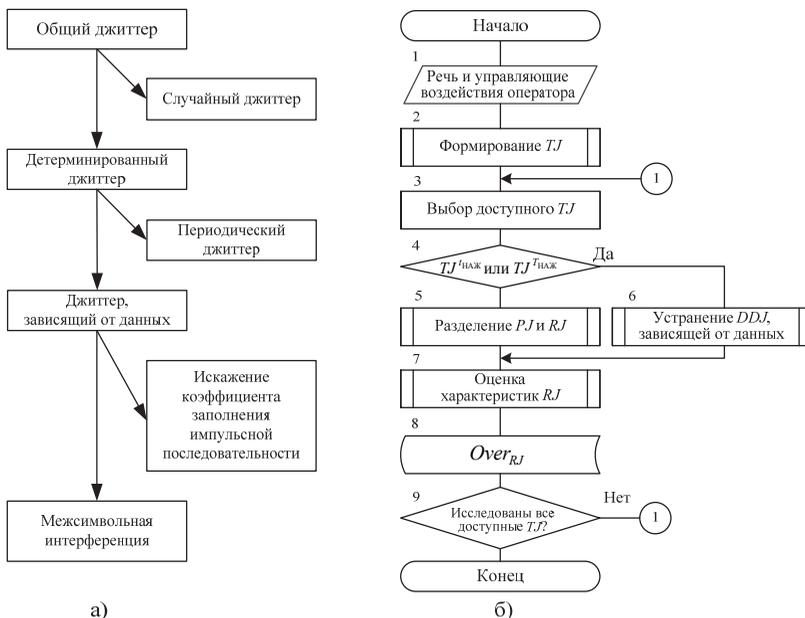


Рис. 1. Джиттер сигналов многомодального входного интерфейса АРМ:  
 а – взаимосвязь компонент;  
 б – методика разделения и оценки характеристик компонент

В соответствии с предложенной методикой (рисунок 1) формируется общий джиттер (Total Jitter –  $TJ$ ) доступных сигналов текстового и/или речевого каналов взаимодействия ММВИ АРМ

$$TJ = \left[ Jitter^{T_{от}}, Jitter^{ч_{наж}}, Jitter^{T_{наж}}, Jitter^{ч_{наж.лжм}}, Jitter^{T_{наж.лжм}}, Jitter^{T_{мышь}} \right].$$

Из общего джиттера длительности нажатия и интервала между нажатиями кнопок на клавиатуре известными способами [29] устраняются компоненты  $DDJ$ , зависящие от данных – межсимвольная интерференция  $ISI$  и искажение коэффициента  $DCD$  заполнения импульсной последовательности. Далее осуществляется разделение периодического  $PJ$  и случайного  $RJ$  джиттера [17].

Зависимости полученных частот периодических составляющих  $PJ$  от времени имеют сложный характер, обусловленный влиянием интонационного рисунка произносимых фраз и характером колебаний голосовых связок (для  $PJ^{T_{от}}$ ); паразитной модуляцией сигнала клавиатуры («мышь») гармониками питающего напряжения (для  $PJ^{t_{наж}}$ ,  $PJ^{T_{наж}}$ ,  $PJ^{t_{наж.лкм}}$ ,  $PJ^{T_{наж.лкм}}$ ) и возвратными движениями «мышь» при достижении границ рабочей области (для  $PJ^{T_{мышь}}$ ). Поэтому для определения ПФС в проведенном исследовании предложено использовать только случайные компоненты джиттера сигналов ММВИ АРМ.

В результате экспериментальных исследований установлено, что случайный джиттер  $RJ^{T_{от}}$ ,  $RJ^{t_{наж}}$ ,  $RJ^{T_{наж}}$ ,  $RJ^{t_{наж.лкм}}$ ,  $RJ^{T_{наж.лкм}}$ ,  $RJ^{T_{мышь}}$  при критическом уровне значимости  $\alpha = 0,01$  имеет нормальное распределение, а характеристикой, зависящей от ПФС оператора (рисунок 2), является доля кадров (фрагментов) анализируемого сигнала, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает пороговое значение  $Thr_{RJ}$  (определен экспериментально для каждого джиттера):

$$Over_{RJ} = 100(\{RJ : |RJ| > Thr_{RJ}\})/R \text{ [%]}, \quad (5)$$

где  $R$  – число кадров, на которых определен случайный джиттер  $RJ$ .

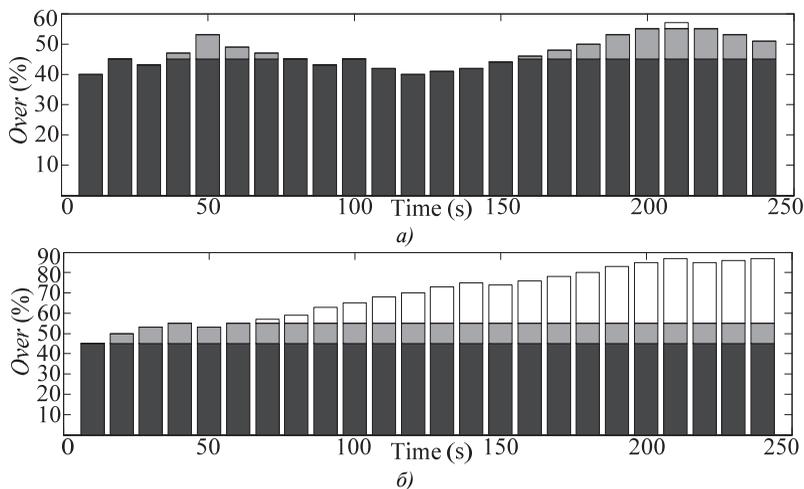


Рис. 2. Оценка  $Over_{RJ^{T_{мышь}}}$  методом скользящего среднего для оператора, находящегося в нормальном состоянии (а) и в состоянии нервно-эмоционального напряжения (б)

Характеристики (5) случайного джиттера сигналов текстового и речевого каналов ММВИ отражают ПФС оператора АРМ. Для управления персоналом ИАСУ необходимы их объединение и получение оценок  $f_i$  текущего ПФС операторов.

**5. Методы объединения информации о ПФС оператора, полученной по различным сигналам ММВИ АРМ.** Объединение – это процесс, с помощью которого информация различных модальностей интегрируется в единый информационный поток (рисунок 3):

- 1) на уровне признакового описания (*feature level*), называемом «ранним объединением» (*early fusion*);
- 2) на (семантическом) уровне принятия решений (*decision level*), называемом «поздним объединением» (*late fusion*);
- 3) с использованием гибридного подхода [25, 33, 46].

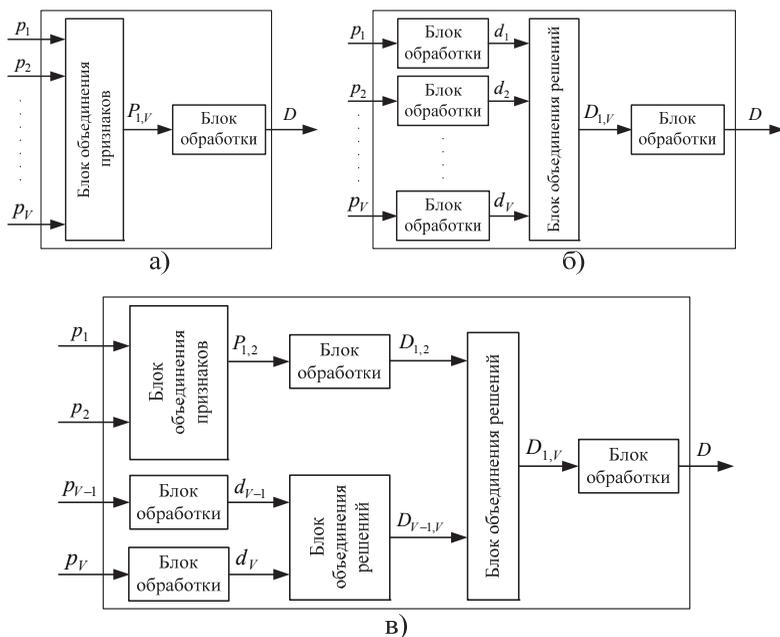


Рис. 3. Стратегии объединения информации о ПФС оператора:  
 а – раннее; б – позднее; в – гибридное

В стратегии раннего объединения признаки  $p_1 \dots p_V$  извлекаются из сигналов входных модальностей, объединяются в вектор  $P_{1,V}$  и по-

даются в блок обработки, который формирует итоговое решение  $D$ . При позднем объединении блоки обработки формируют локальные решения  $d_1 \dots d_V$  на основе соответствующих признаков  $p_1 \dots p_V$ . Локальные решения объединяются в вектор  $D_{1,V}$ , на основе которого принимается итоговое решение  $D$  относительно решаемой задачи или выдвинутой гипотезы. Стратегия гибридного объединения позволяет использовать достоинства перечисленных выше подходов и используется многими исследователями [27, 35, 39, 48 и др.] для решения различных проблем мультимедийного анализа.

Выбор стратегии объединения осуществляется в зависимости от доступных способов ввода со стороны оператора и предпочтительных методов объединения информации от различных каналов взаимодействия (рисунок 4).

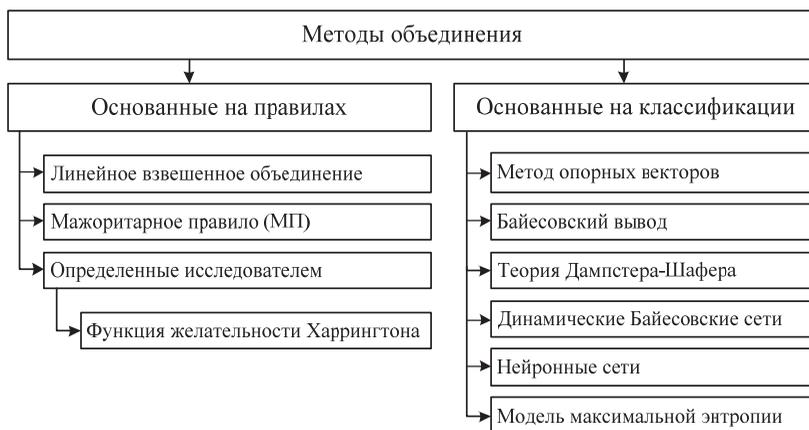


Рис. 4. Классификация методов объединения информации

Методы многомодального объединения, основанные на правилах (*Rule-based fusion methods*), включают ряд основных правил комбинирования модальной информации [35].

Основная идея метода линейного взвешенного объединения (*Linear weighted fusion*) заключается в комбинировании векторов признаков, характеризующих  $i$ -й сигнал определенной модальности, или локальных решений, полученных от классификатора  $I_i$ ,  $1 \leq i \leq N$ :

$$I = \sum_{i=1}^N w_i \times I_i \quad \text{или} \quad I = \prod_{i=1}^N I_i^{w_i}, \quad (6)$$

где  $w_i$  – нормированные весовые коэффициенты, соответствующие  $i$ -м сигналам модальностей или классификаторам. Достоинством метода является низкая вычислительная сложность, а к недостаткам следует отнести необходимость определения системы признаков и весовых коэффициентов для отдельных модальностей в каждой конкретной прикладной задаче.

Мажоритарное правило (*Majority Voting Rule*) представляет собой особый случай взвешенной комбинации с равными весами и реализует вывод итогового решения по большинству локальных. Последняя группа правил (рисунок 4) включает в себя ряд частных решений, полученных исследователями эмпирически (*Custom-defined Rule*), что придает им большую гибкость по сравнению с другими методами, но делает узкоспециализированными (зависимыми от конкретной решаемой задачи).

Категория методов объединения, основанных на классификации (*Classification-based methods*), включает в себя ряд соответствующих технологий, используемых для отнесения наблюдаемой многомодальной информации в один predetermined класс (рисунок 4).

Основу метода опорных векторов (*Support Vector Machine*) составляет обучение с учителем [30], используемое для построения оптимального бинарного линейного классификатора. Анализ основных работ [25, 26, 41] показал, что его применение для обработки многомодальных сигналов при реализации стратегии позднего объединения позволяет достичь лучших характеристик, но предъявляет повышенные требования к процессу обучения.

В методе, основанном на байесовском выводе (*Bayesian Inference*), многомодальная информация комбинируется согласно правил теории вероятностей [40]. Исходя из предположения о статистической независимости  $N$  отдельных модальностей, суммарная вероятность гипотезы  $H$ , основанной на объединяемых векторах признаков или объединяемых решениях  $(I_1, I_2, \dots, I_N)$ :

$$p(H|I_1, I_2, \dots, I_N) = \frac{1}{N} \prod_{k=1}^N p(I_k|H)^{w_k}, \quad (7)$$

где  $w_k$  – вес  $k$ -й модальности при условии, что  $\sum_{k=1}^N w_k = 1$ .

Апостериорная вероятность вычисляется для всех возможных гипотез  $E$  и выбирается та, которая обеспечивает ее максимум:

$$\hat{H} = \arg \max_{H \in E} p(H|I_1, I_2, \dots, I_N). \quad (8)$$

Основываясь на наблюдениях, Байесовский метод позволяет последовательно вычислять вероятность истинной гипотезы. При этом новые наблюдения или решения применяются для модификации априорных вероятностей, которые в свою очередь используются для вычисления апостериорных вероятностей гипотез. Кроме того, в отсутствии эмпирических данных рассматриваемый метод обеспечивает использование субъективных вероятностных оценок для априорных гипотез. Однако данные достоинства Байесовского метода в некоторых случаях выступают в качестве его ограничений, требуя точного определения априорных и условных вероятностей гипотез.

Метод Демпстера-Шафера (*Dempster-Shafer Theory*) снимает ограничения предыдущего метода на взаимоисключающие гипотезы  $\Theta$ , каждая из которых характеризуется функциями доверия (*belief*) и правдоподобия (*plausibility*) [47]. Данный подход позволяет интерпретировать доверие (нижняя) и правдоподобие (верхняя) как границы интервала возможного значения истинности гипотезы. Вероятность такого значения определяется для каждой гипотезы  $H \in \mathcal{P}(\Theta)$  с использованием функции масс  $m: \mathcal{P}(\Theta) \rightarrow [0,1]$ . Решение относительно гипотезы принимается на основе доверительного интервала, определяемого значениями доверия и правдоподобия. Масса (объединение) гипотезы  $H$ , основанной на двух модальностях  $I_i$  и  $I_j$ , может быть вычислена как:

$$(m_i \oplus m_j)(H) = \frac{\sum_{I_i \cap I_j = H} m_i(I_i) m_j(I_j)}{1 - \sum_{I_i \cap I_j = \emptyset} m_i(I_i) m_j(I_j)}, \quad (9)$$

и в необходимых случаях учитывать весовые коэффициенты отдельных объединяемых модальностей.

Несмотря на то, что метод объединения модальностей, основанный на теории Демпстера-Шафера, позволяет находить решения для пересекающихся гипотез, вычислительная сложность его применения увеличивается с ростом признакового пространства [31].

Байесовский вывод (рисунок 4) может быть развит на сети (графы), в которых узлы (вершины) представлены случайными переменными (наблюдениями или состояниями) различных типов (модальностей), а связи между ними (ребра) показывают их вероятностные зависимости. Преимуществами динамических Байесовских сетей (*Dynamic Bayesian Networks*) над остальными методами являются способность моделировать сложные зависимости между узлами и возможность

простого интегрирования изменяющейся во времени многомодальной информации. Однако, несмотря на то, что динамические Байесовские сети успешно используются во многих приложениях, определение их точных состояний представляет одну из неразрешенных проблем [36].

Метод на основе нейронных сетей (*NN – Neural Networks*) подразумевает их следующее применение [28]. Входной слой принимает данные наблюдений или решения, основанные на этих наблюдениях, выходной выдает результат объединения, а избранная архитектура нейронной сети, задавая связи (и их веса) между указанными и промежуточными (скрытыми) слоями, определяет применимость рассматриваемого метода к решаемой задаче обработки. Для получения оптимального результата объединения модальностей веса связей определяются в процессе обучения.

Несмотря на очевидное достоинство метода нейронных сетей, заключающееся в возможности нелинейного отображения данных (пространства признаков) большой размерности, ему характерны следующие недостатки: сложность выбора архитектуры сети для каждой конкретной задачи и низкая скорость процесса обучения.

Модель максимальной энтропии (*Maximum Entropy Model*) представляет собой статистический классификатор, позволяющий с определенной вероятностью соотнести результаты наблюдений  $I_i$  и  $I_j$  (различного типа) с заданным классом  $X$  на основе содержащейся в них информации:

$$P(X|I_i, I_j) = \frac{1}{Z(I_i, I_j)} e^{F(I_i, I_j)}, \quad (10)$$

где  $F(I_i, I_j)$  – объединенный вектор признаков (или решений);  $Z(I_i, I_j)$  – нормировочный множитель, обеспечивающий соответствующую вероятность.

Проведенный анализ методов объединения информации (рисунков 4) позволил сделать следующие выводы:

- широкое распространение получили метод опорных векторов и динамические Байесовские сети, используемые, как правило, на уровне объединения признаков;

- динамические Байесовские сети являются самым вычислительно емким методом и требуют сложной процедуры обучения;

- наиболее подходящими для решения вопроса синхронизации являются методы, основанные на правилах, определенных исследователями.

**6. Объединение информации о ПФС оператора на основе обобщенной функции Харрингтона.** При окончательном выборе метода и стратегии объединения следует учитывать следующие факторы.

1. Количество входных признаков  $p_1 \dots p_V$  в решаемой задаче объединения информации (характеристик случайного джиттера) изменяется во времени и зависит от числа используемых (доступных) каналов взаимодействия ММВИ АРМ.

2. Выходное решение  $D$  должно носить вероятностный характер, позволяя напрямую получать оценки ПФС  $f_i = D$  операторов, при  $0 \leq f_i \leq 1$  и соответствии оценки  $f_i = 1$  нормальному состоянию.

3. Функция соответствия характеристик  $Over_{RJ}$  (5) психофизическому состоянию  $f_i$  оператора должна быть непрерывной, монотонной и гладкой. Кроме того, она должна учитывать характер влияния ПФС оператора на эффективность его деятельности.

Основываясь на указанных факторах, для объединения характеристик  $Over_{RJ}$  случайного джиттера исследуемых сигналов ММВИ АРМ выбрана стратегия позднего объединения на основе обобщенной функции желательности Харрингтона [21, 22]:

$$f_i = \sqrt[s]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_s}, \quad (11)$$

где  $s$  – число используемых (доступных для анализа) характеристик  $Over_{RJ}$ ;  $d_t$  – логистическая функция Е.К. Харрингтона (индексом  $t$  обозначен доступный для анализа случайных джиттер), также называемая «кривая желательности» (рисунок 5):

$$d_t = \exp[-\exp(-y_t)], \quad (12)$$

с двумя участками насыщения (при  $d \rightarrow 0$  и  $d \rightarrow 1$ ) и линейным участком ( $d = 0,2 \dots 0,63$ ).

Значения рассматриваемых характеристик  $Over_{RJ}$  случайного джиттера распределяются в масштабе, соответствующем предъявляемым к ним требованиям, на промежутке эффективных значений шкалы частных показателей  $y$ :

$$y_t = \frac{Over_{RJt} - Over_{RJt}^{БЕПХ}}{Over_{RJt}^{БЕПХ} - Over_{RJt}^{НИЖН}}, \quad (13)$$

где  $Over_{RJt}$  – значение характеристики в исходной шкале;  $Over_{RJt}^{БЕПХ}$  и  $Over_{RJt}^{НИЖН}$  – верхняя и нижняя границы области «Полная компенсация» в исходной шкале [13]. Соответствующие им показатели пере-

считываются в значения на шкале желательности. При этом шкала «желательности» (ось  $d$ ) условно делится в диапазоне от 0 до 1 на пять поддиапазонов, соответствующих изменению работоспособности человека при изменении его состояния (рисунок 5).

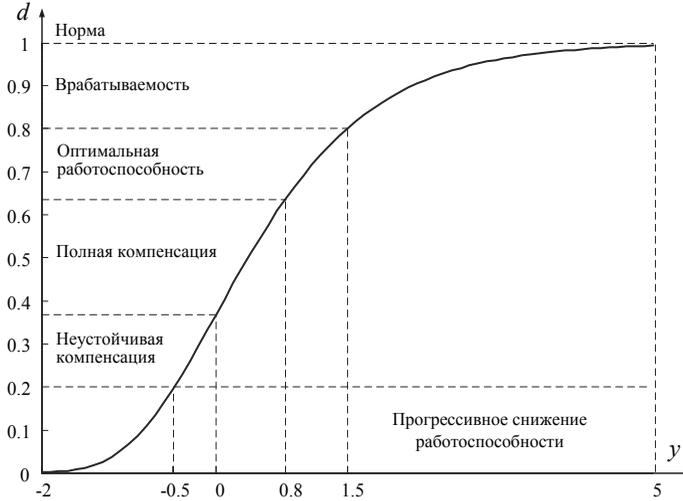


Рис. 5. Функция желательности Харрингтона

Для формирования решения (11) необходимо знание верхних ( $Over_{RJ}^{ВЕРХ}$ ) и нижних ( $Over_{RJ}^{НИЖН}$ ) границ области «Полная компенсация» для случайного джиттера  $RJ^{Тот}$ ,  $RJ^{Наж}$ ,  $RJ^{ТНаж}$ ,  $RJ^{Наж.ЛКМ}$ ,  $RJ^{ТНаж.ЛКМ}$ ,  $RJ^{ТМышь}$ . Указанные границы могут быть рассчитаны для каждого из операторов в соответствии с рекомендациями, данными в [13].

Пороговые  $Thr_{RJ}$  и граничные ( $Over_{RJ}^{ВЕРХ}$  и  $Over_{RJ}^{НИЖН}$ ) значения образуют матрицу:

$$[G] = \begin{bmatrix} Thr_{RJ^{Тот}} & Over_{RJ^{Тот}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{Тот}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{Наж}} & Over_{RJ^{Наж}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{Наж}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{ТНаж}} & Over_{RJ^{ТНаж}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{ТНаж}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{Наж.ЛКМ}} & Over_{RJ^{Наж.ЛКМ}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{Наж.ЛКМ}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{ТНаж.ЛКМ}} & Over_{RJ^{ТНаж.ЛКМ}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{ТНаж.ЛКМ}}^{НИЖН} \\ Thr_{RJ^{ТМышь}} & Over_{RJ^{ТМышь}}^{ВЕРХ} & Over_{RJ^{ТМышь}}^{НИЖН} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

названную профилем ПФС оператора.

**7. Оценка эффективности управления персоналом в условиях изменения ПФС операторов АРМ ИАСУ.** Для управления персоналом газодобывающих и газотранспортных предприятий предложена соответствующая методика [20], основанная на разработанном научно-методическом аппарате определения ПФС операторов по информации от ММВИ АРМ (рисунок 6).



Рис. 6. Методика управления персоналом ИАСУ

Исходными данными для ее реализации являются матрицы  $[P]_{M \times K}$  квалификационных профилей,  $[R]_{N \times K}$  ПТФ, показатели значимости  $w_j$  и трудоемкости  $Q_j$  выполнения  $j$ -й функции и трудовой ресурс  $q_i$   $i$ -го оператора, а также матрица  $[G]_{6 \times 3M}$ , образованная путем конкатенации  $M$  профилей ПФС операторов (14).

После расчета фактической загрузки операторов на каждом этапе реализации ПТП:

$$q_i^{\text{ФАКТ}} = \sum_{j=1}^N x_{ij} Q_j, \quad (15)$$

возможно перераспределение ПТФ между ними, исключение (возможно, временное) из ПТП операторов со значительным отклонением ПФС от нормального состояния.

Эффективность оптимизации закрепления функций за операторами определяется превышением кривой 1, соответствующей обобщенному показателю эффективности (1) с учетом ПФС  $f_i$  операторов (верхний график), над кривой 2, рассчитанной без учета ПФС операторов (рисунок 7).

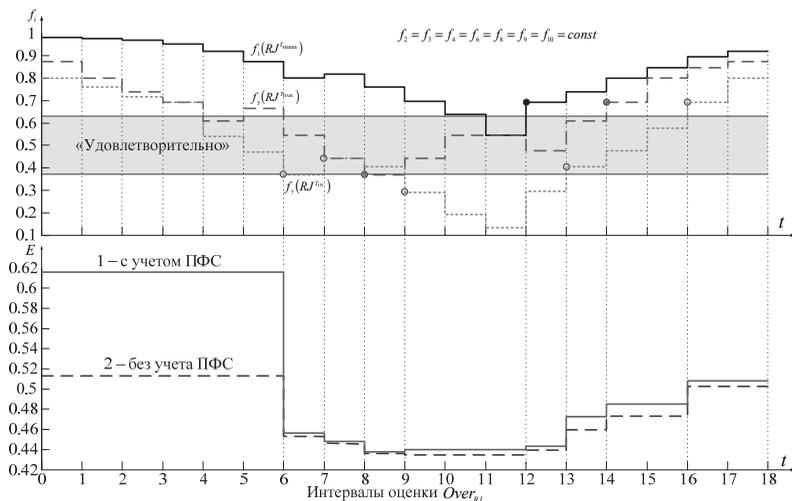


Рис. 7. Эффективность управления в условиях изменения ПФС персонала

**8. Заключение.** На основе представленных данных сформулированы следующие выводы:

1) уникальными «поведенческими» сигналами ММВИ, определяющими ПФС оператора, являются джиттер периода ОТ речевого сигнала, джиттер длительности и периода нажатия кнопок на клавиатуре, джиттер длительности и периода нажатия ЛКМ, а также джиттер сигнала ее перемещения;

3) в качестве ключевой характеристики ПФС оператора может быть использована доля кадров указанных сигналов, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает некоторое пороговое значение;

4) для объединения характеристик случайного джиттера различных (доступных для анализа) сигналов многомодального входного

интерфейса АРМ предложена стратегия позднего объединения на основе обобщенной функции желательности Харрингтона;

5) использование информации от различных каналов ММВИ АРМ позволяет повысить точность определения ПФС оператора, выполняющего различные ПТФ, по сравнению с одномодальными интерфейсами человеко-машинного взаимодействия.

Динамическое распределение ПТФ на основе разработанного критерия (1) в условиях изменения ПФС операторов, оцененного с использованием предложенного инструментария, является адекватным задаче управления персоналом. Результаты апробации соответствующей методики (рисунок 6) свидетельствуют о повышении эффективности закрепления ПТФ за операторами на 7,4% по сравнению с известным решением (рисунок 7) и возможности автоматизации процесса управления персоналом газодобывающих и газотранспортных предприятий.

### Литература

1. *Абашин В.Г.* К вопросу принятия решения о текущем психофизическом состоянии оперативного персонала по клавиатурному почерку // Известия ОрелГТУ. Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии». 2007. № 4/268 (535). С.250-251.
2. *Абашин В.Г.* Автоматизация процесса определения психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места в АСУТП: автореф. дис. канд. техн. наук. Орел, 2008. 18 с.
3. *Абашин В.Г.* Исходные данные клавиатурного почерка для определения работоспособности человека // Известия ОрелГТУ. Серия: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2007. № 4-21268(525). С. 136-139.
4. *Анкудинов И.Г.* Автоматизация управления и комплексного использования человеческих и структурных ресурсов наукоемких производств (промышленность): дис. д-ра техн. наук. СПб., 2009. 298 с.
5. *Басов О.О., Носов М.В., Шалагинов В.А.* Исследование характеристик джиттера периода основного тона речевого сигнала // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 1(32). С. 27–44.
6. *Жвалецкий О.В., Рудницкий С.Б.* Биометрический комплекс для инструментальной оценки психосоматического статуса человека // Труды СПИИРАН. 2009. Вып. 8. С. 61-77.
7. *Загородников С.В., Сивчикова Т.В.* Оперативно-производственное планирование: уч. пособие для вузов. М.: Центр, 2007. 432 с.
8. *Зельдин Ю.М., Ковалев А.А.* Концепция построения современной информационно-управляющей системы в диспетчерском центре газотранспортного общества ОАО «Газпром». URL: [www.atgs.ru/Sites/.../samara.9E337D05265F4BC8B9ABC82460B50988.pdf](http://www.atgs.ru/Sites/.../samara.9E337D05265F4BC8B9ABC82460B50988.pdf).
9. *Зорин П.И., Шехтер А.В., Кудрявцев В.В., Жданова Е.А.* Система диспетчерского управления ООО «Газпром трансгаз Ухта» с учетом перспективного развития «Северного коридора» // Газовая промышленность. 2012. № 10. С. 30-32.
10. *Ильин Е.П.* Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005. 412 с.
11. Информационно-управляющая система диспетчерского управления как единый комплекс моделирования и контроля (по материалам ООО «Газпром добыча Ноябрьск») // Рациональное управление предприятием. 2011. №5. С. 70-74.
12. *Калинцев Ю.К.* Разборчивость речи в цифровых вокодерах // М.: Радио и связь, 1991. 220 с.

13. *Магомадов В.Д.* Индикативное планирование инвестиционной деятельности строительной отрасли в регионе: автореф. дис. ... канд. экон. наук // М.: 2008. 21 с.
14. *Никаноров В.В., Руденко А.М., Жоров С.В., Бениаминов П.Е., Горский И.В., Лагун О.В.* Технические решения по развитию интегрированной АСУТП ООО «Газ-пром трансгаз Сургут» // Газовая промышленность. 2011. № 9. С. 85-89.
15. *Новицкий Н.В., Пауцто В.И.* Организация, планирование и управление производством: учеб.-метод. пособие / под ред. Н.И. Новицкого // М.: Финансы и статистика. 2006.
16. *Новицкий Н.И.* Сетевое планирование и управление производством // М.: Новое знание. 2004. 159 с.
17. *Носов М.В.* Методика разделения джиттера сигналов различных каналов взаимодействия технических средств и оператора АРМ и оценки характеристик его компонент // Информационные системы и технологии. Орел: Госуниверситет-УНПК. 2014. № 3(83). С. 63–72.
18. *Носов М.В., Басов О.О.* Критерий эффективности управления человеческими ресурсами // Сборник материалов VII Международной молодежной научно-практической конференции СКФ МТУСИ «ИНФОКОМ-2014». Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ. 2014. С. 64–65.
19. *Носов М.В., Васечкин Е.А., Басов О.О.* Математические модели и алгоритмы формирования джиттера сигналов текстового канала взаимодействия технических средств и оператора АРМ // Материалы VI Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве», ИТНОП-2014. 2014. С. 113-114.
20. *Носов М.В., Кузнецов А.В.* Методика управления человеческими ресурсами наукоемких производств, основанная на динамическом распределении закрепленных за операторами функций при изменении их психофизиологического состояния // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 3(22). С. 96-103. URL: <http://naukovedenie.ru/sbornik/6.pdf>.
21. *Пичкалев А.В.* Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств // Исследования наукограда. январь-март 2012. № 1 (1). С. 25-28.
22. *Пичкалев А.В.* Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля // Вестник КГТУ. 1997. С. 128–132.
23. *Полевая С.А., Парин С.Б., Зелинская А.В., Дормидонтова М.С., Еремин Е.В.* Распознавание цветовой информации как функция психофизиологического состояния человека // Нейроинформатика. 2006. Часть 1. С. 123-129.
24. *Смирнов С.В.* Автоматизация планирования производственных заданий в процессе управления персоналом промышленного предприятия: автореф. дис. канд. техн. наук. Орел, 2013. 16 с.
25. *Adams W., Iyengar G., Lin C., Naphade M., Neti C., Nock H., Smith J.* Semantic indexing of multimedia content using visual, audio, and text cues // EURASIP J. Appl. Signal Process. 2003. vol. 2. pp. 170–185.
26. *Aguilar J.F., Garcia J.O., Romero D.G., Rodriguez J.G.* A comparative evaluation of fusion strategies for multimodal biometric verification // International Conference on Video-Based Biometric Person Authentication. Guildford. 2003. pp. 830–837.
27. *Bendjebbour A., Delignon Y., Fouque L., Samson V., Pieczynski W.* Multisensor image segmentation using Dempster–Shafer fusion in markov fields context // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2001. vol. 39(8). pp. 1789–1798.
28. *Brooks R.R., Iyengar S.S.* Multi-sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software // Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ. 1997. 416 p.
29. *Buckwalter J.* Deterministic jitter in broadband communication // Ph.D. Dissertation. California inst. Technol. Pasadena, 2006.
30. *Burges C.J.C.* A tutorial on support vector machines for pattern recognition // Data Mining and Knowledge Discovery. 1998. vol. 2(2). pp. 121–167.
31. *Chen Q., Aickelin U.* Anomaly detection using the Dempster–Shafer method // International Conference on Data Mining. Las Vegas. pp. 232–240.

32. *Dong Li*. Time series analysis of jitter in sustained vowels // ICPHS XVII, Hong Kong, 17-21 August, 2011. pp. 603–606.
33. *Hall D.L., Llinas J.* An introduction to multisensor data fusion // Proceedings of the IEEE: Special Issues on Data Fusion. 1997. vol. 85. no. 1. pp. 6–23.
34. *Huang X., Acero A., Hon H.-W.* Spoken language processing: a guide to theory, algorithm and system development // New Jersey. Prentice Hall. Inc. 2001. 980 p.
35. *Kittler J., Hatef M., Duin R.P., Matas J.* On combining classifiers // IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 1998. vol. 20(3). pp.226–239.
36. *Makkook M.A.* A multimodal sensor fusion architecture for audio-visual speech recognition // MS Thesis, University of Waterloo, Canada.
37. *Mitsuyoshi Sh.* Emotion recognizing method, sensibility creating method, device, and software // US Patent Application Publication № US 7340393. March 4, 2008.
38. Networks and Multimedia // IT – Instituto de Telecomunicacoes. URL: [http://www.it.pt/area\\_p\\_3.asp](http://www.it.pt/area_p_3.asp).
39. *Ni J., Ma X., Xu L., Wang J.* An image recognition method based on multiple bp neural networks fusion // IEEE International Conference on Information Acquisition. 2004. pp. 323–326.
40. *Pitsikalis V., Katsamanis A., Papandreou G., Maragos P.* Adaptive multimodal fusion by uncertainty compensation // Ninth International Conference on Spoken Language Processing. Pittsburgh. 2009. vol. 17. no. 3. pp. 423-435.
41. *Reddy B.S.* Evidential reasoning for multimodal fusion in human computer interaction // MS Thesis, University of Waterloo, Canada. 2007. 94 p.
42. *Riehl H.* Skills-Based Management: New Key to IS Productivity. 1997. URL: <http://www.dciexpo.com/speakers/riehl.htm>.
43. *Schoentgen J., Guchteneere R.D.* Time series analysis of jitter // Journal of Phonetics. 1994. vol. 23(1-2). pp. 189–201.
44. *Silva D.G., Oliveira L.C., Andrea M.* Jitter Estimation Algorithms for Detection of Pathological Voices // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. Hindawi Publishing Corporation. 2009. pp. 1–9.
45. Skills Management. Reasonable Expectations, Strategic Considerations and Success Factors // SkillView Technologies, Inc. 2001. URL: <http://www.skillview.com/library.html>.
46. *Snoek C.G.M., Worring M., Smeulders A.W.M.* Early versus late fusion in semantic video analysis // ACM International Conference on Multimedia, Singapore. 2005. pp. 399–402.
47. *Wu H.* Sensor data fusion for context-aware computing using Dempster–Shafer theory // Ph.D. thesi. The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA. 2003. 195 p.
48. *Xu H., Chua T.S.* Fusion of AV features and external information sources for event detection in team sports video // ACM Transactions of. Multimedia Computing, Communications and Applications. 2006. vol. 2(1). pp. 44–67.

## References

1. Abashin V.G. [To issue a decision on the current state of psychophysical operational personnel keyboard handwriting]. *Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii» – Izvestia Orel State Technical University. Series «Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology»*. 2007. no. 4-268 (535). pp. 250-251. (In Russ.).
2. Abashin V.G. *Avtomatizacija processa opredelenija psihofiziologicheskogo sostojanija operatora avtomatizirovannogo rabochego mesta v ASUTP: avtoref. dis. kand. tehn. nauk* [Automating the process of determining the psychophysiological state of the operator workstation in the control system: author's abstract... PhD in Technical Sciences]. Orel, 2008. 18 p. (In Russ.).
3. Abashin V.G. [Initial data handwriting keyboard to define human performance] *Izvestija OrelGTU. Serija «Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii» – Izvestia Orel State Technical University. Series «Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology»*. 2007. no. 4-21268(525). pp. 136-139. (In Russ.).

4. Ankudinov I.G. *Avtomatizacija upravljenja i kompleksnogo ispol'zovanja chelovecheskih i strukturnyh resursov naukoemkikh proizvodstv (promyshlennost'): dis. ... d-ra tehn. nauk* [Automation of management and comprehensive utilization of human resources and structural knowledge-intensive production (industry): dis. Doctor of Engineering Science]. SPb., 2009. 298 p. (In Russ.).
5. Basov O.O., Nosov M.V., Shalaginov V.A. [Pitch-jitter analysis of the speech signal]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2014. vol. 1(32). pp. 27–44. (In Russ.).
6. Zhvaleyev O.V., Roudnitsky S.B. [Biometric complex for recognition of human psychosomatic status]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2009. vol. 8. pp. 61-77. (In Russ.).
7. Zagorodnikov S.V., Sivchikova T.V. *Operativno-proizvodstvennoe planirovanie Uch. posobie dlja vuzov* [Operative production planning Textbook for high schools]. Moscow: Center. 2007. 432 p. (In Russ.).
8. Zel'din Ju.M., Kovalev A.A. *Koncepcija postroenija sovremennoj informacionno-upravljajushhej sistemy v dispetcherskom centre gazotransportnogo obshhestva OAO «Gazprom»* [The concept of building a modern information management system in the central control gas transport company «Gazprom»]. [www.atgs.ru/Sites/.../samara.9E337D05265F4BC8B9ABC82460B50988.pdf](http://www.atgs.ru/Sites/.../samara.9E337D05265F4BC8B9ABC82460B50988.pdf). (In Russ.).
9. Zorin P.I., Shehter A.V., Kudrjavcev V.V., Zhdanova E.A. [Supervisory system «Gazprom Transgaz Ukhta» with regard to long-term development of the «Northern Corridor»]. *Gazovaya Promyshlennost' – Natural gas industry*. 2012. no. 10. pp. 30-32. (In Russ.).
10. Il'in E.P. *Psihofiziologija sostojanij cheloveka* [Human's psychophysiology states]. SPb.: Piter. 2005. 412 p. (In Russ.).
11. [Management information system supervisory control as a simulation and control complex (by «Gazprom mining Noyabr'sk Materials»)]. *Racional'noe upravlenie predpriyatiem – Rational Enterprise Management*. 2011. no. 5. pp. 70-74. (In Russ.).
12. Kalincev Ju.K. *Razborchivost' rechi v cifrovyyh vokoderah* [Intelligibility in digital vocoders]. Moscow: Radio i Svyaz'. 1991. 220 p. (In Russ.).
13. Magomadov V.D. *Indikativnoe planirovanie investicionnoj dejatel'nosti stroitel'noj otrasli v regione: avtoref. dis. ... kand. jekon. nauk* [Indicative planning investing activities of the construction industry in the region: author's abstract ... Candidate of economic sciences]. Moscow, 2008. 21 p. (In Russ.).
14. Nikanorov V.V., Rudenko A.M., Zhorov S.V., Benjaminov P.E., Gorskij I.V., Lagun O.V. [Technical solutions for the development of an integrated Automated Process Control System «Gazprom Transgaz Surgut»]. *Gazovaya Promyshlennost' – Natural gas industry*. 2011. no. 9. pp. 85-89. (In Russ.).
15. Novickij N.V., Pashuto V.I. *Organizacija, planirovanie i upravlenie proizvodstvom: ucheb.-metod. posobie* [Organization, planning and production management]. edited by N.I. Novickogo. Moscow: Finansy i Statistika, 2006. (In Russ.).
16. Novickij N.I. *Setevoe planirovanie i upravlenie proizvodstvom* [Network planning and production management]. Moscow: Novoe Znanie, 2004. 159 p. (In Russ.).
17. Nosov M.V. [Jitter separation technique for signals of different channels of technical equipment interaction and automated workstation's operator]. *Informacionnye sistemy i tehnologii – Information Systems and Technologies*. Orel: State University – ESPC. 2014. no. 3(83). pp. 63–72. (In Russ.).
18. Nosov M.V., Basov O.O. [Criterion of efficiency of human resources management] *Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii SKF MTUSI «INFOKOM-2014»* [Sourcebook of International Youth Scientific and Practical Conference «INFOKOM-2014»]. Rostov-on-Don: SKF MTUSI. 2014. pp. 64–65. (In Russ.).
19. Nosov M.V., Vasechkin E.A., Basov O.O. [Mathematical models and algorithms of signal jitter shaping of text interaction channel of technical means and workstation operator]. *Materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Informacionnye tehnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve», ITNOP-2014* [Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference "Information Technologies in science, education and industry" ITNOP-2014]. 2014. pp. 113-114. (In Russ.).

20. Nosov M.V., Kuznecov A.V. [Human Resource Management knowledge-intensive production technique, based on dynamic allocation of functions assigned to operators changing their psychophysiological state]. Internet-zhurnal «Naukovedenie» – On-line-journal «Naukovedenie». 2014. no. 3(22). pp. 96-103. (In Russ.).
21. Pichkalev A.V. [Generalized Harrington's desirability function for the comparative analysis of technical facilities]. *Issledovaniya naukoigrada – Science City Research*. January-March, 2012. no. 1(1). pp. 25-28. (In Russ.).
22. Pichkalev A.V. [Harrington's desirability curve application for comparative analysis of automated control systems]. *Vestnik KGTU – [Herald of the KNRTU]*. 1997. pp. 128–132. (In Russ.).
23. Polevaja S.A., Parin S.B., Zelinskaja A.V., Dormidontova M.S., Eremin E.V. [Recognition of color information as a function of human psychophysiological state]. *Nejroinformatika – Neuroinformatics*. 2006. Part 1. pp. 123-129. (In Russ.).
24. Smirnov S.V. *Avtomatizacija planirovaniya proizvodstvennyh zadaniy v processe upravleniya personalom promyshlennogo predpriyatija: avtoref. dis. kand. tehn. nauk* [Automation of manufacturing planning tasks in the process of personnel management of industrial enterprise: author's abstract... PhD in Technical Sciences]. Orel. 2013. 16 p. (In Russ.).
25. Adams W., Iyengar G., Lin C., Naphade M., Neti C., Nock H., Smith J. Semantic indexing of multimedia content using visual, audio, and text cues. *EURASIP J. Appl. Signal Process*. 2003 vol. 2. pp. 170–185.
26. Aguilar J.F., Garcia J.O., Romero D.G., Rodriguez J.G. A comparative evaluation of fusion strategies for multimodal biometric verification. *International Conference on Video-Based Biometric Person Authentication*. Guildford. pp. 830–837.
27. Bendjebbour A., Delignon Y., Fouque L., Samson V., Pieczynski W. Multisensor image segmentation using Dempster–Shafer fusion in markov fields context. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens*. 2001. vol. 39(8). pp. 1789–1798.
28. Brooks R.R., Iyengar S.S. *Multi-sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software*. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ. 1997. 416 p.
29. Buckwalter J. *Deterministic jitter in broadband communication*. Ph.D. Dissertation. California inst. Technol. Pasadena, 2006.
30. Burges C.J.C. A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data Mining and Knowledge Discovery*. 1998. vol. 2(2). pp. 121–167.
31. Chen Q., Aickelin U. Anomaly detection using the Dempster–Shafer method. *International Conference on Data Mining*. Las Vegas. pp. 232–240.
32. Dong Li. Time series analysis of jitter in sustained vowels. *ICPhS XVII, Hong Kong*, 17-21 August, 2011. pp. 603–606.
33. Hall D.L., Llinas J. An introduction to multisensor fusion. *Proceedings of the IEEE: Special Issues on Data Fusion*. 1997. vol. 85. no. 1. pp. 6–23.
34. Huang X., Acero A., Hon H.-W. *Spoken language processing: a guide to theory, algorithm and system development*. New Jersey. Prentice Hall. Inc. 2001. 980 p.
35. Kittler J., Hatef M., Duin R.P., Matas J. On combining classifiers. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell*. 1998. vol. 20(3). pp.226–239.
36. Makkook M.A. *A multimodal sensor fusion architecture for audio-visual speech recognition*. MS Thesis, University of Waterloo, Canada.
37. Mitsuyoshi Sh. *Emotion recognizing method, sensibility creating method, device, and software*. US Patent Application Publication № US 7340393. March 4, 2008.
38. *Networks and Multimedia*. IT – Instituto de Telecomunicacoes. Available at: [http://www.it.pt/area\\_p\\_3.asp](http://www.it.pt/area_p_3.asp).
39. Ni J., Ma X., Xu L., Wang J. An image recognition method based on multiple bp neural networks fusion. *IEEE International Conference on Information Acquisition*. 2004. pp. 323–326.
40. Pitsikalis V., Katsamanis A., Papandreou G., Maragos P. Adaptive multimodal fusion by uncertainty compensation. *Ninth International Conference on Spoken Language Processing*. Pittsburgh. 2009. vol. 17. no. 3. pp. 423–435.
41. Reddy B.S. *Evidential reasoning for multimodal fusion in human computer interaction*. MS Thesis, University of Waterloo, Canada. 2007. 94 p.

42. Riehl H. Skills-Based Management: New Key to IS Productivity. 1997. Available at: <http://www.dciexpo.com/speakers/riehl.htm>.
43. Schoentgen J., Guchteneere R.D. Time series analysis of jitter. *Journal of Phonetics*. 1994. vol. 23(1-2). pp. 189–201.
44. Silva D.G., Oliveira L.C., Andrea M. Jitter Estimation Algorithms for Detection of Pathological Voices. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. Hindawi Publishing Corporation. 2009. pp. 1–9.
45. Skills Management. Reasonable Expectations, Strategic Considerations and Success Factors. SkillView Technologies. Inc.. 2001. Available at: <http://www.skillview.com/library.html>.
46. Snoek C.G.M., Worring M., Smeulders A.W.M. Early versus late fusion in semantic video analysis. *ACM International Conference on Multimedia*, Singapore. 2005. pp. 399–402.
47. Wu H. Sensor data fusion for context-aware computing using Dempster–Shafer theory. Ph.D. thesis. The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA. 2003. 195 p.
48. Xu H., Chua T.S. Fusion of AV features and external information sources for event detection in team sports video. *ACM Transactions of. Multimedia Computing, Communications and Applications*. 2006. vol. 2(1). pp. 44–67.

**Басов Олег Олегович** — к-т техн. наук, докторант Академии ФСО России. Область научных интересов: обработка и кодирование речевых и иконических сигналов, проектирование полимодальных инфокоммуникационных систем. Число научных публикаций — 145. [oobasov@mail.ru](mailto:oobasov@mail.ru); Академия ФСО России, Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; р.т. +79192011897.

**Basov Oleg Olegovich** — Ph.D., doctoral Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: processing and coding of speech and iconic signals, polymodal infocommunicational systems design. Number of scientific publications — 145. [oobasov@mail.ru](mailto:oobasov@mail.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitel'naya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone +79192011897.

**Хахамов Павел Юрьевич** — к-т воен. наук, сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: подготовка и профессиональный психологический отбор персонала. Число научных публикаций — 90. [h7p2@rambler.ru](mailto:h7p2@rambler.ru); Академия ФСО России, Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; р.т. +79051653918.

**Нахамов Павел Юрьевич** — Ph.D., member of the Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: Training and professional psychological staff's selection. The number of publications — 90. [h7p2@rambler.ru](mailto:h7p2@rambler.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitel'naya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone +79051653918.

**Носов Максим Васильевич** — сотрудник Академии ФСО России. Область научных интересов: человеко-машинное взаимодействие, проектирование полимодальных интерфейсов. Число научных публикаций — 10. [Nosovm@mail.ru](mailto:Nosovm@mail.ru); Академия ФСО России, Приборостроительная, 35, г. Орел, 302034, РФ; р.т. +7(4862)549801, факс +7(4862)541325. Научный руководитель — О.О. Басов.

**Nosov Maksim Vasilevich** — Member of the Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation. Research interests: human-computer interaction, design of polymodal interfaces. The number of publications — 10. [Nosovm@mail.ru](mailto:Nosovm@mail.ru); Academy of Federal Agency of protection of Russian Federation, Priborostroitel'naya Street, 35, Orel, 302034, Russia, office phone +7(4862)549533, fax +7(4862) 541325. Scientific director — O.O.Basov.

## РЕФЕРАТ

### *Басов О.О., Хахамов П.Ю., Носов М.В.* **Повышение эффективности управления в условиях изменения психофизиологического состояния персонала.**

Повышение эффективности управления персоналом газодобывающих и газотранспортных предприятий может быть достигнуто за счет совершенствования научно-методического аппарата определения психофизиологического состояния операторов по информации от многомодального входного интерфейса автоматизированного рабочего места и его применения в интегрированных АСУ таких предприятий.

Во втором разделе статьи предложен критерий эффективности закрепления производственно-технологических функций за операторами, базирующийся на менеджменте, основанном на знаниях, и учитывающий их психофизиологическое состояние.

В третьем разделе на основе анализа существующего методического инструментария обоснован выбор джиттера периода основного тона речи и характеристических сигналов клавиатуры и «мыши» для оценивания психофизиологического состояния человека по сигналам входного интерфейса АРМ. Результаты статистического анализа данных величин указали на их непараметрический характер и необходимость дальнейшего анализа.

В четвертом разделе представлен универсальный научно-методический инструментарий для разделения джиттера на компоненты и их последующего анализа. В результате экспериментальных исследований установлено, что случайный джиттер имеет нормальное распределение, а характеристикой, зависящей от психофизиологического состояния оператора, является доля кадров анализируемого сигнала, на которых абсолютное значение случайного джиттера превышает некоторое пороговое значение.

В пятом разделе проанализированы существующие стратегии и методы объединения информации о психофизиологическом состоянии оператора, полученной по различным сигналам многомодального входного интерфейса. Обоснован выбор для этой цели обобщенной функции Харрингтона, описание которой представлено в шестом разделе.

В седьмом разделе предложена методика управления персоналом газодобывающих и газотранспортных предприятий, основанная на разработанном научно-методическом аппарате определения психофизиологического состояния операторов.

Представленные результаты апробации указанной методики свидетельствуют о повышении эффективности закрепления производственно-технологических функций за операторами на 7,4% по сравнению с известным решением и возможности автоматизации процесса управления персоналом газодобывающих и газотранспортных предприятий.

## SUMMARY

*Basov O.O., Hahamov P.Yu., Nosov M.V.* **Improving the efficiency of management under the conditions of staff's psychophysiological state changing.**

Improving the efficiency of management gas production and gas transmission providers can be achieved by improving the scientific-methodical apparatus determining operators' psychophysiological state on information from multimodal input automated workstation interface and its application in integrated ACS of such enterprises.

In the second section of the article criterion of efficiency consolidating the production-technological functions for operators based on management, and taking into account their psychophysiological state is proposed.

In the third section, on the basis of an analysis of the existing methodical tools, the choice of jitter period the main tone of speech and characteristic signals of keyboard and mouse for the evaluation of human's psychophysiological state on signals automated workstation input interface is justified. The results of the statistical analysis of the data values indicated their non-parametric nature and the need for further analysis.

In the fourth section universal scientific-methodological tools for separating jitter on the components and their subsequent analysis are provided. In experimental studies it was found that random jitter is normally distributed, and a characteristic that depends on operator's psychophysiological state, is the percentage of frames of the analyzed signal where the absolute value of the random jitter exceeds some threshold value.

In the fifth section the existing strategies and methods for combining information on the operator's psychophysiological state, obtained on different signals multimodal input interface are analyzed. The choice for this purpose of generalized Harrington's function, the description of which is represented in the sixth section is proved.

In the seventh section, the technique of staff management of gas production and gas transmission providers based on the developed scientific- methodical apparatus determining operators' psychophysiological state is proposed.

The presented results of approbation of the pointed methods indicate on the efficiency of production-technological consolidation of functions for operators in the 7,4% in comparison with the known solution and the possibility of automating process of staff management gas production and gas transmission companies.