

С. К. МЕЩАНИНОВ, докт. техн. наук, проф., Днепропетровский государственный технический ун-т, Каменское;
Ю. Ю. ГУПАЛО, студентка, Днепропетровский государственный технический ун-т, Каменское.

МЕТОД КОНТРОЛЯ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВНОГО СОСТАВА ПО ПАРАМЕТРАМ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА

Введение. В современном мире транспорт является неотъемлемой частью как социальной, так и экономической сфер общественной жизни. Немаловажную роль играет железнодорожный транспорт, функционирование которого постоянно связано с риском. К сожалению, вопрос интенсивности труда и значительное повышение скорости режима привели к снижению уровня безопасности поездного движения и, как результат, это способствовало многочисленным аварийным ситуациям. Поэтому всё чаще рассматривается вопрос надежности и безопасности движения, но только с технической стороны. В то время как на машиниста локомотивного состава ложится весь «груз» ответственности не только за исправность техники, но и за человеческие жизни. В связи с этим человеческий фактор стали считать основополагающим звеном, подлежащий к бесперебойному контролю.

Анализ последних достижений и литературы. Распознавание и контроль психофизического состояния (ПФС) человека является одним из прогрессивных направлений в науке и развитии техники. Вопросом обеспечения техническими устройствами для анализа и идентификации ПФС человека занимаются на протяжении многих лет и с появлением новых технологий меняются взгляды и мнения на решение данной проблемы. В современном мире существует несколько наиболее приближенных и распространенных методов [1] анализа ПФС человека, а именно: электроэнцефалографический метод (ЭЭГ), детектор лжи, виброизображение, тепловизионные технологии. В последнее время активно изучается метод виброизображения, основанный на сопоставлении вестибулярных рефлексов с эмоциональным поведением человека путём взаимосвязи между вестибулярной системой и сенсорной физиологией [2]. Благодаря этому методу, становится возможным не только фиксировать сложные микроперемещения объекта [3] непрерывно, а и находить определенные критерии оценки поведения на фоне вестибулярных рефлексов. Но данный метод имеет и ряд ограничений, преимущественный из которых является отсутствие в быстрой передаче информации об оценке ПФС на отдаленные расстояния [4]. Это влечёт за собой торможение в выборе параметров и отсутствие возможности адекватной оценки ПФС. Относительно же детектора лжи, то полиграф осуществляет мониторинг объекта согласно следующим критериям: частоты сердечных сокращений; периодом дыхания; кожно – гальванической реакции; артериальным давлением и тремором. Но невзирая на возможность мониторинга по перечисленным параметрам, полиграф имеет весомый недостаток – контактность устройства и затраты значительного времени на проведения тестирования одного человека. Тепловизионные технологии [5] имеют принципиальный приоритет – возможность скрыто, бесконтактно контролировать состояние человека. Но это является возможным при условии, если человек со спокойного состояния переходит в агрессивное, а не находится в устойчиво агрессивном состоянии. Поэтому многие учёные пришли к альтернативному решению задачи с применением голосовых технологий. Голосовые датчики остаются одними из самых целесообразных устройств для анализа ПФС человека, так как кроме бесконтактного метода контроля, способны погрузить человека в максимально обыденную рабочую обстановку [6] (компактность устройств). Однако проанализировав данный метод, становится понятно, что проблема всё ещё далека от решения и требует значительных доработок.

Поэтому важным считается: предложить создание подсистемы контроля ПФС машиниста в режиме реального времени по параметрам голоса с применением бесконтактного датчика.

Постановка задачи. Необходимость контроля психофизического состояния (ПФС) машиниста считается актуальной. Причиной является множество субъективных и объективных факторов, влияющих на профессиональную составляющую жизни. Прежде всего, это динамизм транспортных ситуаций, принятие решений в экстренных случаях, четкость выполнения регламента и монотонность на фоне устойчивых эмоциональных стрессов. Кроме этого, профессия машинист требует наличия специальных психологических свойств и качеств организма. Это подразумевает, что далеко не каждый «теоретически» здоровый человек, достигнувший определенного уровня навыков и знаний, сможет соответствовать занимаемой должности и обеспечить необходимый уровень безопасности движений. Считаю обязательным также отметить, что в течении рабочей смены машинист подвергается ряду вредных факторов (шум, вибрация, неблагоприятный микроклимат, электромагнитные поля, инфракрасное излучение и т.д.), которые негативно воздействуют на здоровье человека. Решением этой проблемы является создание метода контроля психофизического состояния человека в режиме реального времени без применения, каких-либо контактных датчиков. Т.о., **целью настоящей работы** является определение информационных показателей системы контроля ПФС, создание подсистемы «Голос» и вывод оценочного показателя.

Материалы и результаты исследований. Для создания подсистемы основным фактором рассмотрения выступает голос. Голос является одним из сложных физических процессов. Формально вся информация проходит через мозг, который подает команды произношения того или иного слова.

После выхода (пропускания) воздуха из лёгких, он проходит через голосовые связки, а остальное формирование происходит через губы, зубы и язык. На речь говорящего может повлиять любой фактор из вне, соответственно и на его ПФС.

Необходимыми задачами подсистемы считаются:

- идентификация голоса машиниста, с помощью метода определения частоты основного тона;
- определения критериев речевого сигнала для установки ПФС машиниста;
- вывод оценочного показателя голоса с помощью анализа данных.

Для этого необходимо применение следующего алгоритма контроля ПФС машиниста.

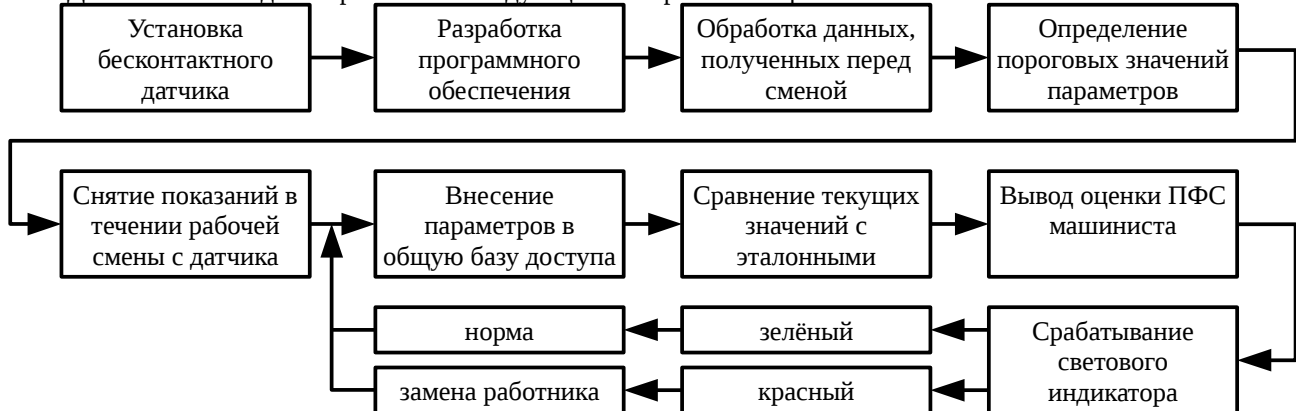


Рисунок 1 – Алгоритм работы системы контроля ПФС машиниста

Голос рассматриваем как звуковое колебание множества гармоник с определённой частотой.

$$g(e) = \sum_{i=1}^N g_i(e) \quad (1)$$

Для выполнения данной методики необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Запись речевого материала машиниста перед рабочей сменой. Это поможет идентифицировать оператора по голосу, а также будет необходим для сравнения с дальнейшими результатами исследования. После получения материала всю речь машиниста мы разбиваем на равные интервалы.

$$f_{sl} = g(t) / N \quad (2)$$

Фрагменты создают множество $f_{sl} = \{ f_{sli} \}$, $i = 0 \dots n$, которые заносятся в массив данных, где подлежат анализу и обработке. Для идентификации голоса считаем целесообразным, определить основной тон машиниста (гласные звуки), так как они образуются непосредственно через голосовые связки, в то время как согласные представляют собой смесь шума и тона, прохождение звука происходит через препятствие. Для нахождения гласных звуков требуется сравнение всех слогов по высоте голоса (вершинах пик на графике). С учётом того, что мелодичность вокализма будет, зависит от вида слогов – открытый или закрытый. Все значения множества подлежат по парному сравнению во всех возможных сочетаниях. В каждой паре выделяется наиболее предпочтительное слагаемое $A = a(\xi_i > \xi_j)$.

Для этого существенно составить матрицу бинарных предпочтений $A = \| a_{ij} \|_{m \times m}$, $m = f_{sl}$.

Оценка происходит следующим образом: если слог открытый, то реакция системы $\xi = 1$, если слог закрытый, то реакция системы $\xi = 0$. Определяется цена каждой составляющей путем суммирования булевых переменных по строке матрицы:

$$a_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}, i=0 \dots n \quad (3)$$

Находим ячейку a_i , которой отвечает $\max_{i,j} a_i$. Искомый вес ячейки определяющий относительную важность будет равен:

$$V_n = a_i / (N - m), \quad (4)$$

где N – количество элементов в строке матрицы при сравнении с одним элементом; m – количество сравненных элементов относительно самих себя ($a_i = a_j$)

Таблица 1 – Матрица А

a_i / a_j	a_1	a_2	a_3	a_{14}	...	a_n
a_1	X	1	1	1	...	0
a_2	1	X	0	0	...	1
a_3	0	1	X	0	...	0
a_4	1	0	0	X	...	0
...	X	...
a_n	0	1	0	0	...	X

Для проведения фактической оценки гласного звука после выбора нужного фрагмента речи необходимо найти диапазон фрагмента, так называемые тональные высоты. С помощью автокорреляционного анализа речевого сигнала (рис. 2), способствующего нахождению периодов колебания сигнала, которые из-за наложения шума [7] или колебаний сигнала на других частотах не представляется возможным, вычисляем фактическую оценку частоты основного тона.

Учитывая тот факт, что исследованный объект – «машинист» находится не в идеальной среде, а на него влияет ряд неблагоприятных факторов, основными из которых являются шум и вибрация. Поэтому рассматриваем каждое слово из регламента машиниста, как гармонический сигнал с наложением шумов.

$$w(t) = \sum_{j=1}^n w_j(t) + \sum_{i=1}^n L_i(t) \quad (5)$$

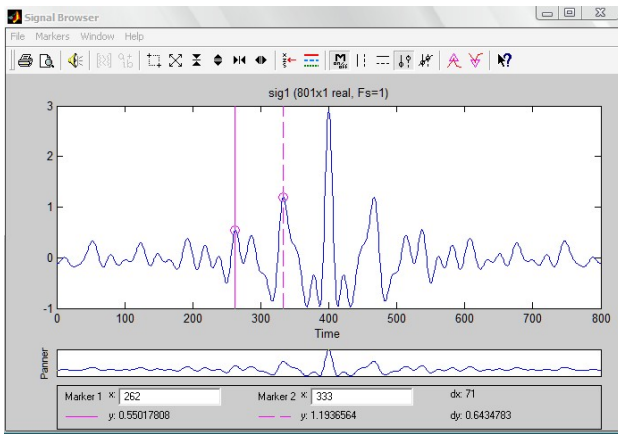


Рисунок 2 – Фактическая оценка частоты основного тона (реализовано в среде Matlab)

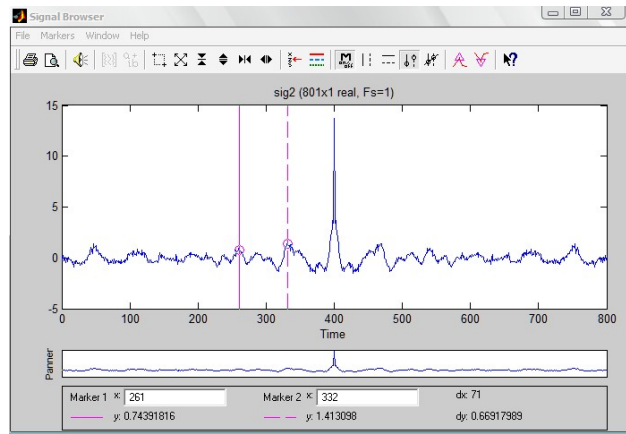


Рисунок 3 – Фактическая оценка частоты основного тона при наложении шума на речевой сигнал (реализовано в среде Matlab)

2. Для контроля ПФС машиниста необходимо выбрать ряд параметров, которые помогут определить состояния оператора в течении рабочей смены. Граничные значения устанавливаются путём записи голоса машиниста перед рабочей сменой и сравнения эталонных с полученными данными. По нашему мнению, анализировать нужно следующие параметры (рис. 4):

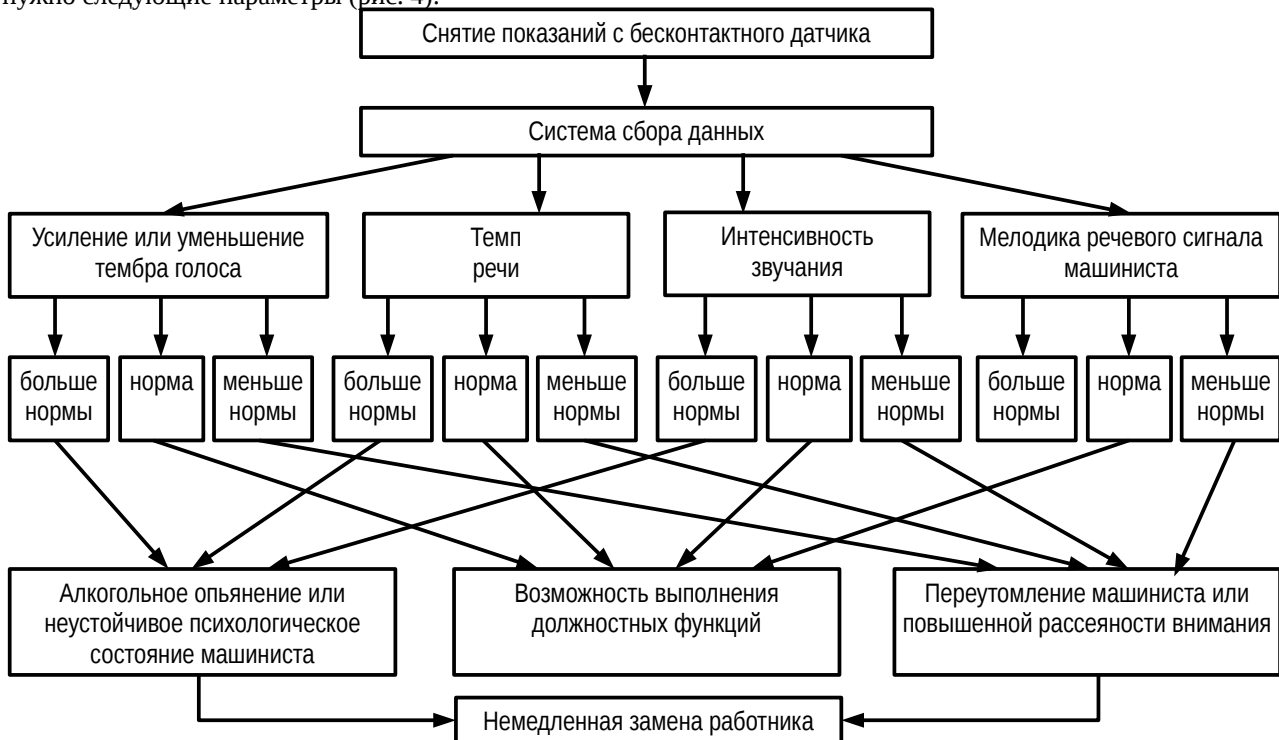


Рисунок 4 – Блок-схема оценки ПФС машиниста

– высота тембра голоса. В течение определенного интервала времени измеряются показания машиниста. От максимального значения («порогового») тембра голоса Q_{max} отнимается погрешность δ_Q , получаем эталонное или сравнительное значение Q_{cr}

$$Q_{cr} = Q_{max} - \delta_Q, \quad (6)$$

где δ_Q – погрешность показаний измерения.

Если при сравнении значений $Q < Q_{cr}$, это свидетельствует о том, что ПФС отклонено от нормы вследствие усталости и работника необходимо заменить.

Если при сравнении данных $Q > Q_{cr}$, это означает, что машинист находится в перевозбужденном состоянии или в состоянии алкогольного опьянения и его необходимо отстранить от работы.

– темп речи. В течение определенного интервала времени измеряются показания машиниста. От максимального значения («порогового») скорости речи G_{max} отнимается погрешность δ_G , получаем эталонное или сравнительное значение G_{cr}

$$G_{cr} = G_{max} - \delta_G \quad (7)$$

где δ_G – погрешность показаний измерения.

Если $G < G_{cr}$, то можно судить о плохом самочувствии машиниста, усталости, рассеянности внимания.

Если же $G > G_{cr}$, то можно говорить о повышенном агрессивном состоянии или о неустойчивости психического состояния.

При условии $G = G_{cr}$, при сравнение информации выходит, что состояние машиниста соответствует норме и он может выполнять поставленные задачи.

– интенсивность звучания. В течение определенного интервала времени измеряются показания машиниста. Полученное усредненное значение I_{sr} сравнивается с заданными эталонными значениями

$$I_g = I_{sr} - \delta_I \quad (8)$$

Если же $I < I_q$, то можно говорить о рассеянности внимания машиниста или о его подавленном состоянии.

Если же $I > I_q$, то можно говорить о повышенном агрессивном состоянии или о неустойчивости психического состояния или о состоянии алкогольного опьянения.

– мелодика речевого сигнала машиниста. В течение определенного интервала времени измеряются показания машиниста. Для этого необходимо сравнить частоту основного тона, полученную перед рабочей сменой с данной частотой в процессе выполнения регламентных команд.

Если $f_{0s} < f_{0m}$, то можно сделать вывод, что машинист находится в подавленном состоянии.

Если $f_{0s} > f_{0m}$, это свидетельствует о том, что машинист находится в перевозбужденном или агрессивном состоянии.

Данные параметры заметны на графике не только по величине размаха голоса, а и по крутизне пиковых высот и спадов.

3. После сравнения с эталонными данными числовые значения заносятся в базу данных, где хранятся одновременно. Считаем необходимым найти искомые веса каждого из параметров для определения оценочной характеристики голоса.

Все анализирующиеся значения заносим в матрицу $B = \| b_{ij} \|$, где m – контролируемые параметры, n – временные промежутки. Для точной оценки составляется модифицированная матрица следующим образом:

$$B_{ij} = m - b_{ij} \quad (9)$$

Затем находим суммарные оценки по каждому параметру:

$$B_i = \sum b_{ij}$$

Полученные суммарные оценки требуются для вычисления искомых весов параметров:

$$W_{mi} = B_i / \sum B_i \quad (11)$$

Искомые веса способствуют нахождения предпочтения одного над другими характеристиками и показывают позиции каждого. Принимаем $\sum_{i=1}^N m_i = 1$, тогда на каждый параметр максимальная оценка будет составлять $m_i = 1 / N$.

С учётом заданного условия и значений искомых весов определяем оценочный показатель голоса:

$$V_{ps} = \sum_{i=1}^n \frac{(m_i \cdot W_{mi})}{N} \quad (12)$$

Выводы. Разработан метод контроля психофизического состояния с помощью подсистемы «Голос», который способен идентифицировать личность и контролировать состояние в течение рабочей смены. Также выбранные контролируемые параметры необходимы для контроля ПФС машиниста.

Список литературы: 1. Полонников Р.И. На пути к постижению сущности электрических проявлений сознания. / Полонников Р.И. - РАН СПбИИА, СПб, 2007.- 57с. 2. Aw S. T. Effects of Unilateral Vestibular Deafferentation on the Linear Vestibulo-Ocular Reflex Evoked by Impulsive Eccentric Roll Rotation. / Todd M. J., McGarvie L. A., Migliaccio A. A., Halmagyi G. M. // J Neurophysiol. 2003. Feb. Vol. 89. p. 969-978. 3. Минкин В.А. Виброизображение. / Минкин В.А. – СПб.: Реноме, 2007. – 108с. 4. Экман П. Узнай лжеца по выражению лица / Пер. с англ./ Экман П. – СПб.: Питер, 2013 – 272с. 5. Коган И.М. Биоэстрасенсорика/ Коган И.М. - М.: Изд. Дом Синергия, 2000. – 200 с. 6. Орлов А.И. Прикладная статистика/ Орлов А.И. - М: Издательство «Экзамен»,2004. – 656с. 7. P. D. Cremer. Semicircular canal plane head impulses detect absent function of individual semicircular canals/ G. M. Halmagyi, S. T. Aw, I. S. Curthoys, L. A. McGarvie, M. J. Todd, R. A. Black and I. P. Hannigan. // Brain. Vol. 121. Issue 4. 1998 P. 699–716.

Bibliography (transliterated): 1. Polonikov R.I. On the way to understanding the essence of electrical manifestations of consciousness. - RAS SPbIAA, St. Petersburg, 2007.- 57p.Print. 2. Aw S. T., Todd M. J., McGarvie L. A., Migliaccio A. A., Halmagyi G. M. Effects of Unilateral Vestibular Deafferentation on the Linear Vestibulo-Ocular Reflex Evoked by Impulsive Eccentric Roll Rotation // J Neurophysiol. 2003. Feb. Vol. 89. p. 969-978. Print. 3. Minkin V.A. Vibrogram. - St. Petersburg: Renome, 2007. – 108p. Print. 4. Ekman P. Find out a liar by the expression of a person / Trans. With Eng. - St. Petersburg: Peter, 2013 – 272p. Print. 5. Kogan I.M. Bioextrasensorics - Moscow: Izd. House Synergy, 2000. - 200p. Print. 6. Orlov A.I. Applied statistics - M: Publishing house "Examen", 2004. – 656p. Print. 7. P. D. Cremer, G. M. Halmagyi, S. T. Aw, I. S. Curthoys, L. A. McGarvie, M. J. Todd, R. A. Black and I. P. Hannigan. Semicircular canal plane head impulses detect absent function of individual semicircular canals // Brain. Vol. 121. Issue 4. 1998 P. 699–716. Print.

Поступила 30.04.2017