



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

УДК 612.821+612.223+616-073.97+15:656.2

В.В. САВЧЕНКО

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

БОРТОВАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Рассматриваются функциональные возможности модернизированной бортовой системы мониторинга функциональных состояний операторов транспортных средств, в основе которой лежит система поддержания работоспособности водителей. Автоматическая интерпретация функциональных состояний операторов реализуется на основе анализа динамики изменений электродермальных параметров и «интенсивности» выполнения ряда «типовых» и/или «основных» алгоритмов деятельности или их фрагментов. Бортовая система мониторинга прежде всего предназначена для развития существующих и разработки новых методов повышения эффективности функционирования водителей, проведения экспериментальных исследований непосредственно во время выполнения оператором алгоритмов деятельности, при функционировании транспортных средств. Получаемые результаты могут использоваться для обоснования рационального режима труда и отдыха, установления взаимосвязи между действиями водителей и критериями, характеризующими их.

Ключевые слова: транспортное средство, оператор, бортовая система мониторинга, функциональное состояние, электродермальная активность, кожно-гальваническая реакция

Введение. Сегодня разработаны и серийно выпускаются системы поддержания работоспособности операторов (машинистов локомотивов и водителей автомобилей) транспортных систем, где автоматическая интерпретация функционального состояния основывается на мониторинге психофизиологических параметров (прежде всего электродермальной активности ЭДА) и выполнении формализуемых алгоритмов деятельности или их фрагментов (рациональных действий). Например, при управлении автомобилем рациональными действиями водителя являются отжатие педали тормоза, переключение скоростных режимов, включение поворотов и др. С использованием данных контроля рациональных действий организуется обратная связь по результатам деятельности (ДОС). Системой автоматически интерпретируются функциональные состояния операторов типа «бодрствование — сниженный уровень бодрствования» как две крайние точки в пространстве функциональных состояний этого типа и динамика переходов между ними. Функциональное состояние «сниженный уровень бодрствования» означает, что водитель еще способен управлять транспортным средством, но время его реакций и

качество управляющих действий ухудшаются, увеличивается вероятность совершения ошибок.

Анализ параметров ЭДА достаточно давно, широко и успешно применяется для диагностики в медицине, психофизиологии и эргономике в качестве высокочувствительного показателя уровня активации нервной системы. ЭДА является показателем состояния центральной нервной системы и широко используется при осуществлении профессионального отбора и при проведении исследований операторов эргатических систем и рассматривается как один из наиболее информативных периферических показателей динамики изменения функционального состояния человека-оператора. Показано, что ЭДА сопровождает все психические процессы (восприятие, внимание, мышление и эмоции) до тех пор, пока для их реализации требуется повышение активности [1, 2]. В постсоветских психофизиологических научных школах, как правило, среди показателей ЭДА выделяют тоническую составляющую (медленные изменения электрического сопротивления кожи (ЭСК)) и фазическую составляющую (быстрые изменения ЭСК), которую часто называют кожно-гальванической реакцией (КГР).

По данным многочисленных исследований КГР является вегетативным компонентом ориентировочной реакции и сопровождает начальный период практически любой психической деятельности. В случае относительно спокойной, монотонной работы КГР уменьшается, однако в момент умственного или эмоционального напряжения она вновь усиливается. Эмоциональное возбуждение, как правило, вызывает четко выраженную КГР [3]. Известно, то эффективность выполнения оператором алгоритмов деятельности во многом определяется текущим функциональным состоянием и, в частности, уровнем эмоционального возбуждения [4]. Согласно закону Джеркса—Додсона [5], каждому виду деятельности соответствует определенный оптимум эмоционального возбуждения, при котором реакции оператора оказываются наиболее адекватны условиям.

Для решения указанной проблемы во многих странах разрабатываются системы, контролирующие функциональное состояние водителей транспортных средств. По заказу Британского Совета Безопасности и Стандартов на железной дороге (ЖД) фирмой Quintec было проведено исследование и подготовлен отчет [6]. Исследование включало всесторонний и систематический поиск имеющихся в мире аналогичных устройств, оценку доступности и пригодности их для машинистов. Согласно отчету фирмы Quintec, из 13 устройств, обнаруженных при информационном поиске, три оказались пригодными для машинистов и удовлетворяющими ограничениям инфраструктуры британских ЖД. Одно устройство, телеметрическая система контроля бодрствования машиниста локомотива (ТСКБМ), «оказалось зрелым с точки зрения развития и применения и является наилучшим кандидатом для внедрения в систему ЖД Великобритании». ТСКБМ 14 лет выпускается серийно, оборудовано более 4 тысяч локомотивов. С этими системами работают более 12 тысяч машинистов, и в течение всего времени эксплуатации (более 45 миллионов человеко-часов наработки) не было аварий из-за засыпания или снижения уровня бодрствования машинистов [7].

При проектировании отечественной системы поддержания работоспособности водителей (СПРВ) использовалась методология мониторинга функционального состояния операторов транспортных средств, разработанная при проектировании ТСКБМ.

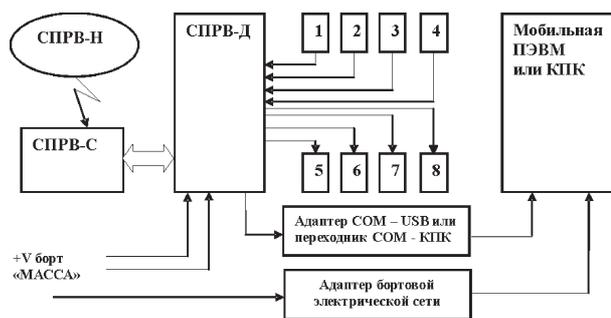
СПРВ предназначена для мониторинга функционального состояния водителя и отображения уровня его бодрствования в реальном масштабе времени, т.е. организации семантической визуальной биологической обратной связи (БОС) и ДОС, характеризующих функциональное состояние. СПРВ выдает предупреждающие звуковые сигналы, при устойчивой динамике функционального состояния водителя в направлении к снижению уровню бодрствования (ре-

лаксации) и обеспечивает автоматическое формирование управляющих воздействий на электрические цепи (аварийную сигнализацию, клаксон, фары и т.п.) автомобиля в случае, если водитель не отреагировал на предупреждение, тем самым, упреждая глубокую релаксацию (и соответственно переходы в состояния «дремы» и «засыпания») и поддерживая водителя в состоянии готовности к экстренному действию [8, 9].

С использованием макета бортовой системы мониторинга функциональных состояний операторов транспортных средств проведены исследования динамики изменения функционального состояния у водителей междугородних автобусов. Результаты представлены в [10].

Бортовая система мониторинга функционального состояния оператора транспортных средств. Экспериментальная бортовая система позволяет проводить исследования динамики изменений функциональных состояний операторов транспортных средств во взаимосвязи с выполняемыми алгоритмами деятельности или их фрагментами, документировать результаты, а также может быть использована для проведения исследований в области эргономики и инженерной психологии с целью минимизации негативных аспектов «человеческого фактора» при проектировании и функционировании транспортных средств различного назначения.

Схема экспериментальной системы представлена на рисунке 1, где СПРВ-Н — носимая часть системы «Браслет» и «Перстень» (1 — на рисунках 2—4) для мониторинга электродермальных параметров, их предварительной обработки и передачи текущей информации средствами ближней телеметрии на стационарную часть системы; СПРВ-С — приемник сигналов от носимой части системы, контроллер системы для окончательной обработки сигнала по базовому алгоритму и организации биологической обратной связи (2 — на рисунках 2—4); СПРВ-Д — блок датчиков и исполнительных реле системы для регистрации выполняемых алгоритмов деятельности (входы 1—4 на рисунке 1) и выдачи управляющих сигналов на электрооборудование транспортного средства (выходы 5—8 на рисунке 1; 3 — на рисунках 2—4).



Пространство кабины транспортного средства

Рисунок 1 — Схема экспериментальной бортовой системы



Рисунок 2 — Общий вид бортового макета экспериментальной системы



Рисунок 3 — Система установленная на борту седельного тягача МАЗ 544069 320

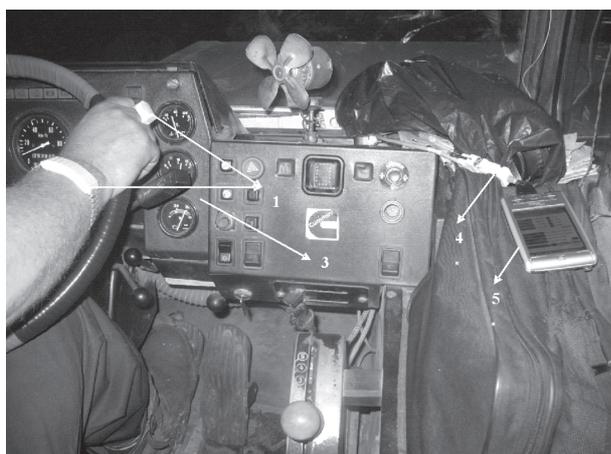


Рисунок 4 — Система, установленная на борту карьерного самосвала БелАЗ-75473

Общий вид бортовой системы мониторинга функциональных состояний оператора транспортного средства представлен на рисунке 2. На рисунке 3 показана система, установленная на борту седельного тягача МАЗ 544069 320. На рисунке 4 показана система, установленная на борту карьерного самосвала БелАЗ-75473. Обозначения на рисунках 2—4: 1 — СПРВ-Н («Браслет» и «Перстень»); 2 — СПРВ-С;

3 — СПРВ-Д (под крышкой панели приборов или предохранителей); 4 — адаптер COM-USB или переходник COM — КПК; 5 — мобильная ПЭВМ — ноутбук MaxSelect Mission A330 или КПК Fujitsu-Siemens Pocket LOOX N/C Series; 6 — блок питания компьютера от бортовой сети седельного тягача МАЗ 544069 320.

Структура и форматы экспериментальных данных. Фрагмент записи экспериментальных данных в численном виде представлен в таблице, где: 1 — дата; 2 — текущее время записи; 3 — характеристики сигнала с датчика СПРВ-Н «Браслет»; 4 — характеристики сигнала с датчика СПРВ-Н «Перстень»; 5 — признак «тревоги» по тонической составляющей «Браслета»; 6 — отмена «тревоги» по параметрам «Браслета»; 7 — признак «тревоги» по фазической составляющей «Браслета»; 8 — признак «тревоги» по тонической составляющей «Перстня»; 9 — отмена «тревоги» по параметрам «Перстня»; 10 — признак «тревоги» по фазической составляющей «Перстня»; 11 — показания индикатора СПРВ-С; 12 — признак нажатия водителем кнопки «РБ»; 13 — вход 1 (левый поворот); 14 — вход 2 (работа педалью тормоза); 15 — вход 3 (включение аварийной световой сигнализации водителем); 16 — вход 4 (правый поворот); 17 — выход 1 (автоматическое включение аварийной световой сигнализации); 18 — выход 2 (автоматическое включение звукового сигнала автомобиля); 19 — выход 3 (не задействован, резервный); 20 — выход 4 (реле Mute, автоматическое уменьшения громкости автомобильного радиоприемника).

На рисунках 5—10 представлены формы отображения основных экспериментальных данных в графическом виде.

На рисунке 7 и рисунке 8: *Вход 1* — левый поворот; *Вход 2* — срабатывание тормозной системы; *Вход 3* — включение аварийной световой сигнализации; *Вход 4* — правый поворот. Из рисунков 7 и 8 видно, что в зависимости от условий движения (городской цикл движения в Москве и окрестностях и движение по незагруженной автомагистрали Москва—Брест) интенсивность выполнения алгоритмов деятельности водителя разная.

На рисунках 9 и 10 представлены в графическом виде, основные характеристики при «срабатывании» СПРВ. Результаты получены во время стоянки автомобиля с включенным двигателем, проведена тестовая проверка работы СПРВ и моделирование «релаксации» водителя (изменение функционального состояния водителя в направлении «потеря бдительности» и возможное последующее «засыпание»). При первом «предупреждении» СПРВ (приблизительно в 19.48) по просьбе экспериментатора водитель отреагировал (нажал кнопку на верхней крышке блока СПРВ-С) с запаздыванием чуть больше одной минуты, в результате СПРВ автоматически включила все задействованные выходы: *Выход 1* (автоматическое включение аварийной световой сигнализации); *Вы-*

Таблица — Фрагмент записи экспериментальных данных в численном виде

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
25.09.2007	13:37:11	-3900	-2032	0	0	0	0	9	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:11	-3900	-2031	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:11	-3899	-2031	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:11	-3898	-2031	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:11	-3898	-2034	0	0	0	0	1	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:11	-3898	-2038	0	0	0	0	1	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3899	-2044	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3900	-2048	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3901	-2052	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3903	-2053	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3905	-2053	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3905	-2052	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3902	-2051	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:12	-3896	-2050	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-3889	-2045	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-3889	-2035	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-3899	-2019	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-3946	-1991	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-4004	-1932	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-4039	-1889	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-4054	-1896	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:13	-4061	-1943	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4062	-2006	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4056	-2069	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4052	-2076	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4057	-2012	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4063	-1948	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4055	-1884	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4029	-1827	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0
25.09.2007	13:37:14	-4009	-1858	0	1	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	0	0	0

ход 2 (автоматическое включение звукового сигнала автомобиля); *Выход 3* (не задействован в данной конфигурации системы); *Выход 4* (реле Mute, автоматическое уменьшения громкости автомобильного радиоприемника) (см. рисунки 9 и 10), т.е. перевела систему «водитель — автомобиль» в аварийный режим функционирования.

С использованием экспериментальной системы проведены натурные экспериментальные исследования динамики изменений функционального состояния водителей карьерных самосвалов БелАЗ-75137 и БелАЗ-75473 во взаимосвязи с интенсивностью выполнения алгоритмов деятельности или их фрагментов, при различных режимах эксплуатации (в условиях полигона завода и в карьере РУПП «Гранит»). Полученные результаты свидетельствуют о том, что

для минимизации влияния негативных аспектов «человеческого фактора» на эффективность функционирования карьерных автосамосвалов семейства БелАЗ могут использоваться системы поддержки работоспособности водителей (СПРВ). Результаты испытаний СПРВ на полигоне завода и в карьере РУПП «Гранит» положительные. Комплекс СПРВ работает в соответствии с руководством по эксплуатации. Средства ближней телеметрии СПРВ помехоустойчивы на карьерном самосвале БелАЗ с электромеханической трансмиссией. СПРВ может быть рекомендована для установки на карьерные самосвалы БелАЗ, как дополнительная опция.

Заключение. Для повышения безопасности эксплуатации автомобильной техники путем уменьшения ошибочных или несвоевременных действий во-

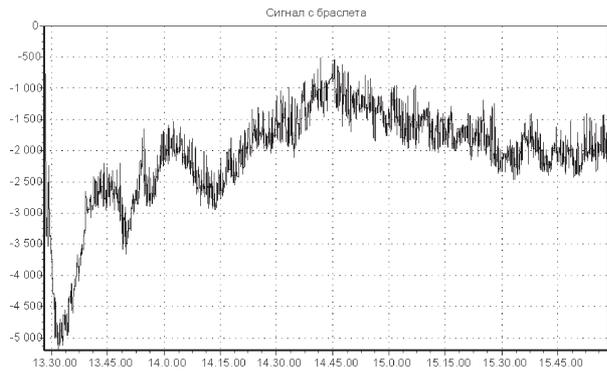


Рисунок 5 — Сигнал, характеризующий электродермальные параметры водителя, с блока СПРВ-Н «Браслет»

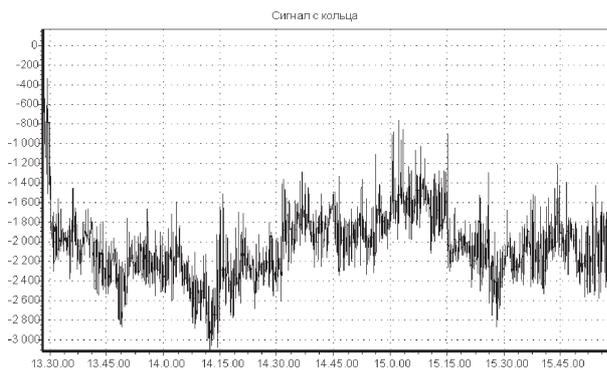


Рисунок 6 — Сигнал, характеризующий электродермальные параметры водителя, с блока СПРВ-Н «Перстень»

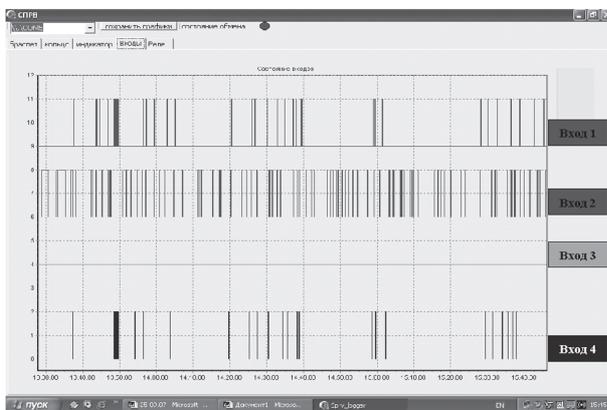


Рисунок 7 — Временные характеристики выполняемых водителем алгоритмов деятельности (или их фрагментов) при городском цикле движения седельного тягача

дителей (экипажей) рекомендуется использовать бортовые системы мониторинга функционального состояния, работающие в режиме реального времени.

С использованием экспериментальной системы проведены исследования динамики изменения функционального состояния у водителей седельных тягачей МАЗ и большегрузных карьерных самосвалов БелАЗ во время поездок по маршрутам различной протяженности в разное время суток. Даже при выполнении водителями высокой квалификации всех требований по соблюдению режимов труда и отдыха, невозможно превентивно спрогнозировать динамику развития их функционального состояния во время выполнения алгорит-



Рисунок 8 — Временные характеристики выполняемых водителем алгоритмов деятельности (или их фрагментов) при движении седельного тягача по магистрали Москва-Брест

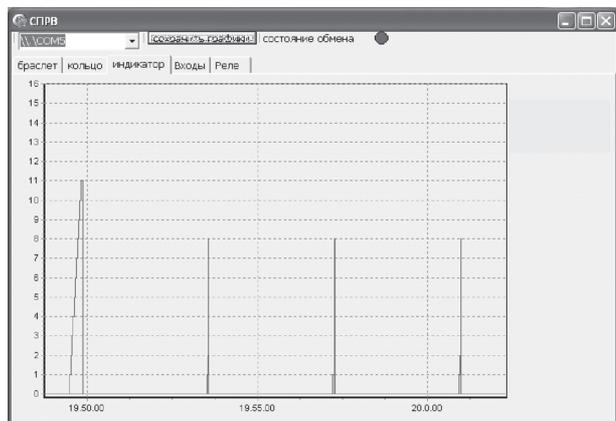


Рисунок 9 — Динамика изменений показаний индикаторной панели блока СПРВ-С во взаимосвязи с обработкой водителем дополнительного алгоритма

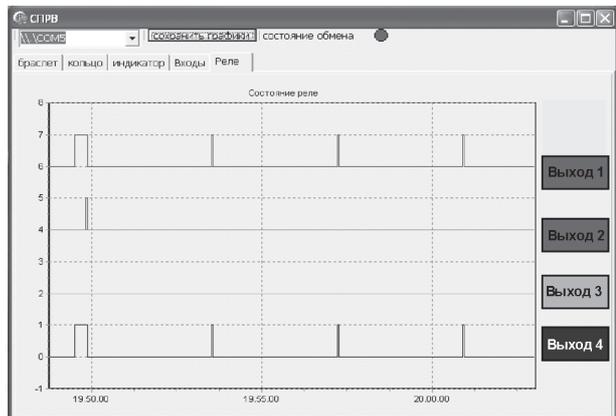


Рисунок 10 — Автоматический перевод автомобиля в аварийный режим функционирования

мов деятельности с точностью, пригодной для практического применения в конкретном случае и для конкретного экипажа.

В процессе проведения испытаний выполнены экспериментальные исследования динамики изменения ЭДА у водителей, непосредственно во время выполнения алгоритмов деятельности. Первичные результаты исследований показывают наличие взаимосвязи между ситуационной обстановкой, в которой

в конкретный момент времени находится транспортное средство, характером и интенсивностью выполнения штатных алгоритмов деятельности водителем, динамикой изменений ЭДА и ее характеристик.

Получено подтверждение, что методология, заложенная в основу СПРВ, позволяет не только упреждать развитие глубокой релаксации и/или «засыпание» водителей (например, обусловленной монотонией отдельных этапов алгоритмов деятельности, повышением комфортности и эргономичности рабочих мест), но и поддерживать водителя в состоянии готовности к экстренному действию (сокращает время реакции на складывающуюся дорожную обстановку). СПРВ также автоматически предупреждает развитие «сенсорного голода» водителя при возникновении монотонных фрагментов в алгоритмах деятельности, поскольку сигналы семантической БОС релевантны.

С использованием экспериментальной системы проведены квалификационные испытания установочной серии СПРВ (совместно с БелНИИТ «Транстехника»). Межведомственная комиссия, в составе специалистов Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и его подведомственных организаций, Управления государственной автомобильной инспекции Министерства внутренних дел Республики Беларусь, Белорусской ассоциации международных автомобильных перевозчиков, Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси рекомендовали внедрение СПРВ в автотранспортных организациях, осуществляющих перевозки пассажиров и грузов в междугороднем и международном сообщении.

Список литературы

1. Раевская, О.С. Кожно-гальваническая реакция при определении минутного интервала времени / О.С. Раевская, Т.Д. Джебраилова, С.А. Кузнецов // Физиология человека. — 1985. — Т. 11, № 5. — С. 744—750.
2. Грекова, Т.И. Кожно-гальваническая реакция как показатель изменений психического состояния / Т.И. Грекова // Физиология человека. — 1975. — Т. 1. — С. 993—997.
3. Тараканов, П.В. Кожно-гальваническая реакция у детей дошкольного возраста при различных функциональных состояниях / П.В. Тараканов // Журн. высш. нервн. деятельности. — 1982. — Т. 32, № 5. — С. 967.
4. Фролов, М.В. Биологическая обратная связь — метод и качество операторской деятельности / М.В. Фролов, В.А. Глазкова, Л.С. Хачатурьянц // Психологич. журнал. — 1984. — Т. 5, № 2. — С. 85—91.
5. Yerkes, R.M. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit formation / R.M. Yerkes, J.D. Dodson // Journal of Comparative Neurology and Psychology. — 1992. — Vol. 18. — Pp. 459—482.
6. Driver vigilance devices: systems review / London, Railway Safety, 2002. — 105 с.
7. Физические принципы построения систем безопасного мониторинга состояния человека-оператора: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Дементенко. — М., 2010. — 42 с.
8. Герус, С.В. Система мониторинга состояния водителя и безопасность на автомобильном транспорте / С.В. Герус [и др.] // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. — 2003. — № 8. — С. 46—52.
9. Савченко, В.В. Обратные связи в задаче поддержания операторов систем «человек — машина» в состоянии готовности к экстренному действию / В.В. Савченко // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. — 2005. — Т. 4, № 4. — С. 477—481.
10. Савченко, В.В. Система поддержания работоспособности водителя: результаты испытаний и экспериментальных исследований / В.В. Савченко, М.С. Свистун, В.В. Сикорский // Автомобильная пром-сть. — 2008. — № 1. — С. 32—34.

Savchenko V.V.

Onboard system for monitoring the functional state of vehicle operator

Functionality of the modernized onboard system for monitoring of functional state of vehicle operators which based on the system of maintenance of working capacity of drivers are considered. Automatic interpretation of functional state of operators are carrying on the results of the analysis of the dynamics of electrodermal changes parameters and «intensity» of performance of some «typical» and/or «basic» algorithms of activity or their fragments. The onboard system of monitoring, first of all, is intended for development existing and elaboration of new methods for increase of efficiency of drivers functioning, as well as carrying out of experimental researches, is performed during the vehicle operator algorithms of activity. Received results can be used for a substantiation of a rational mode of work and rest, an evaluation of interrelation between actions of drivers and criteria, their characterizing.

Поступила в редакцию 01.10.2011.