

УДК 656.13:338.47

Е.В. Шашина

канд. техн. наук, ст. преп., МАДИ,

тел.: 8(499)155-07-29,

e-mail: cryingsmile@mail.ru

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ВОДИТЕЛЯ АВТОБУСА

Аннотация. Приведено определение надёжности водителя, которую предложено оценивать с использованием психофизиологических показателей водителя. Дан обзор различных методов психофизиологических исследований и обосновано использование показателя «частота сердечных сокращений». Представлены результаты оценки надёжности водителя по предложенной методике.

Ключевые слова: надёжность водителя, система «водитель – автомобиль – дорога – среда», напряжённость труда водителя, психофизиология водителя, частота сердечных сокращений, уровень безопасности городского маршрута.

Введение

Согласно оценкам, вклад общественного автомобильного транспорта в перевозки пассажиров составляет 53...55%. Эффективность перевозочного процесса определяется не только его грамотной организацией, уровнем работоспособности и техническим состоянием автомобилей и парков, но и сложноформализуемым «человеческим фактором», в частности, надёжностью водителя. Под надёжностью водителя можно понимать способность своевременно и безошибочно принимать и обрабатывать информацию о состоянии транспортного

средства, дорожных условиях, а также принимать и реализовывать адекватные решения по управлению транспортным средством в течение заданного промежутка времени с допустимыми уровнями напряжённости труда и рисками возникновения конфликтных ситуаций, дорожно-транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций [1].

Достоверные теоретические методы оценки надёжности водителя как элемента системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» пока не разработаны. Вместе с этим надёжность водителя определяется его психофизиологическими показателями. Так, основными психологическими и физиологическими качества водителя, влияющими на безопасность движения, являются: особенности зрительного восприятия скорости, расстояния и пропорций предметов; концентрация, распределение и устойчивость внимания; невосприимчивость к помехам; стрессоустойчивость. С помощью психофизиологических показателей можно оценить напряжённость труда водителя, что и будет косвенной оценкой надёжности водителя при исследованиях в реальных условиях.

Приведённые испытания являются составной частью методики обоснования мер по снижению риска аварий и катастроф в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда» [2].

Психофизиологические методы исследования надёжности

Из большого количества методов психофизиологических исследований, применяемых в инженерной психологии, интерес представляют те, которые удовлетворяют, как минимум, двум требованиям: они должны давать количественные характеристики психофизиологического состояния водителя и применение их не должно нарушать обычных трудовых условий водителя. Обзор таких методов приведён в табл. 1. Анализ психофизиологических методов исследования показал, что частота сердечных сокращений (ЧСС) является наиболее

простым в использовании. В [3] приведены значения ЧСС, соответствующие разной степени напряжённости: при ЧСС менее 70 уд./мин. оператор находится в состоянии монотонии, диапазон ЧСС от 70 до 85 уд./мин. соответствует функциональному комфорту, значения ЧСС выше 85 уд./мин. соответствуют стрессу.

Таблица 1

Методы психофизиологических исследований
водителя

Метод	Достоинства	Недостатки
Электроэнцефалография (ЭЭГ). Регистрация колебаний электрических потенциалов мозга с поверхности черепа. Суммарная электрическая активность клеток мозга в каждый момент времени [4]	Высокая информативность: отражает малейшие изменения функции коры головного мозга и глубинных мозговых структур, обеспечивая миллисекундное временное разрешение, не доступное другим методам исследования мозговой активности. Качественный и количественный анализ функционального состояния головного мозга и его реакций при действии раздражителей	Регистрация сигнала производится с помощью наложенных на кожную поверхность головы отводящих электродов, крепление которых создаёт проблемы для водителя
Электрокардиография (ЭКГ). Регистрация электрической активности миокарда. Анализ формы зубцов и соотношения интервалов между комплексами	Основной индикатор эмоционального состояния человека при физической и умственной нагрузке. Наиболее изученный показатель; методика измерения и анализа наиболее совершенна [5]	Трудно размещать электроды, снимающие потенциал, на теле водителя. Многопроводные системы могут помешать работе водителя
Частота сердечных сокращений (ЧСС). Частный случай ЭКГ. Анализ изменения частоты пульса	Легко поддается регистрации и обработке. Является хорошим показателем напряжённости работы водителя, особенно в тех случаях, где могут появляться стрессовые нагрузки. Можно судить о моменте обнаружения водителем сигнала и о его значимости. Учащение пульса коррелирует с бдительностью [5]	Нет

Метод	Достоинства	Недостатки
<p>Кожно-гальваническая реакция (КГР). Регистрация электрического сопротивления кожи</p>	<p>Сопротивление кожи уменьшается при воздействии любого раздражителя. Используется для оценки эмоционального состояния человека и процесса приёма и переработки им информации, а также как индикатор подготовки к действию, внимания и уровня бдительности. Чувствительно к развитию стрессовой реакции [6]. Отмечены характерные изменения КГР с развитием утомления человека, особенно в условиях однообразной работы [7]. Частота КГР, являясь более контролируемым показателем по сравнению с числовыми значениями сопротивления, позволяет оценить частоту поступления к водителю ценной информации</p>	<p>Возникает в ответ на самые разнообразные внешние раздражители, а также иногда наблюдается значительное изменение КГР на незначимую для обеспечения безопасности движения информацию и пропуск ценной информации. Для отделения полезных сигналов от артефактов необходимо подкреплять показаниями другой психофизической характеристики [8]. Числовые значения уровня КГР очень сильно зависят от личных особенностей человека и не являются объективным показателем</p>
<p>Окулография (ОКГ). Регистрация движений глаз и определение координат взора</p>	<p>Запись движений глаз во время процесса наблюдения с параллельной записью наблюдаемой сцены позволяет выявить участки этой сцены, на которых концентрируется большее количество фиксаций [9]. Информативна при монотонных условиях работы [8]. Установлена связь организации зрительной работы с напряженностью внимания, при изучении скорости переработки информации – связь характера движения глаз с величиной информационной нагрузки</p>	<p>Современные автоматизированные системы типа Eye Tracking System (ETS) очень дорогие. При высоких уровнях психического напряжения информативность резко падает [5], [8]</p>

Приборы для испытаний

Для определения психофизиологических показателей водителя при работе на автобусном маршруте использовался пульсометр фирмы

«Garmin» (запись ЧСС в течение всего рабочего времени), который представляет собой эластичный пояс с беспроводным датчиком, одеваемым на грудь испытуемого, и передающим данные в цифровом виде по радиоканалу в GPS-навигатор, выполненный в форме наручных часов. Основные технические характеристики прибора приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики пульсометра
и GPS-навигатора «Garmin»

Параметр	Единицы измерения	Диапазон измерения
Диапазон измерений	Гц	0...3,5
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений при температуре воздуха в зоне измерения (20 ± 10)°C	Гц	0,008
Частота регистрируемых сигналов	Гц	0,017
Ток, потребляемый прибором от источника питания – пульсометр – GPS-навигатор	мкА	8,6
Время непрерывной работы прибора, не менее – пульсометр – GPS-навигатор	ч	26280,0 10,0
Масса прибора, не более – пульсометр – GPS-навигатор	кг	0,021 0,077
Габаритные размеры прибора – пульсометр – GPS-навигатор	мм	348x35,6x12,7 533x178x686
Эксплуатационные параметры Температура окружающего воздуха: – нормальные рабочие условия, – рабочий диапазон температур Относительная влажность воздуха при рабочем диапазоне температур Атмосферное давление	°C % кПа	 20 ± 10 –20...60 0...100 80

Датчики пульса располагаются на внутренней стороне пояса и плотно прилегают к рёбрам испытуемого. Для стабильности работы (улучшения контакта с кожей) рекомендуется смачивать датчики пульса небольшим количеством воды. Питание пульсометра осуществляется от

батарейки CR-2032. Пояс включается автоматически при инициализации из меню GPS-навигатора и автоматически выключается при снятии с тела.

Подключение GPS-навигатора к персональному компьютеру осуществляется с помощью док-станции через USB-порт, которая также служит для зарядки аккумуляторов устройства.

GPS-приёмник при наличии сигнала позволяет записывать ЧСС с текущими координатами, а затем просматривать результаты в привязке к карте, что упрощает и уточняет синхронизацию всех данных. Анализ результатов на ПК осуществляется в специальной программе Garmin Training Center®.

В процессе движения ведётся непрерывная видеосъёмка окружающей дорожной обстановки с целью последующего сопоставления полученных психофизиологических показателей с ситуацией на дороге, что необходимо для выявления реакции водителя в опасных ситуациях. Камера с широкоугольным объективом устанавливается в кабине так, чтобы не мешать работе водителя, и охватывает вид через лобовое стекло.

Все полученные данные (психофизиологические показатели и видео данные) точно синхронизированы по времени.

Методика испытаний на маршруте

1. Описание эксперимента. В результате синхронного съёма психофизиологических показателей водителя при работе на маршруте и отслеживания дорожной обстановки, а также реакции водителя на её изменения можно получить информацию о функциональном состоянии водителя городского автобуса, напряжённости его труда, а также проследить реакции водителя в опасных ситуациях.

2. Подготовка к эксперименту. Перед заездом производился выбор маршрута движения, отражающего характерные особенности городских маршрутов. Выбор производился на основании данных

рекогносцировочных заездов и данных, полученных от автопарков ГУП «Мосгортранс», и осуществлялся по специально разработанной на кафедре «Техносферная безопасность» методике [10] оценки уровня безопасности городского маршрута для водителя автобуса. Методика предусматривает кластеризацию маршрутов в зависимости от их уровня безопасности (УБ). При проведении оценки учитывались следующие показатели: длина маршрута, количество остановочных пунктов, количество светофоров, количество «лежачих полицейских», эксплуатационная скорость, наполняемость салона, количество крутых поворотов, количество железнодорожных переездов и трамвайных путей, категория маршрута. Диапазон значений каждого характерного показателя разбивался на пять групп, с присвоением определённых баллов от 1 до 5. Далее все полученные баллы по каждому маршруту суммировались. Чем больше балл, тем ниже УБ рассматриваемого маршрута. По критерию УБ маршруты движения городских автобусов делятся на три группы: опасные для водителя маршруты (УБ более 25 баллов); маршруты средней опасности (УБ 15...25 баллов); безопасные для водителя маршруты (менее 15 баллов).

Критерий УБ маршрута позволяет производить оценку надёжности водителя в привязке к обслуживаемым маршрутам движения городских автобусов с учётом влияния их сложности.

Перед началом измерений производилась контрольная запись психофизиологических показателей водителя в состоянии покоя, дающая представление о нормальном состоянии водителя. На основании полученных данных проводилась проверка оптимального закрепления датчиков на теле водителя, настройка и корректировка измерительной аппаратуры.

3. Точность и достоверность результатов. Соответствие внешней обстановки психофизиологическим реакциям обеспечивалось строгой синхронизацией записываемых данных по времени.

Контроль психофизиологических показателей водителя в покое позволял установить характерные особенности, присущие испытуемому водителю.

Информативность измерений обеспечивалась регистрацией всех компонентов сигнала, в том числе и тех, которые прослеживались в виде минимальных изменений сигнала, соответствующих требуемой точности измерений.

4. Погрешности измерений и влияние на безопасность движения.

Суммарная погрешность измерений определялась как:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{мод}} + \Delta_{\text{м}} + \Delta_{\text{СИ}} + \Delta_{\text{усл}} + \Delta_{\text{о}} \leq \Delta_{\text{д}}, \% \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{мод}}$ – погрешность модели измерений, %; $\Delta_{\text{м}}$ – погрешность метода измерений, %; $\Delta_{\text{СИ}}$ – погрешность средств измерений, %; $\Delta_{\text{о}}$ – погрешность оператора, %; $\Delta_{\text{усл}}$ – дополнительные погрешности, обусловленные воздействием влияющих факторов условий измерений; $\Delta_{\text{д}}$ – предельно допустимая погрешность результатов измерения, %.

Предельно допустимая погрешность результатов измерения для данных испытаний принималась равной 5...10%. Под адекватностью измерений в данном случае понималось соответствие сигнала процессам регуляции состояния человека на уровне качественных и количественных изменений параметров сигнала, оценивающего деятельность водителя на маршруте. Устройство съёма психофизиологических показателей удовлетворяет требованию адекватности оценок активации испытуемых независимо от индивидуальных различий.

Системы съёма психофизиологических показателей не мешали обычной деятельности водителя, не создавали проблем при управлении транспортным средством и не оказывали влияния на дорожную аварийность. Приборы обеспечивали высокую помехозащищённость и электробезопасность водителя.

Экспериментальная часть

Напряжённость работы водителей оценивалась на автобусных маршрутах Видновского ПАТП (рис. 1): городской маршрут № 3 «Видное – Ст. Расторгуево» (рис. 2), УБ которого составляет 19 баллов (средняя опасность), и пригородный маршрут № 364 «Ст. Расторгуево – М. Домодедовская» (рис. 3), УБ которого равен 15 баллам (средняя опасность), с использованием подобранного оборудования и разработанных методик. Заезды проводились в переходный период года в сухую погоду и нормальной видимости. В эксперименте участвовал водитель, имеющий стаж работы более 20 лет. Напряжённость труда оценивалась по диапазонам значений ЧСС.



Рис. 1. Внешний вид автобуса, на котором производились испытания (а) и расположение записывающей аппаратуры в кабине (б)

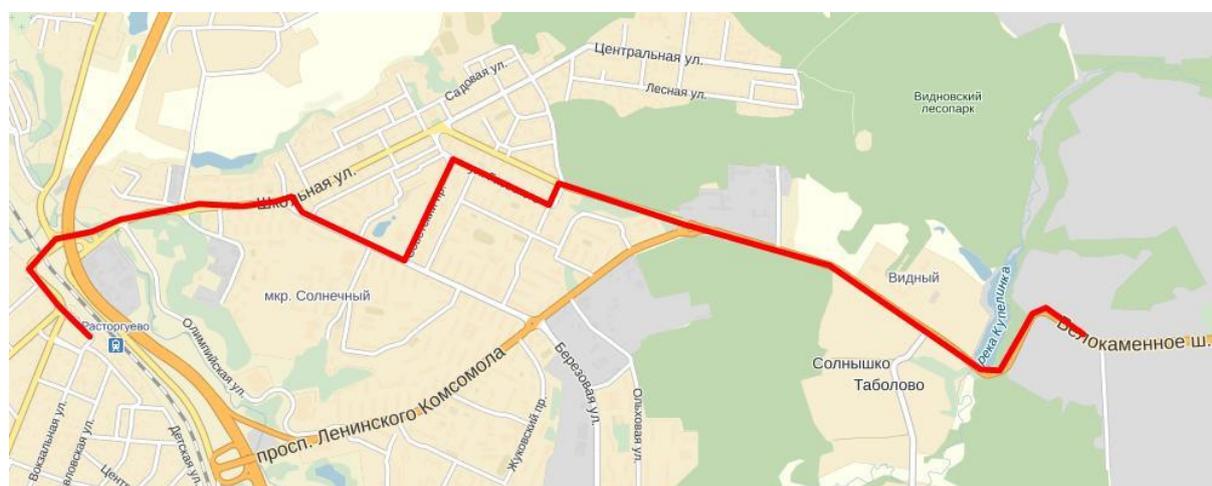


Рис. 2. Карта городского маршрута № 3 «Видное – Ст. Расторгуево»

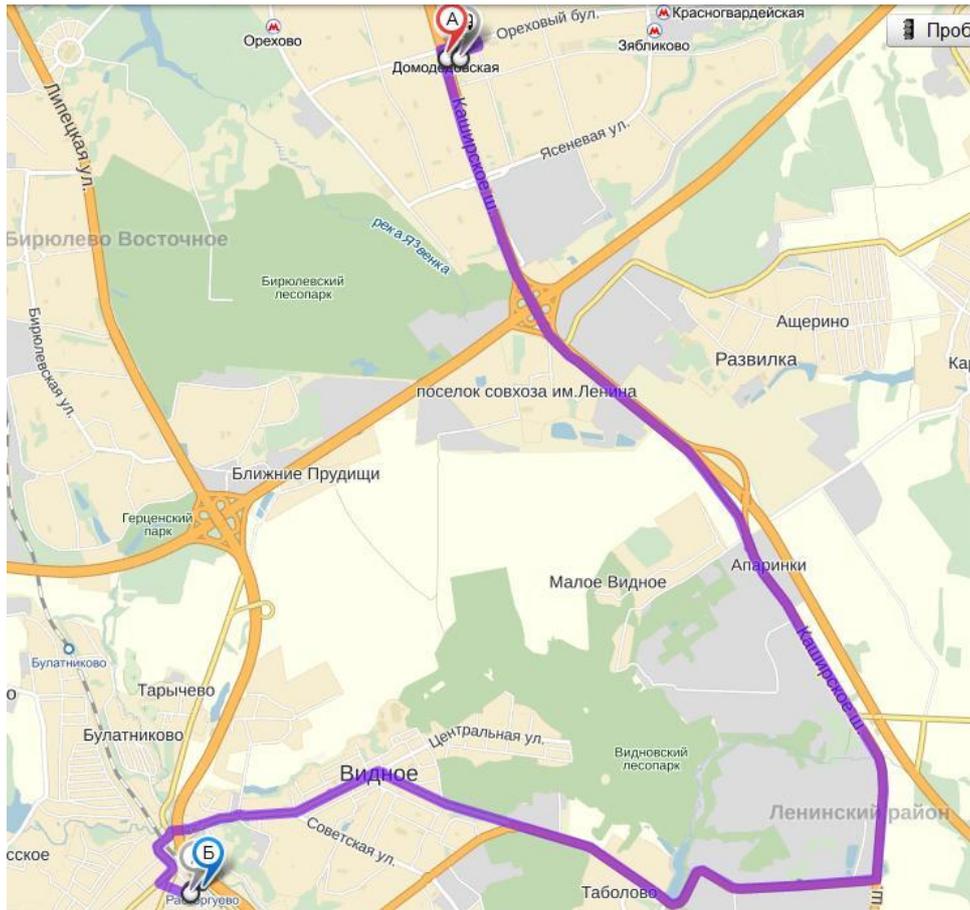


Рис. 3. Карта пригородного маршрута № 364 «Ст. Расторгуево – М. Домодедовская»

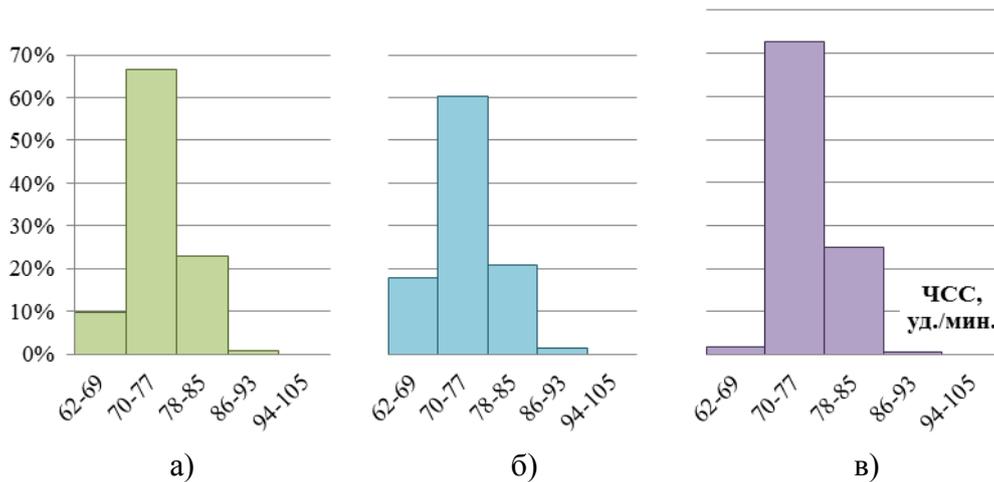


Рис. 4. ЧСС водителя при работе на городском маршруте:
а) за весь день; б) до обеда; в) после обеда

Результаты замера ЧСС показаны на рис. 4 и 5. Наиболее вероятная ЧСС составляла 73,5 уд./мин., максимальная – 92 уд./мин. для городского и 104 уд./мин. для пригородного маршрута. Большую часть рабочего

времени (89,4% для городского и 78,5% для пригородного маршрута) водитель находился в состоянии функционального комфорта и лишь 0,9% времени для городского и 2,7% для пригородного маршрута – в состоянии стресса. 9,7% времени для городского и 18,8% для пригородного маршрута приходились на монотонию.

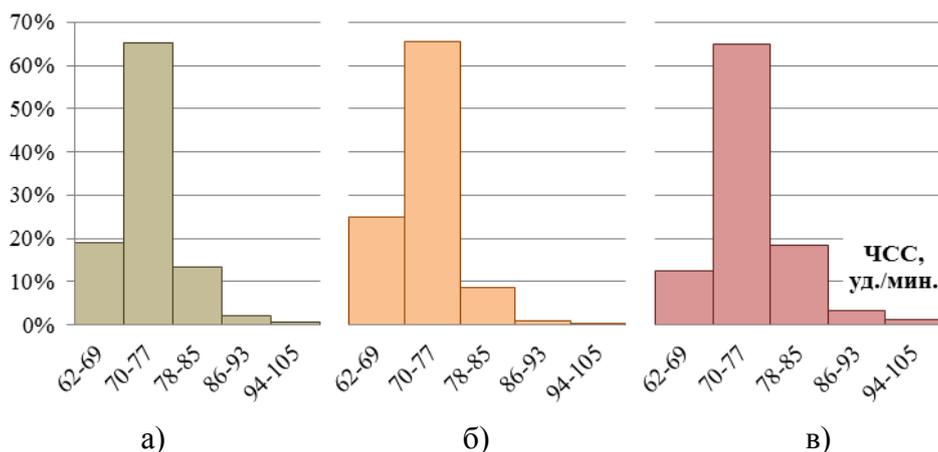


Рис. 5. ЧСС водителя при работе на пригородном маршруте:
а) за весь день; б) до обеда; в) после обеда

Выводы

Обеспечить полную безопасность дорожно-транспортных ситуаций на маршруте не представляется возможным, поэтому у водителя в течение дня будут наблюдаться стрессовые состояния; причём, чем выше УБ маршрута, тем больше их будет. По результатам проведённых экспериментов для прогнозирования надёжности водителя и предотвращения развития профессиональных болезней из-за высокой напряжённости труда с использованием функционального состояния водителя при работе на автобусном маршруте и корректирования графиков допуска на маршруты разной сложности рекомендуется использовать систему мониторинга психофизиологических показателей водителя, которая передавала бы измеряемые значения в базу данных с выводом на экран персонального компьютера диспетчера автобусного парка по спутниковому каналу. Превышение порогового значения времени

нахождения в стрессовом состоянии за смену должно являться основанием для перевода водителя на маршрут с более низким УБ. Для установления и обоснования нормативов на пороговые значения доли рабочего времени, при котором ЧСС выше 85 уд./мин., необходимо провести серию экспериментов с разными группами водителей по возрасту и стажу.

Работа проводилась в рамках Программы стратегического развития МАДИ на период 2012–2016 гг.

Литература

1. Шашина Е.В. Разработка научно-методических основ оценки надёжности водителя автобуса в условиях возникновения конфликтных и чрезвычайных ситуаций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 20 с.
2. Григорьева Т.Ю., Трофименко Ю.В., Шашина Е.В. Методика обоснования мер по снижению аварий в системе «водитель – автомобиль – дорога – среда» // *Безопасность в техносфере*. 2012. № 3. С. 30–37.
3. Физиологические механизмы оптимизации деятельности /под ред. чл.-кор. АН СССР В.И. Медведева. Л.: Наука, 1985. 135 с.
4. Григорьева Н.Н. Психофизиология профессиональной деятельности. Учебный курс // Московский университет им. С.Ю. Витте: веб-сайт 2010. URL: <http://www.e-college.ru/xbooks/xbook116/book/index/index.html> (дата обращения: 28.11.2014).
5. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организации движения с учётом психофизиологии водителя. М.: Транспорт, 1980. 311 с.
6. Аракелов Г.Г., Шотт Е.К. КГР при эмоциональных, ориентировочных и двигательных реакциях // *Психологический журнал*. 1998. № 4.
7. Бабин Д.Н., Дементиенко В.В., Шахнарович В.В. Профессиональный отбор и методология экспресс-анализа текущего

состояния водителей // Автоматизация в промышленности.

2007. № 1. С. 49–51.

8. Шишкова Н.Р. Психофизиологическая оценка уровня стресса: автореф. дисс. ... канд. псих. наук. М., 2004. 21 с.

9. Ярбус А.Л. Роль движения глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965. 167 с.

10. Повышение безопасности и надёжности транспортных человеко-машинных систем в условиях крупного мегаполиса (на примере г. Москвы): отчет о НИР (промежуточ.) / рук. Трофименко Ю.В.; исполн.: Евстигнеева Н.А. и др. М., МАДИ, 2005. 197 с. №15242.

References

1. Shashina E.V. *Razrabotka nauchno-metodicheskikh osnov ocenki nadyozhnosti voditelya v usloviyah vozniknoveniya konfliktnyh i chrezvychajnyh situacij* (Development of scientific-methodological framework for assessing the reliability of bus driver in conditions of conflict and emergency situations), avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.22.10, Moscow, 2014, 20 p.

2. Grigor'eva T.Yu., Trofimenko Yu.V., Shashina E.V. *Bezopasnost' v tehnosfere*, 2012, no. 3, pp. 30–37.

3. *Fiziologicheskie mehanizmy optimizacii deyatel'nosti* (Physiological mechanisms of optimization activities), Leningrad, Nauka, 1985, 135 p.

4. Grigor'eva N.N. *Psihofiziologiya professional'noj deyatel'nosti*. Uchebnyj kurs, Moscow, Moskovskij universitet im. S.Yu. Vitte, URL: <http://www.e-college.ru/xbooks/xbook116/book/index/index.html>

5. Lobanov E.M. *Proektirovanie dorog i organizacii dvizheniya s uchyotom psihofiziologii voditelya* (Design of roads and traffic, taking into account the psychophysiology of driver), Moscow, Transport, 1980, 311 p.

6. Arakelov G.G., Shott E.K. *Psihologicheskij zhurnal*, 1998, no. 4.

7. Babin D.N., Dementienko V.V., Shahnarovich V.V. *Avtomatizaciya v promyshlennosti*, 2007, no. 1, pp. 49–51.

8. Shishkova N.R. *Psihofiziologicheskaya ocenka urovnya stressa* (Psychophysiological assessment of stress levels), avtoref. dis. ... kand. psih. nauk: 10.00.02, Moscow, 2004, 21 p.
9. Yarbus A.L. *Rol' dvizheniya glaz v processe zreniya* (The role of eye movements in visual process), Moscow, Nauka, 1965, 167 p.
10. Povyshenie bezopasnosti i nadyozhnosti transportnyh cheloveko-mashinnyh system v usloviyah krupnogo megapolisa (na primere g. Moskvy): otchyot o NIR (promezhutoch.) / MADI (GTU); ruk. Trofimenko Yu.V.; ispoln.: Evstigneeva N.A. i dr., Moscow, 2005, 197 p., no. 152242.

E. Shashina

Technique and Results of Bus Driver's Reliability Assessment

Abstract. Definition of driver's reliability is given. Driver's psychophysiological characteristics for his reliability assessment are suggested. Different psychophysiological methods review is given and the use of heart rate is grounded. Results of driver's reliability assessment with the use of suggested technique are represented.

Key words: driver's reliability, «driver – automobile – road – environment» system, intensity of driver's work, driver's psychophysiology, heart rate, intercity line safety rate.