

УДК 57.087+159.9:62

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ВОДИТЕЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ СТРЕССЕ

О.В. ПАВЛОВСКАЯ, А.Г. ДАВЫДОВСКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 17 декабря 2015

Предложена концептуальная модель информационной системы оценки надежности водителей автотранспортных средств в условиях психологического стресса. Модель информационной системы включает 10 структурно-функциональных модулей и может рассматриваться как основа для разработки информационной технологии мониторинга, комплексной диагностики и прогнозирования функциональной надежности операторов автотранспортных и других человеко-машинных систем в различных сферах профессиональной деятельности.

Ключевые слова: надежность водителей, стресс, психофизиологические характеристики, интегральная оценка, информационная система, моделирование.

Введение

В условиях интенсивного транспортного потока водитель подвергается значительному числу зрительных и слуховых воздействий, частота которых существенно возрастает при ситуациях, способных вызвать инциденты дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Водитель осуществляет большое число действий по управлению автомобилем в условиях значительной информационной неопределенности и риска. Водитель является оператором системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» (ВАДС), трудовые процессы преимущественно сводятся к операциям по приему и переработке оперативной информации, принятию решений, управляющих действий и контролю за их исполнением. Дефицит времени и необходимой информации, интенсивные и неравномерные информационные нагрузки во время управления автотранспортным средством способствуют развитию психологического стресса у водителя. При этом существенно ухудшаются важнейшие психофизиологические характеристики (ПФХ) водителя, такие как сложная двигательная реакция (СДР), характеризуемая средней продолжительностью времени реагирования (ВР), эмоциональная устойчивость (ЭУ) и устойчивость внимания (УВ) [1]. К факторам, обуславливающим возможность ДТП, наряду с другими, относятся уровень квалификации водителя, его физические и психофизиологические характеристики. При этом исключительно важное значение имеет время реакции водителя, являющееся интегральным показателем состояния зрительно-моторной системы. Большое время реакции увеличивает риск возникновения ДТП, что может повлечь за собой как экономические потери, так и человеческие жертвы [2]. В настоящее время отсутствуют исследования взаимосвязи основных характеристик психофизиологического состояния операторов транспортных средств при реализации деятельности в условиях стресса.

Целью исследования является обоснование концептуальной модели информационной системы оценки надежности (ИСОН) водителей автотранспортных средств в условиях психологического стресса на основе анализа результатов исследования комплекса психофизиологических характеристик.

Методика эксперимента

Объектами исследования были 20 человек в возрасте от 18 до 57 лет. Все участники были заранее проинформированы о цели и содержании исследования. Для исследования психофизиологических характеристик ВР, ЭУ и УВ был использован аппаратно-программный комплекс (универсальный психодиагностический комплекс (АПК УПДК), производства ЗАО «Нейроком» (РФ). В настоящее время УПДК широко применяется для психофизиологического тестирования курсантов автошкол, а также оценки профессиональной надежности водителей автотранспортных средств [3].

При мониторинге психофизиологических характеристик на данном комплексе для измерения сложной двигательной реакции, представленной в виде среднего времени реагирования, были использованы оценки временных интервалов от момента предъявления одинаковых геометрических фигур до нажатия на кнопку, а также продолжительность реагирования от момента предъявления совпадающих слуховых стимулов до нажатия на кнопку.

Уровень распределения внимания был оценен с помощью предъявления стимульных полей на экране компьютера с последующим определением реагирования на стимульное поле заданного типа.

Эмоциональная устойчивость была оценена на основе предъявления зрительных стимулов и искусственно созданных слуховых помех, после чего осуществлялась регистрация времени реагирования на зрительный стимул и число ошибок его распознавания.

Результаты исследования были обработаны статистически с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена с помощью электронного процессора MS Excel 2010. Корреляционный анализ, проведенный на основании настоящего исследования, позволил определить влияние некоторых психофизиологических показателей на сложную двигательную реакцию управляющего транспортным средством [4].

Время реакции (ВР) – интервал времени между моментом появления сигнала и окончанием ответного действия. Оно включает промежуток времени, необходимый водителю для приема, переработки информации и ответного действия, поэтому, зная его, можно оценить основные психофизиологические качества водителя. ВР может изменяться по мере приобретения профессионального опыта в процессе тренировки. Оно состоит из двух периодов: латентного (скрытого), который затрачивается на восприятие сигнала и принятие решения и двигательного компонента, измеряемого временем движения. Среднее время латентного периода простой реакции на свет составляет 0,2 с, на звук 0,14 с. Среднее время двигательного периода простой реакции колеблется в зависимости от возраста, физического состояния и колеблется от 0,5 до 2,0 с, сложной – от 1,0 до 2,6 с. Время латентного периода сложной реакции изменяется в широких пределах и зависит от множества факторов, в том числе от индивидуальных психофизиологических свойств, опыта водителя и характера ДТС. Для одного и того же водителя время латентного периода на один и тот же сигнал изменяется в зависимости от степени неожиданности сигнала. Время моторного периода зависит от сложности выполняемого действия, возраста водителя, а также от степени неожиданности сигнала. Так, среднее время моторного периода простой реакции на красный сигнал в возрасте от 18 до 22 лет более, чем в два раза выше, чем в возрасте 45–60 лет [5].

Важнейшими качествами внимания, необходимыми водителю автомобиля, являются устойчивость, концентрация, объем, распределение и переключение. Устойчивость внимания (УВ) — это способность сосредоточиться в процессе работы в течение длительного времени. УВ определяется временем, в течение которого его интенсивность (напряженность) остается неизменной [6]. С УВ тесно связано такое его качество, как концентрация – сосредоточение внимания на одном только объекте с одновременным отвлечением от всего остального. У водителя автомобиля такая концентрация внимания может быть в течение незначительных промежутков времени, например, при проезде пешеходных переходов, остановок общественного транспорта, железнодорожных переездов, при встречном разъезде, на мостах, в тоннелях и пр. [7].

Устойчивость внимания сочетается и с такой динамической особенностью, как переключение внимания, которое характеризуется объемом работы в единицу времени;

точностью работы (ее безошибочность или наличие ошибок переключения), в которой проявляется тормозящее влияние предыдущей деятельности [8]. В свою очередь, переключение внимания характеризуется уровнем распределения внимания, свойством, обуславливающим успешность одновременного выполнения двух или более видов деятельности [9].

Результаты и их обсуждение

Увеличение количества ситуаций в транспортном потоке, требующих использования сложных двигательных реакций (СДР) и моторных стереотипов, неизбежно сопровождается увеличением частоты ошибочных действий и снижением надежности профессиональной деятельности водителя. Сложная двигательная реакция водителя имеет сильное прямое влияние на количество правильных реагирований при отсутствии сигнала (распределение внимания водителя) ($r = 0,68$ при $p \leq 0,05$), т.е. чем большее количество ошибок склонен совершать водитель при СДР, тем эффективнее его реакция в отсутствие зрительного сигнала в ситуации, требующей высокого распределения внимания. Установлено, что СДР, представленная в виде среднего времени реагирования при усложнении деятельности, выражается в увеличении количества ошибочных моторных реакций, а также продолжительности принятия управленческих решений.

В исследовании показано, что количество ошибок при усложнении двигательной реакции, допущенных испытуемыми при выполнении заданий, обратно пропорционально количеству правильных реагирований на зрительный стимул при распределении внимания ($r = -0,63$ при $p \leq 0,05$). Это указывает на возможность увеличения правильных действий в условиях СДР при отсутствии визуальных и аудиальных стимулов, что является фактором повышения надежности деятельности водителя в транспортном потоке.

Вместе с тем, увеличение среднего времени реагирования водителя автотранспортного средства в СДР сопровождается возрастанием показателя распределения внимания водителя при усложнении деятельности ($r = 0,62$ при $p \leq 0,05$). Это позволяет предположить, что на основе анализа динамики среднего времени реагирования в СДР можно прогнозировать надежность деятельности водителя автотранспортного средства в сложных дорожных ситуациях, сопровождающихся развитием состояния психологического стресса. ВР и количество ошибочных действий являются количественными критериями для оценки надежности деятельности водителя в условиях психологического стресса в сложных транспортных ситуациях.

Показана корреляционная связь ($r = 0,75$ при $p \leq 0,05$) между временем выбора в сложной двигательной реакции и показателем уровня эмоциональной устойчивости – среднеарифметическим временем реагирования без помехи. В отсутствие помех возрастает уровень ЭУ при закономерном уменьшении времени выбора СДР.

Это позволяет предположить, что на основе анализа времени, необходимого для совершения перехода от простой к более сложной моторной деятельности, можно оценить продолжительность адаптации к дорожной ситуации и уровень достижения состояния ЭУ при воздействии факторов, вызывающих развитие психологического стресса и требующих быстрой моторной реакции.

Таким образом, полученные результаты исследования свидетельствуют о целесообразности исследования избранных психофизиологических характеристик сложной двигательной реакции, представленной в виде среднего времени реагирования (ВР), УВ и ЭУ для оценки надежности водителя автотранспортного средства в условиях стресса. Параметры ВР, УВ и ЭУ являются эффективными количественными критериями для использования в информационной системе оценки и прогнозирования надежности деятельности водителя в ситуациях управления автотранспортным средством в условиях психологического стресса.

Концептуальная модель информационной системы оценки надежности водителей автотранспортных средств

На основе результатов эмпирических исследований ПФХ водителей автотранспортных средств были выделены важнейшие количественные критерии для оценки функциональной и профессиональной надежности водителей, а также предложена концептуальная модель управления надежностью водителей, включающая интегрированную систему параметров психофизиологического состояния человека в системе ВАДС:

$$P_{\text{ВАДС}} = \{ \text{ЭУ, УВ, ВР, А, Д, С, } t, m \}, \quad (1)$$

где УВ – устойчивость внимания, ЭУ – эмоциональная устойчивость, ВР – время реакции, А – множество технических характеристик автомобиля, оказывающих влияние на психофизиологическое состояние водителя, Д – характеристики дорожного движения (плотность и интенсивность транспортного потока, частота остановок, средняя скорость движения), С – состояние среды (климатические характеристики, время суток), t – профессиональный стаж водителя, m – множество каналов идентификации психофизиологического состояния водителя.

Как свидетельствует анализ литературных и экспериментальных данных, показатели УВ, ЭУ и ВР относятся к числу универсальных ПФХ, на основе которых может быть осуществлена текущая и прогностическая оценка функциональной и профессиональной надежности водителей автотранспортных средств. На основе комплекса выше названных показателей предложена концептуальная схема информационной системы оценки надежности (ИСОИ) водителей, включающая ряд нижеследующих модулей.

1. Модуль многоканального сбора данных о текущем психофизиологическом состоянии водителей, проходящих профессиональный отбор с помощью АПК УПДК.

2. Модуль дифференциальной обработки и хранения промежуточных результатов психофизиологического исследования в «базе данных текущего мониторинга» (БДТМ), содержащей результаты мониторинга текущего психофизиологического состояния исследуемых водителей (например, при профотборе или контроле перед выездом на маршрут), а также в «референтной базе данных» (РБД), содержащей ПФП водителей со значительным профессиональным стажем и высокими показателями функциональной и профессиональной надежности, принятыми в качестве эталона сравнения.

3. Модуль сравнительного мультипараметрического анализа текущего состояния исследуемых водителей из БДТМ в сравнении с РБД.

4. Модуль расчета дискриминантов D_i количественной оценки вероятности изменения функционального состояния для каждого i -го ПФП (x_i) по формуле:

$$D_i = \frac{(x_i - x_{\min})(x_i - x_{\max})}{x_{\min} x_{\max}}, \quad (2)$$

где D_i позволяет соотнести изменения каждого из количественно измеряемых показателей ПФХ x_i по отношению к минимальному (x_{\min}) и максимальному (x_{\max}) значениям диапазона соответствующего показателя из РБД. При этом D_i является удобным маркером для оценки риска снижения функциональной надежности водителей. Если ПФХ находится в пределах нормы ($x_{\min} < x_i < x_{\max}$), то $D_i < 0$ и вероятность функциональной надежности довольно высока. Если величина ПФП выходит за пределы нормы ($x_i < x_{\min}$, или $x_i > x_{\max}$), то $D_i \gg 0$ и функциональная надежность водителя нелинейно снижается по мере увеличения $D_i(x_i)$.

5. Модуль анализа функциональной надежности (FR – functional reliability) водителя относительно параметров D_i на основе модели, представленной уравнениями:

$$\frac{dFR(D_i)}{dD_i} = FR(D_i)[1 - FR(D_i)], \quad (3)$$

а после интегрирования:

$$FR(D_i) = \frac{\exp(D_i)}{1 + \exp(D_i)}. \quad (4)$$

6. Модуль интегральной оценки функциональной надежности (ИОФН) водителей на основе «векторной модели», рассматривающей надежность как вектор в гиперпространстве многих параметров:

$$\text{ИОФН} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \sqrt{\prod_{i=1}^n (Z_i - Y_i)^{m_i}}}{\sum_{i=1}^n m_i \sqrt{\prod_{i=1}^n (Y_i^2)^{m_i}}}, \quad (5)$$

где Z_i – i -й ПФП из БДТМ, Y_i – i -й ПФХ из РБД, m_i – удельно-весовой коэффициент i -го показателя.

7. Модуль интегральной оценки функциональной надежности на основе модифицированной шкалы «функции желательности» Харрингтона, задаваемая уравнением:

$$FR = \exp(-\exp(-X)), \quad (6)$$

где $X = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - Y_i)^2}$. При этом $[-2 \leq X \leq 5]$, а шкала желательности рассматривается в диапазоне (0; 1) и содержит пять интервалов функциональной надежности водителей: (0; 0,2) – «очень низкая», (0,2; 0,37) – «низкая», (0,37; 0,63) – «средняя», (0,63; 0,8) – «высокая», (0,8; 1) – «очень высокая». Причем точка 0,37 на шкале Харрингтона является точкой «перехода» из зоны средней функциональной надежности в зону низкой надежности и высокой вероятности совершения ДТП [10].

Конкретные параметры функциональной надежности водителя определяются в масштабе, задаваемом требованиями нормировки, на участке эффективных значений показателей. Полученное значение для каждого i -го параметра функционального состояния водителя пересчитывается в обобщенный коэффициент желательности функциональной надежности

$$K_{FR} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n Y_i}, \quad (7)$$

где n – количество используемых показателей параметров сравнения для оценки FR .

8. Модуль прогнозирования динамики индивидуальной функциональной надежности каждого водителя на основе сценарного подхода, включающего формирование и анализ трех сценариев с помощью уравнений (1)–(7):

- пессимистического (функциональная надежность в диапазоне $0,0 \leq FR < 0,37$),
- базового ($0,37 \leq FR < 0,63$) и
- оптимистического ($0,63 \leq FR < 1,0$).

9. Модуль формирования рекомендаций по индивидуальной оптимизации функциональной надежности водителей на основе анализа БДТМ и РБД.

10. Модуль «тренирующего обучения» для повышения функциональной надежности водителей автотранспортных средств на основе инструментального средства УПДК.

Заключение

Анализ полученных результатов позволил предложить и обосновать концептуальную модель ИСОН водителей автотранспортных средств в условиях психологического стресса, включающую 10 структурно-функциональных модулей и обеспечивающую повышение эффективности оценки результатов объективного исследования испытуемых с помощью АПК УПДК. При этом возможно существенное сокращение времени тестирования при исключении утомления испытуемого. В дальнейшем на основе предложенной модели ИСОН может быть разработана высокоэффективная информационная технология мониторинга, комплексной диагностики и прогнозирования функциональной надежности операторов автотранспортных и других человеко-машинных систем в различных сферах профессиональной деятельности.

THE MODELING OF INFORMATION SYSTEM FOR RELIABILITY ASSESSMENT OF MOTOR VEHICLES DRIVERS UNDER STRESS

O.V. PAVLOVSKAYA, A.G. DAVIDOVSKIJ

Abstract

A conceptual model of the information system reliability assessment of motor vehicle drivers under conditions of psychological stress is proposed. The model of the information system includes 10 structural-functional modules and can be considered as the basis for the development of information technology monitoring, comprehensive diagnostics and prediction of functional reliability of operators, vehicles and other man-machine systems in various fields of professional activity.

Keywords: assessment of drivers, stress, physiological characteristics, integrated assessment, information system, modeling.

Список литературы

1. *Котик М.А.* Психология и безопасность: учеб. для вузов. СПб, 1998.
2. *Ермаков Ф.Х.* Технические особенности расследования и установления причин ДТП. Казань, 2007.
3. *Пейсахов Н.М., Кашин А.П., Баранов Г.Г. и др.* Методы и портативная аппаратура для исследования индивидуально-психологических различий человека. Казань, 1976.
4. *Сидоренко Е.В.* Методы математической обработки в психологии: учеб. пособие. СПб, 2007.
5. *Макланов А.Г.* Общая психология: учеб. пособие. СПб, 2002.
6. *Давыдов В.В., А.В. Запорожец А.В., Ломов Б.Ф. и др.* Психологический словарь. М., 1983.
7. *Титченер Э.* Хрестоматия по вниманию. М., 1976.
8. *Страхов И.В.* Внимание и структура личности. Саратов, 1969.
9. *Клебельсберг Д.* Транспортная психология. М., 1989.
10. *Пичкалев А.В.* Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля // Вестник КГТУ. 1997. С. 128–132.