

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ-АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА-СРЕДА»

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Давыдовский А.Г.
Павловская О.В.

Давыдовский А.Г. – канд. биол. наук, доцент

Предложена концептуальная модель информационной системы моделирования оценки комплексной надежности водителей автотранспортных средств в условиях психологического стресса. 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 деятельности.

Введение. В условиях насыщенного транспортного потока водитель подвергается интенсивному воздействию многочисленных визуальных и аудиальных стимулов, частота которых существенно возрастает при ситуациях, способных вызвать инциденты дорожно-транспортных происшествий (ДТП). 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 несбалансированные информационные нагрузки во время управления автотранспортным средством способствуют развитию 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 и опытности водителя, его физические и психофизиологические характеристики. Увеличение ВР, как интегрального показателя состояния зрительно-моторной системы, обуславливает повышение риска ДТП, сопряженного с экономическими потерями и человеческими жертвами [2].

Целью исследования является обоснование модели информационной системы оценки надежности системы ВАДС в условиях стресса на основе анализа комплекса психофизиологических характеристик.

Концептуальная модель информационной системы оценки надежности системы ВАДС. На основе результатов эмпирических исследований ПФХ водителей автотранспортных средств были выделены важнейшие количественные критерии для оценки функциональной, профессиональной надежности водителей. Предложена концептуальная модель управления надежностью водителей, включающая интегрированную систему параметров психофизиологического состояния человека в системе ВАДС:

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

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 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 ПФХ выходит за пределы нормы ($x_i < x_{min}$, или $x_i > x_{max}$), то $D_i > 0$ 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:

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

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

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

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

$$X = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n (Z_i - Y_i)^2}}$$

где

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 [3].

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} :

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

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

8. Модуль прогнозирования динамики индивидуальной функциональной надежности каждого водителя на основе сценарного подхода, включающего анализ трех сценариев с помощью модели (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 управлению надежностью системы ВАДС 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 ВАДС в условиях стресса, включающую 10 структурно-функциональных модулей. С использованием предложенной модели ИСОН ВАДС может быть создана информационная технология мониторинга, комплексной диагностики и прогнозирования функциональной надежности операторов автотранспортных и других человеко-машинных систем в различных сферах профессиональной деятельности на основе системного анализа комплекса показателей внешних и внутренних характеристик системы ВАДС.

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. Пичкалев А.В. Применение кривой желательности Харрингтона для сравнительного анализа автоматизированных систем контроля // Вестник КГТУ. – Красноярск: КГТУ, 1997. – С. 128–132.