

УДК 331.101.1+656.053

**Волобуева Т.В.**

**ДААТ, г. Донецк**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ ВОДИТЕЛЯ В СТРЕССОВЫХ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ СИТУАЦИЯХ**

*Разработан план эксперимента и приведены результаты экспериментальной проверки разработанной модели обучения водителя в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях с соответствующими перспективами разработки методики обучения водителя.*

### ***Введение***

Существующая в настоящее время система подготовки водителей автотранспортных средств [1] не в полной мере отвечает растущим требованиям организации дорожного движения и повышению его безопасности. Так, например, на Украине в 2008 году в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) погибло 6847 человек и травмировано около 55000 человек. Существенные показатели тяжести ДТП указывают, прежде всего, на условия их возникновения, которые характеризуются повышенными скоростями движения современных транспортных средств, что в свою очередь указывает и на то, что водители не соответствующим образом оценивают дорожно-транспортную ситуацию, в частности, недооценивают ее. Это раскрывает наличие определенных пробелов в обучении водителей. В ходе обучения будущих водителей в учебном процессе не находят отражения в достаточной мере вопросы умения правильно прогнозировать развитие дорожно-транспортных ситуаций; отсутствуют технические средства и методические разработки по выработке навыков управления автомобилем, особенно в сложных условиях; практически не отрабатываются действия водителей в стрессовых ситуациях.

Проведенные исследования [2,3] указывают на то, что возникновению дорожно-транспортного происшествия по вине водителя предшествует специфическая дорожно-транспортная ситуация, которая, зачастую, связана с возникновением у водителя стресса, препятствующего адекватной оценке указанной ситуации, быстрому и правильному принятию решения по предотвращению столкновения. В указанных условиях аварийные и аварийно-опасные ситуации неизбежно перерастают в дорожно-транспортные происшествия, которые необходимо анализировать с учетом ряда факторов, прямо или косвенно определяющих психофизиологическое состояние водителя, необходимое для обеспечения безопасности дорожного движения.

Ранее была решена задача по разработке математической модели обучения человека вождению автомобиля в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях [4,5]. Разработанная модель представляет собой уравнение изменения вероятности перехода состояния обучаемого вождению человека в заданное состояние по обучению в определенных условиях существования системы «человек – автомобиль – обстановка движения – стрессовая ситуация» при определенных эргономических параметрах автомобиля.

Далее необходимо провести ряд экспериментальных исследований с использованием автомобильного тренажера специальной конструкции для выявления необходимых значений констант в разработанной модели обучения водителя, а также для разработки методики обучения человека вождению автомобиля в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях.

### ***Цель работы***

Проведение экспериментальных исследований для подтверждения возможности обучения водителя вождению в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях, а также проверки адекватности разработанной математической модели обучения водителя автомобиля вождению в указанных ситуациях.

### Основная часть

Для достижения сформулированной цели решались следующие теоретические и практические задачи:

- выбор методов и соответствующих методик проведения исследований по изучению закономерностей обучения человека в условиях выполнения им функций водителя автомобиля при создании ситуаций, вызывающих формирование стресса. За аналог была принята методика, позволяющая на основании электрического сопротивления кожи человека судить о его стрессовом состоянии;
- формирование группы испытуемых в соответствии с выбранными методиками проведения эксперимента;
- разработка технических средств для проведения исследований закономерностей обучения человека в условиях выполнения им функций водителя автомобиля при создании ситуаций, вызывающих формирование стресса;
- непосредственное проведение экспериментальных исследований в лабораторных условиях;
- обработка результатов проведенного эксперимента с установлением адекватности разработанной модели обучения водителей автомобилей вождению в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях.

При подготовке к проведению эксперимента учитывались следующие требования:

- обеспечение реализации в эксперименте профессиональной мотивации;
- непрерывная регистрация результатов проведенных экспериментальных опытов;
- выполнение испытуемыми заданий, соответствующих профессиональной деятельности водителя.

Экспериментальные исследования достаточно проводить в лабораторных условиях. Это связано с действующей методикой подготовки водителей в автошколах, которая предполагает выполнение упражнений на автомобильных тренажерах.

В лабораторных условиях обучение испытуемых осуществлялось при помощи специально созданной усовершенствованной конструкция автомобильного тренажера, имитирующего рабочее место автомобиля ГАЗ-3110 “Волга”. Данный автомобиль является расчетным при проектировании дорог и при проверке их на возможность обеспечения безопасности движения.

Общий вид тренажера, панель управления тренажером, а также изображения на мониторе тренажера в процессе проведения лабораторных испытаний показаны на рис. 1.

Для описания процесса обучения водителя вождению автомобиля в условиях меняющейся обстановки необходимо использовать следующую математическую модель [4]:

$$\begin{aligned}
 P_{\tau}(\tau) &= \frac{C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1 \tau} + \frac{C_1}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\beta \sin \beta \tau + \alpha \cos \beta \tau) + \frac{C_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\alpha \sin \beta \tau - \beta \cos \beta \tau) + P_{\tau 3}; \\
 P_m(\tau) &= \frac{M_0 C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1 \tau} + \frac{C_1 M_1 - C_2 M_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\beta \sin \beta \tau + \alpha \cos \beta \tau) + \\
 &\quad + \frac{C_1 M_2 + C_2 M_1}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\alpha \sin \beta \tau - \beta \cos \beta \tau) + P_{m3}; \tag{1}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{моб}}(\tau) = \frac{N_0 C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1 \tau} + P_{\text{моб}3};$$

$$P_{\text{сод}}(\tau) = \frac{C_1 N_1 + C_2 N_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\beta \sin \beta \tau + \alpha \cos \beta \tau) + \frac{C_2 N_1 - C_1 N_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\alpha \sin \beta \tau - \beta \cos \beta \tau) + P_{\text{сод}3}.$$



Рис. 1. Проведения опытов на тренажере специальной конструкции с применением прибора измерения электрического сопротивления кожи человека

Поскольку начальное значение  $P_q(\tau)$  может быть определено лишь после проведения первого испытания, то модель должна быть преобразована к виду:

$$\begin{aligned}
 P_q(1) &= \frac{C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1(\tau-1)} + \frac{C_1}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\beta \sin \beta(\tau-1) + \alpha \cos \beta(\tau-1)) + \\
 &\quad + \frac{C_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\alpha \sin \beta(\tau-1) - \beta \cos \beta(\tau-1)) + P_{q3}; \\
 P_m(1) &= \frac{M_0 C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1(\tau-1)} + \frac{C_1 M_1 - C_2 M_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\beta \sin \beta(\tau-1) + \alpha \cos \beta(\tau-1)) + \\
 &\quad + \frac{C_1 M_2 + C_2 M_1}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\alpha \sin \beta(\tau-1) - \beta \cos \beta(\tau-1)) + P_{m3}; \quad P_{mob}(1) = \frac{N_0 C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1(\tau-1)} + P_{mob3}. \\
 P_{cob}(1) &= \frac{C_1 N_1 + C_2 N_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\beta \sin \beta(\tau-1) + \alpha \cos \beta(\tau-1)) + \\
 &\quad + \frac{C_2 N_1 - C_1 N_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\alpha \sin \beta(\tau-1) - \beta \cos \beta(\tau-1)) + P_{cob3}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Для проведения эксперимента необходимы следующие данные:

$P_q(1)$  — вероятность перехода элемента системы «человек» в состояние нормы после проведения первого испытания;

$P_m(1)$  — вероятность перехода элемента системы «системы управления» в состояние нормы после проведения первого испытания;

$P_{mob}(1)$  — вероятность перехода элемента системы «обстановка движения» из текущего в состояние нормы после проведения первого испытания;

$P_{cob}(1)$  — вероятность перехода элемента системы «обстановка движения» из текущего, вызывающее стресс после проведения первого испытания.

$P_{q3}$  — минимальная вероятность перехода элемента системы «человек» в состояние нормы после проведения первого испытания;

$P_{m3}$  — минимальная вероятность перехода элемента системы «системы управления» в состояние нормы после проведения первого испытания;

$P_{mob3}$  — минимальная вероятность перехода элемента системы «обстановка движения» из текущего в состояние нормы после проведения первого испытания;

$P_{cob3}$  — минимальная вероятность перехода элемента системы «обстановка движения» из текущего в состояние, вызывающее стресс после проведения первого испытания.

Для проведения эксперимента необходимы данные коэффициентов доли взаимодействия элементов системы, которые предполагается формировать с интуитивной точки зрения в виде допущения. Адекватность разработанной модели по результатам эксперимента докажет правильность принятого допущения.

С учетом [4] получим следующие константы для процесса обучения водителей на тренажере:

–  $\lambda_1$  — скорость изменения вероятности перехода элемента системы «человек» в состояние нормы в зависимости от времени в эксперименте  $\tau$ . В результате расчетов получено значение  $\lambda_1 = -2,866$ ;

–  $\alpha$  — действительная часть комплексно-сопряженных корней. В результате расчетов получено значение  $\alpha = -1,542$ ;

–  $\beta$  — круговая частота колебаний вероятности перехода элемента системы «человек» в состояние нормы в зависимости от времени в эксперименте  $\tau$ . В результате расчетов получено значение  $\beta = 0,205$ ;

–  $N_0$  — начальное значение суммы вероятностей перехода элемента системы «обстановка движения» из текущего в состояние нормы или стресса, при измерении времени  $\tau = 0$ . В результате расчетов получено значение  $N_0 = 1,1$ ;

–  $N_1, N_2$  — соответственно, амплитуды колебательных составляющих в изменениях вероятностей перехода элемента системы «обстановка движения» из текущего в состояние нормы или стресса. В результате расчетов получены значения  $N_1 = -0,6$ ,  $N_2 = 0,9$ ;

–  $M_0$  — начальное значение вероятности перехода элемента системы «системы управления» в состояние нормы. В результате расчетов получено значение  $M_0 = 1,1$ ;

–  $M_1, M_2$  — соответственно амплитуды колебательных составляющих в изменениях вероятности перехода элемента системы «системы управления» в состояние нормы. В результате расчетов получены значения  $M_1 = -0,6$ ,  $M_2 = 0,9$ .

Применительно к полученным данным и начальным условиям постоянные интегрирования [4] будут равны:

$$C_0 = -0,265; \quad C_1 = 0,580; \quad C_2 = 0,028.$$

Константы  $C$  в уравнении определяют минимальную вероятность перехода элемента системы «человек» в состояние нормы после проведения первого испытания с учетом  $P_{чз} = 0,92$ . Следовательно, для заданных экспериментальных данных уравнения модели изменения вероятности перехода элементов системы в состояние нормы будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} P_q(\tau) &= 0,09246e^{-2,866(\tau)} + 0,23969e^{-1,542\alpha(\tau)} (0,205 \sin 0,205(\tau) - 1,542 \cos 0,205(\tau)) + \\ &+ 0,01157e^{-1,542(\tau)} (-1,542 \sin 0,205(\tau) - 0,205 \cos 0,205(\tau)) + 0,92; \\ P_m(\tau) &= 0,10171e^{-2,866(\tau)} - 0,13340e^{-1,542(\tau)} (0,205 \sin 0,205(\tau) - 1,542 \cos 0,205(\tau)) + \\ + 0,20878e^{-1,542(\tau)} (-1,542 \sin 0,205(\tau) - 0,205 \cos 0,205(\tau)) + 0,2; \quad P_{mob}(\tau) &= 0,10171e^{-2,866(\tau)} + 0,2; \\ P_{cob}(\tau) &= -0,13340e^{-1,542(\tau)} (0,205 \sin 0,205(\tau) - 1,542 \cos 0,205(\tau)) - \\ &- 0,22266e^{-1,542(\tau)} (-1,542 \sin 0,205(\tau) - 0,205 \cos 0,205(\tau)) + 0,2. \end{aligned} \quad (3)$$

Данные формулы позволяют определить динамику изменения расчетных значений вероятностей перехода элемента системы «человек» в состояние нормы в процессе обучения на специальном тренажере. Проведение дальнейших экспериментальных исследований будет заключаться в проверке адекватности формул модели (3) результатам наблюдений за обучением испытуемых.

Для участия в лабораторных экспериментах привлекались испытуемые со стажем профессиональной деятельности 3 — 7 лет и возрастом от 20 до 25 лет. Группа испытуемых формировалась таким образом, чтобы в ее составе было до 70 % сангвиников. Такой состав соответствует естественному составу водителей в транспортных потоках. Группа испытуемых состояла из 12 водителей, что обеспечивало 95 % достоверности результатов опытов.

Свойства нервной системы испытуемых оценивались при помощи анамнестических данных по методике И.А. Полищука [6] и анализа времени реакции испытуемых. Анамнестическая схема представляет собой перечень вопросов, ответы на которые позволяют судить о силе, подвижности и уравновешенности нервных процессов. Испытуемым в условиях стандартной обстановки движения  $P_{mob}$  и в условиях стрессовой обстановки движения  $P_{cob}$  необходимо было выполнить 10 опытных заездов на тренажере с фиксацией ошибок. Ошибки испытуемого отслеживались в виде:

- съезда с проезжей части;
- нарушения ПДД.

Испытания повторялись при скоростях 60 км/ч и 90 км/ч.

Результаты проведения эксперимента предусматривали фиксацию изменения электрического сопротивления кожи соответствующим датчиком (пример графика показан на рис. 2). Результаты эксперимента для скорости 60 км/ч показаны на рис. 3.

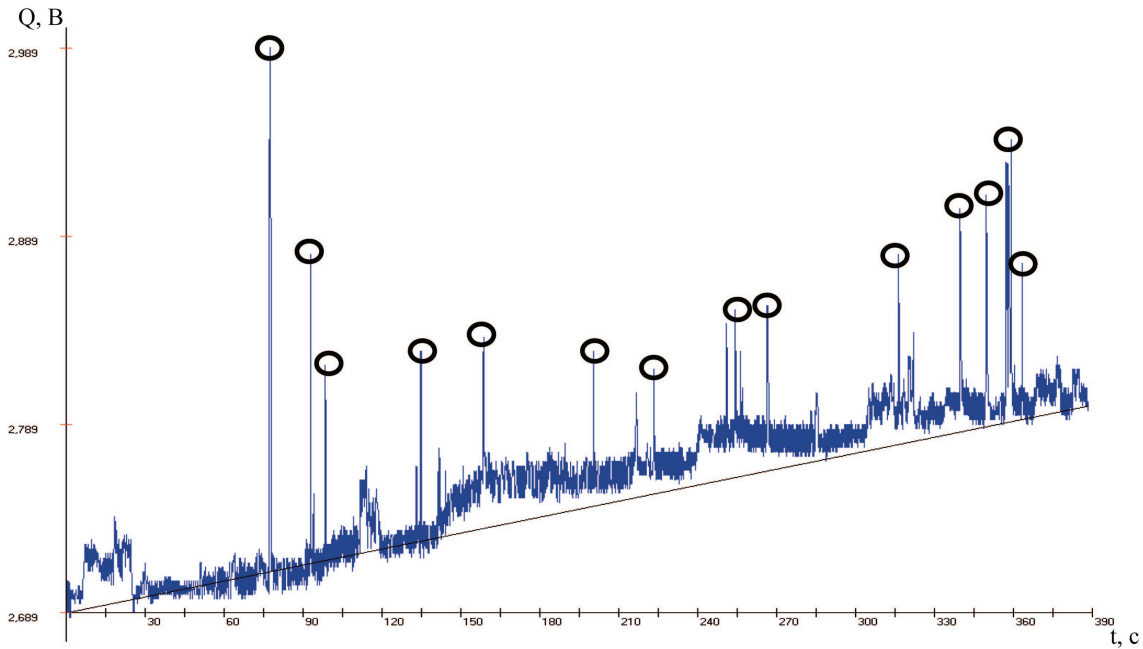


Рис. 2. Изменение электрического сопротивления кожи  $Q$  (по вольтметру) испытуемого № 01, при выполнении заезда №1 на скорости 60 км/ч в зависимости от времени заезда  $t$  (пиковые всплески указывают на наличие стресса у испытуемого)

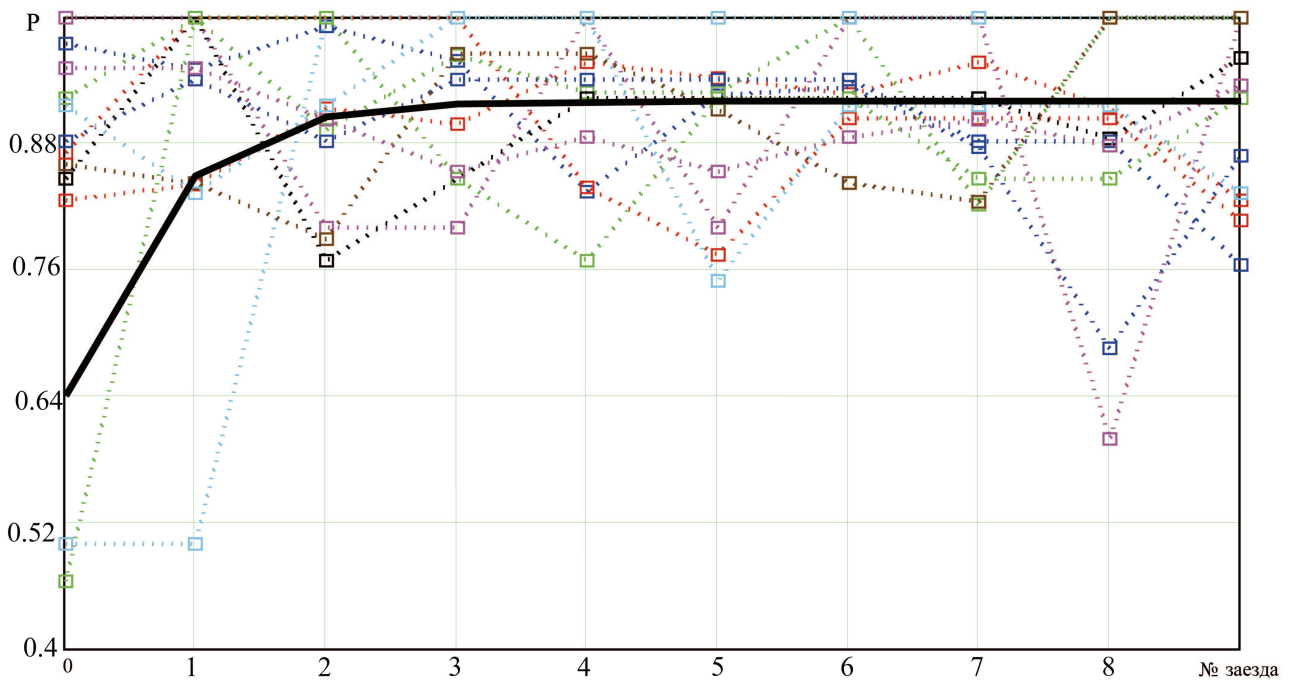


Рис. 3. Формирование стрессоустойчивости  $P$  у водителя в зависимости от числа проведенных испытаний  $n$  при скорости заезда 60 км/ч для опытных данных и для построения кривой модели обучения в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях

Адекватность расчетных значений рассматриваемых вероятностей экспериментальным данным оценивалась при помощи коэффициентов линейной корреляции. Для заданной скорости 60 км/ч коэффициент линейной корреляции составляет 0,795. Для заданной скорости 90 км/ч коэффициент линейной корреляции составляет 0,814. Коэффициенты рассчитаны в программе Mathcad при проведении всех математических операций эксперимента. С учетом уровня значимости 0,05 и числа степеней свободы  $(10-1) = 9$  табличное значение нормативного коэффициента корреляции составляет 0,632 [7]. Поскольку все расчетные значения коэффициента корреляции больше табличного, то формулы модели (3) являются адекватными реальному процессу обучения водителя в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях.

### **Выводы**

Таким образом, в работе была решена задача экспериментальной проверки адекватности разработанной модели реальному процессу обучения человека вождению автомобиля в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с применением автомобильного тренажера специальной конструкции, позволяющего вызывать у испытуемого стрессовое состояние и фиксировать его наличие по изменению электрического сопротивления кожи. Проведение ряда экспериментальных исследований позволило выявить необходимые значения констант в разработанной модели обучения водителя, а также заложить основы к разработке методики обучения человека вождению автомобиля в стрессовых дорожно-транспортных ситуациях с использованием автомобильного тренажера специальной конструкции.

### **Список литературы**

1. Типові навчальний план і програми підготовки водіїв на право керування автотранспортними засобами категорій „В” і „С”/ М – во освіти України. — К.: Виробничо — видавниче підприємство „КОМПАС”, 1995. — 64 с.
2. Цыганков Э.С. Высшая школа водительского мастерства/ Э.С.Цыганков. — М.: ИКЦ "Академкнига". — 2002. — 432 с.
3. Гаврилов Э.В. Теоретические основы проектирования и организации условий дорожного движения с учетом закономерностей поведения водителей: дис.... доктора техн. наук.— Харьков, 1990.— 450с.
4. Волобуева Т.В. Математическая модель поведения водителя в стрессовых ситуациях/ Т.В.Волобуева, В.К.Доля // Вісник ДІАТ. — Донецьк, 2008. — №1 — С. 68.
5. Волобуева Т.В. Вероятность оценки возможного количества шагов обучения, необходимых для подготовки водителя до заданного уровня / Т.В. Волобуева, В.М. Сирота, А.Н. Дудников // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник / АДІ ДВНЗ “ДонНТУ”. — Горлівка, 2007. — № 1(6). — С. 5 — 9.
6. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя/ Е.М. Лобанов. — М.: Транспорт, 1980. — 312 с.
7. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников/ А.И.Кобзарь. — М.: ФИЗМАЛИТ, 2006. — 816 с.

Стаття надійшла до редакції 15.12.09

© Волобуєва Т.В., 2009