

Сирота В.М.<sup>1</sup>, инж., Волобуева Т.В.<sup>2</sup>, инж.

<sup>1</sup>АДИ ДонНТУ, г. Горловка, <sup>2</sup>ДИАТ, г. Донецк

## ФОРМИРОВАНИЕ У ВОДИТЕЛЕЙ НАВЫКА РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

*Разработана методика эксперимента, получены и проанализированы экспериментальные данные динамики изменения частоты удержания заданной скорости движения. Подтверждена адекватность модели обучения водителя в ситуациях с меняющейся обстановкой движения.*

### **Введение**

Умение рассчитывать движение автомобиля – сложное качество, развиваемое на основе внимательности, наблюдательности, динамического глазомера и осмотрительности. Точный расчет позволяет водителю выбирать необходимую скорость, определять возможность движения автомобиля в различных условиях.

Умению рассчитывать необходимую скорость в обучающей программе [1] посвящен ряд упражнений, основными из которых являются: движение по прямой с изменением скорости; движение по прямой с переключением передач в восходящем порядке; движение по прямой с переключением передач в нисходящем порядке; движение в колонне.

**Цель статьи** – экспериментально и теоретически определить динамику расчетных значений вероятностей удержания заданных скоростей движения в процессе обучения водителей и статистических характеристик функционального состояния организма водителя.

### **Материалы и методы исследования**

Опыты по изучению динамики формирования навыка расчета скорости движения ставились на дороге III категории Харьков – Сумы на участке от км 9 до км 89. Ширина проезжей части дороги 7,0 м. Покрытие проезжей части асфальтобетонное. Коэффициент сцепления автомобильного колеса с покрытием проезжей части дороги равен  $0,75 \pm 0,0024$ . Опыты ставились в июне месяце, температура воздуха колебалась в пределах от 22 до 26°C, покрытие проезжей части было сухим, погода солнечная. В период проведения опытов интенсивность движения на дороге изменялась в пределах от 189 до 234 авт./ч.

Интенсивность и состав движения оценивались по методу подвижного наблюдателя. Согласно этому методу

$$N = \frac{n_в + (n_о - n_м)}{t_1 + t_2}, \quad (1)$$

где  $N$  – интенсивность движения, авт./ч;  $n_в$  – число встречных автомобилей;  $n_о$  – число автомобилей, обогнавших ходовую лабораторию;  $n_м$  – число автомобилей, которые обогнала ходовая лаборатория;  $t_1$  – время движения в прямом направлении, ч;  $t_2$  – время движения в обратном направлении, ч.

В опытах использовалась ходовая лаборатория на базе автомобиля УАЗ-452 и была задействована группа водителей-испытателей.

Каждому водителю выдавалось задание проехать по опытному участку дороги с заданной скоростью (20, 40, 60, 80 км/ч). В процессе опытного заезда осуществлялась непрерывная регистрация фактической скорости движения, электрокардиограммы (ЭКГ) водителя и элементов поля восприятия водителя (постоянных и переменных). Задание считалось вы-

полненным, если отклонение фактической скорости от заданной не превышало  $\pm 2,5$  км/ч, что соответствовало половине интервала между смежными делениями шкалы спидометра.

В процессе обработки результатов опытов лента самописца с записью указанных характеристик разбивалась на 6-ти минутные интервалы. Для каждого интервала рассчитывалась вероятность удержания заданной скорости и статистические характеристики функционального состояния организма водителя. Разбивка на 6-ти минутные интервалы обусловлена необходимостью обеспечения достоверных оценок RR-интервалов ЭКГ. Согласно Р.М. Баевскому [2], объем выборки RR-интервалов в нашем случае составлял 400.

Для оценки вероятности удержания заданной скорости 6-ти минутный интервал в свою очередь разбивался на 5-ти секундные интервалы. В каждом 5-ти секундном интервале оценивалась средняя фактическая скорость движения. За вероятность удержания заданной скорости принималась частота попадания средней фактической скорости движения в интервал  $V_\phi - 2,5 < V_\phi < V_\phi + 2,5$ . Здесь  $V_\phi$  - фактическая скорость движения, км/ч.

Относительная частота выполнения задания  $P_v$  рассчитывалась по формуле

$$P_v = \frac{n_v}{N_v}, \quad (2)$$

где  $n_v$  — число 5-ти секундных интервалов, в которых задание выполнено для всех испытуемых;  $N_v$  — общий объем выборки 5-ти секундных интервалов для всех испытуемых.

### **Результаты исследования и их анализ**

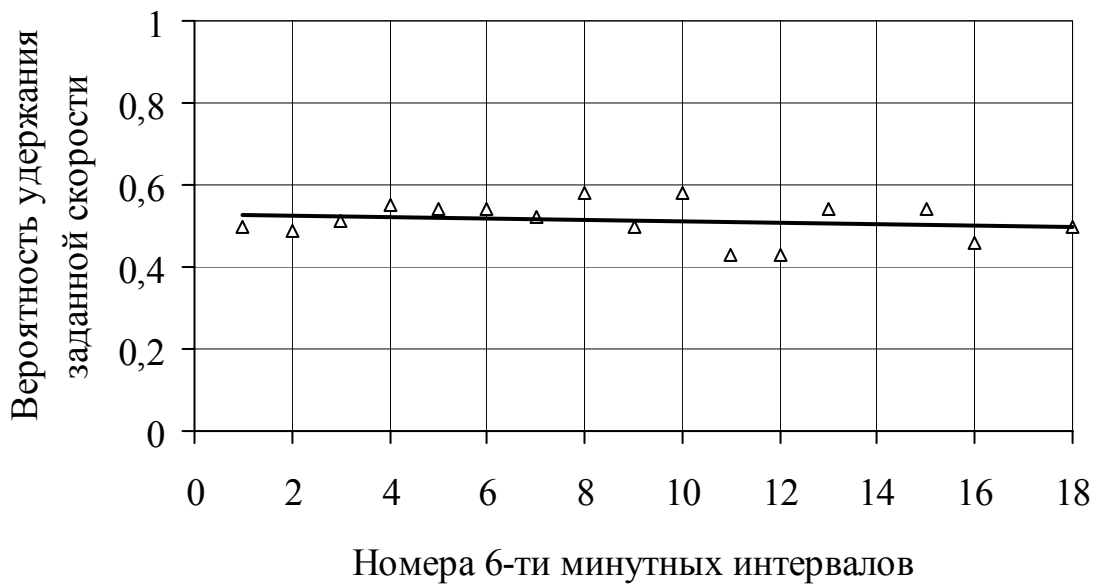
Результаты оценок динамики изменения относительной частоты выполнения задания, например для скоростей 60 и 80 км/ч, представлены на рис. 1. Анализ результатов показал, что при заданных скоростях 20 и 40 км/ч установившееся значение рассматриваемой частоты равно 0,4. При заданной скорости 60 км/ч эта частота равна 0,5, а при заданной скорости 80 км/ч — 0,7.

Кривая обучения при скорости 20 км/ч имеет три характерных участка. На первом участке частота удержания заданной скорости уменьшается от 1,0 до 0,7. На втором участке данная частота увеличивается от 0,7 до 0,8. На третьем участке рассматриваемая частота уменьшается от 0,8 до 0,4.

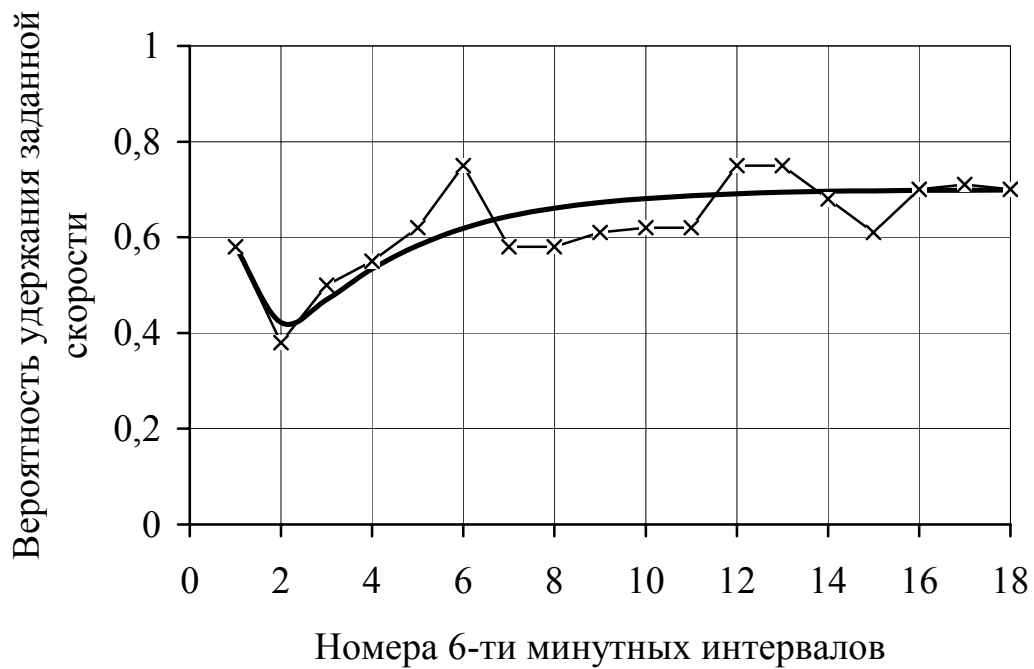
На кривой обучения при скорости 40 км/ч наблюдается устойчивое падение частоты удержания заданной скорости от 0,8 до 0,4. При скорости движения 60 км/ч частота удержания заданной скорости находится на уровне 0,5 в течение всего периода обучения. На кривой обучения при заданной скорости 80 км/ч имеется два характерных участка. На первом участке рассматриваемая частота быстро уменьшается от 0,58 до 0,4. На втором — возрастает от 0,4 до 0,7.

Характер динамики изменения частоты удержания заданной скорости свидетельствует о том, что в ситуациях с изменяющейся обстановкой движения обучение водителя осуществляется по принципам адаптации к этой обстановке. Исследования Гаврилова Э.В., Голованенко Н.С., Туманова В.В. [3,4] показали, что длительное движение со скоростями 20 и 40 км/ч приводит к развитию состояния монотонии. В свою очередь продолжительное движение со скоростью 80 км/ч приводит к развитию утомления. Это находит отражение в показателях функционального состояния организма обучаемого (рис. 2).

Анализ статистических характеристик сердечного ритма испытуемого показывает, что при движении со скоростью 20 км/ч изменение во времени размаха распределения и среднеквадратического отклонения RR-интервалов имеет колебательный характер с возрастающей амплитудой. Согласно Чайновой Л.Д. [5], это свидетельствует о развитии состояния монотонии.



а)



б)

Рис. 1. Динамика вероятности удержания заданной скорости:

а)  $V_3 = 60$  км/ч; б)  $V_3 = 80$  км/ч.

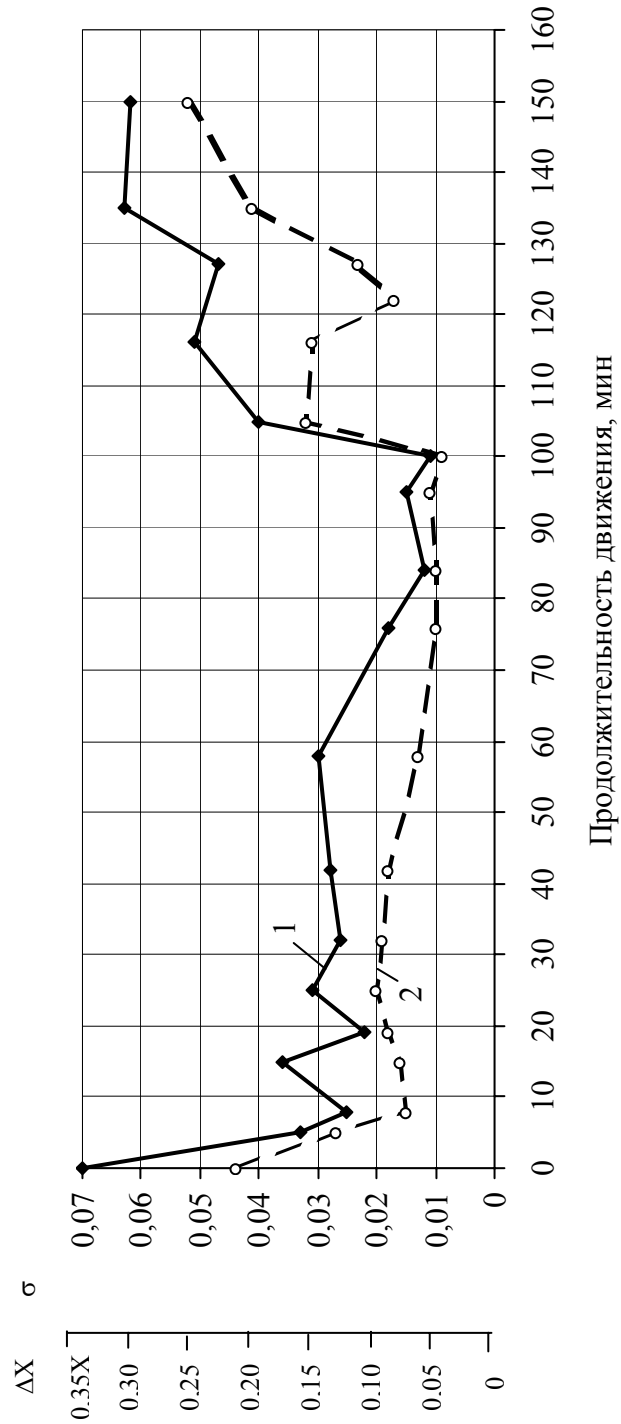


Рис. 2. Динамика статистических характеристик среднего ритма обучаемого при  $V_3 = 80$  км/ч:

1 – среднеквадратическое отклонение RR-интервалов ( $\sigma$ ), с;

2 – размах распределения RR-интервалов ( $\Delta X$ ), с

При движении со скоростью 80 км/ч до 100 мин. обучения эти же показатели устойчиво уменьшаются, а затем резко возрастают (см. рис. 2). Устойчивый рост этих показателей свидетельствует о развитии утомления. Наличие незначительных колебаний рассматриваемых показателей в этот период подтверждает, что утомление развивается на фоне монотонии.

При движении со скоростью 60 км/ч статистические характеристики сердечного ритма обучаемого имеют синусоидальные колебания с постоянной амплитудой, что, согласно [6], свидетельствует о развитии состояния напряженности.

Непрерывная регистрация фактических скоростей движения позволила оценить параметры деятельности водителя в процессе опытных заездов: силу мотива безопасности движения и силу мотива свободы действий. Для оценки силы мотивов использовался метод деформации целевой установки Гаврилова Э.В. В соответствии с этим методом сила мотива безопасности движения оценивалась по величине отрицательного отклонения фактической скорости от заданной. Последнее рассчитывалось по формуле

$$\Delta V_{\infty} = V_3 - (V_{\phi} - 2,5), \text{ км/ч.} \quad (3)$$

Сила мотива свободы действий оценивалась по величине положительного отклонения фактической скорости от заданной

$$\Delta V_{+} = V_3 - (V_{\phi} + 2,5), \text{ км/ч.} \quad (4)$$

Результаты оценки представлены на рис.3. Точка пересечения связи  $\Delta V_{+} = f(V_3)$  с осью  $V_3$  определяет функциональную норму скорости ( $V_{nc}$ ) для мотива свободы действий. В свою очередь, точка пересечения связи отрицательного отклонения скорости  $\Delta V_{-} = f(V_3)$  с осью  $V_3$  определяет функциональную норму скорости ( $V_{нб}$ ) для мотива безопасности движения. Согласно рис. 3  $V_{nc} = 80 \text{ км/ч}$ ,  $V_{нб} = 40 \text{ км/ч}$ . Тангенсы углов наклона связей  $\Delta V_{+} = f(V_3)$  и  $\Delta V_{-} = f(V_3)$  к оси  $V_3$  дают оценку величин жесткостей функциональных норм  $V_{nc}$  и  $V_{нб}$ .

В соответствии с экспериментальными данными жесткость функциональной нормы  $V_{nc}$  равна  $\gamma_c = 0,0175$ , жесткость функциональной нормы  $V_{нб}$  -  $\gamma_b = 0,0125$ .

Суммарное отклонение фактической скорости от заданной ( $V_{\Sigma}$ ) позволяет определить норму скорости движения для всей суммы действующих мотивов, т.е. для мотивации действий (рис. 4). Норма скорости соответствует нулевому отклонению фактической скорости от заданной и равна  $V_{\Sigma n} = 63 \text{ км/ч}$ . Тангенс угла наклона связи  $\Delta V_{\Sigma} = f(V_3)$  дает оценку жесткости нормы  $V_{\Sigma n}$ . Эта жесткость равна  $\gamma_{\Sigma} = 0,030$ .

Оценка силы доминирующих мотивов действий водителя и функциональных норм скоростей движения позволила рассчитать психическое принуждение водителя, которое возникает под действием этих мотивов. Величина психического принуждения рассчитывалась по формуле

$$U = \frac{1}{2} \gamma_c (V_3 - V_{nc})^2 + \frac{1}{2} \gamma_b (V_3 - V_{нб})^2, \quad (5)$$

где  $U$  – психическое принуждение водителя, ( $\text{км/ч}$ )<sup>2</sup>.

Результаты оценки психического принуждения представлены на рис. 5. Анализ результатов показал, что минимум принуждения водитель испытывает при скоростях движения, которые соответствуют норме скорости для мотивации действий. При этой же скорости наблюдается минимум сдвигов в показателях функционального состояния системы кровообращения организма водителя (рис. 6).



Рис. 3. Зависимость силы мотивов от заданной скорости

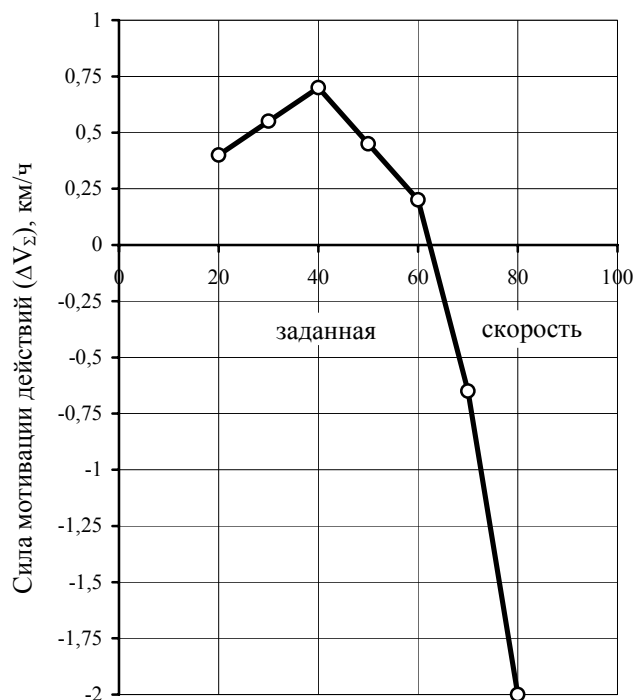


Рис. 4. Зависимость силы мотивации действий от заданной скорости

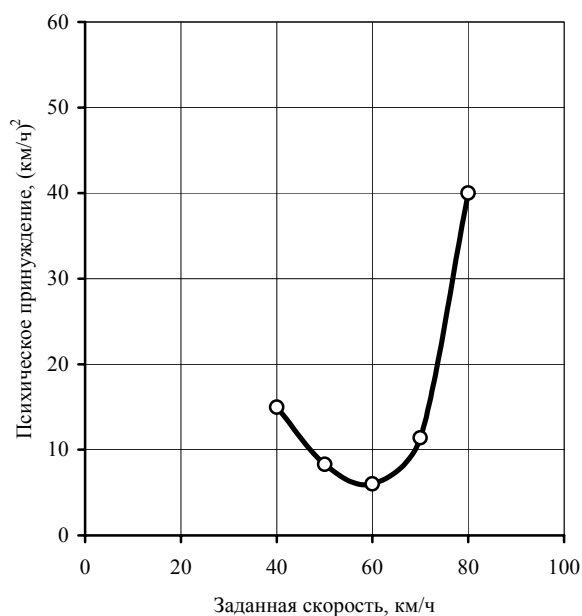


Рис. 5. Зависимость психического принуждения водителя от заданной скорости движения

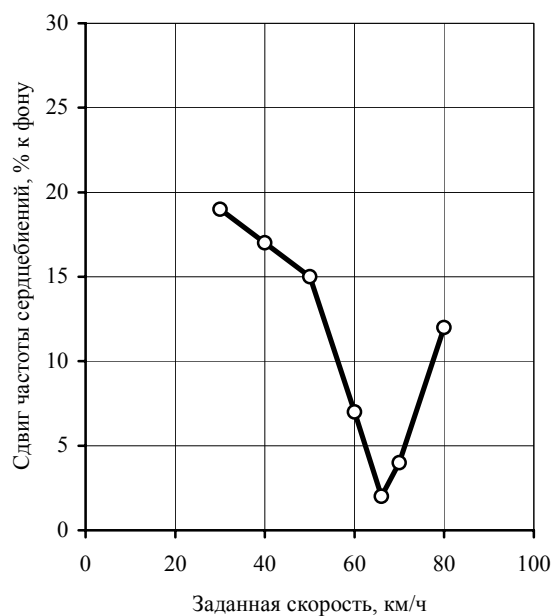


Рис. 6. Зависимость сдвига частоты сердечбиений водителя от заданной скорости движения

Сравнение данных рис. 3 – 6 с данными рис. 1 показывает, что при движении со скоростью, равной норме скорости для мотивации действий, вероятность удержания этой скорости сохраняется на уровне 0,5.

Последнее свидетельствует о том, что нормальным для ориентировочной деятельности является состояние минимума абсолютной организации реакции водителя на воздействие внешней среды. В таком состоянии водитель наиболее гибок, пластичен, способен адекватно реагировать на внешнее воздействие.

Адекватность модели обучения водителя в ситуациях с меняющейся обстановкой движения проверялась по методу парных сравнений на примерах удержания заданных скоростей движения 40 и 80 км/ч. Для описания процесса обучения использовалась математическая модель в форме [7]

$$P_v(\tau) = \frac{C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1 \tau} + \frac{C_1}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\beta \sin \beta \tau + \alpha \cos \beta \tau) + \frac{C_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha \tau} (\alpha \sin \beta \tau - \beta \cos \beta \tau) + P_{чз}, \quad (6)$$

где  $C_0, C_1$  и  $C_2$  — постоянные интегрирования;  $\tau$  — безразмерное изменение времени.

Поскольку начальное значение  $P_v(\tau)$  может быть определено лишь после проведения первого испытания, то формула (6) должна быть преобразована к виду

$$P_v(\tau) = \frac{C_0}{\lambda_1} e^{\lambda_1(\tau-1)} + \frac{C_1}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\beta \sin \beta(\tau-1) + \alpha \cos \beta(\tau-1)) + \frac{C_2}{\alpha^2 + \beta^2} e^{\alpha(\tau-1)} (\alpha \sin \beta(\tau-1) - \beta \cos \beta(\tau-1)) + P_{чз}. \quad (7)$$

Таким образом, используя экспериментальные данные, имеем:

– применительно к заданной скорости 40 км/ч

$$P_v(\tau) = 0,667e^{-0,366(\tau-1)} + 0,161e^{-1,648(\tau-1)} \times \\ \times [0,105 \sin 6,063(\tau-1) - 1,648 \cos 6,063(\tau-1)] + \\ + 0,010e^{-1,648(\tau-1)} [-1,648 \sin 6,063(\tau-1) - 0,105 \cos 6,063(\tau-1)] + 0,4; \quad (8)$$

– применительно к заданной скорости 80 км/ч

$$P_v(\tau) = -0,507e^{-0,366(\tau-1)} - 0,233e^{-1,648(\tau-1)} \times \\ \times [0,105 \sin 6,063(\tau-1) - 1,648 \cos 6,063(\tau-1)] - \\ - 0,014e^{-1,648(\tau-1)} [-1,648 \sin 6,063(\tau-1) - 0,105 \cos 6,063(\tau-1)] + 0,7. \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) позволяют определить динамику расчетных значений вероятностей удержания заданных скоростей движения в процессе обучения.

Адекватность расчетных значений рассматриваемых вероятностей экспериментальным данным оценивалась при помощи t-критерия Стьюдента.

Для заданной скорости 40 км/ч:

$$D = 0,013; \quad \sum d^2 = 0,037; \quad m_d = 0,010; \quad t_p = 1,257.$$

Для заданной скорости 80 км/ч:

$$D = 0,008; \quad \sum d^2 = 0,059; \quad m_d = 0,014; \quad t_p = 0,554.$$

Для уровня значимости 0,05 и числа степеней свободы (18-1)=17 табличное значение критерия Стьюдента  $t_m = 2,11$ . Поскольку все расчетные значения t-критерия меньше таб-

личного, то формулы (8) и (9) могут рассматриваться в качестве теоретического представления опыта.

### **Выводы**

1. Доказана адекватность моделей обучения человека вождению автомобиля в детерминированной и вероятностной средах. Оценка адекватности произведена по t-критерию Стьюдента.

2. Обучение человека вождению автомобиля в ситуации с изменяющейся обстановкой движения (вероятностная среда) осуществляется по принципам адаптации к этой обстановке.

3. Закономерности формирования навыка существенно зависят от функционального состояния организма обучаемого. В состоянии монотонии установившееся значение вероятности правильного выполнения функции управления равно 0,4, в состоянии напряженности – 0,7, в состоянии нормы и функционального комфорта – 0,5. Оказывается, что полная дезорганизация навыка способствует формированию гибкости, пластичности водителя, способности быстро приспосабливаться к любой среде.

### **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. Peel E. A. The pybil's thinking. – London, 1960.
3. Гаврилов Э. В. Теоретические основы проектирования и организации дорожного движения с учетом закономерностей поведения водителей: Дис... д-ра техн. наук. – Харьков, 1990. – 450 с.
4. Цыпкин Я. В. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 399 с.
5. Дрынков А.В. Математические модели обучения // В кн. Математическая психология: методология, теория, модели. – М.: Наука, 1985. – С.144 – 168.
6. Гаврилов Э. В., Линник И. Э., Банатов А. В. Оценка безопасности движения в городских условиях // Вестник ХГАДТУ. – Харьков: Изд. ХГАДТУ, 2002. – Вып. 17. – С. – 57 – 62.
7. Гаврилов Э. В., Гридчин А. М., Ряпухин В. Н. Системное проектирование автомобильных дорог. – Москва – Белгород: Изд. АВС, 1998. – 138 с.

Стаття надійшла до редакції 20.02.06  
© Сирота В.М., Волобуева Т.В., 2006