

УДК 625.72

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

О.Ю. Гредасова, асп., А.Г. Батракова, проф., д.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Обоснован подход к оценке и прогнозированию аварийности на автомобильных дорогах общего пользования, основу которого составляют принципы системного проектирования автомобильных дорог и закономерности изменения функционального состояния водителя в процессе движения. Предложена модель и соответствующий алгоритм оценки безопасности движения. Дана оценка параметров модели.

*Ключевые слова:* безопасность дорожного движения, функциональное состояние водителя, надежность деятельности водителя, технико-эксплуатационные показатели, жизненный цикл автомобильной дороги.

## АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ З УРАХУВАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ВОДІЯ

О.Ю. Гредасова, асп., А.Г. Батракова, проф., д.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотация.* Обгрунтовано підхід до оцінювання і прогнозування аварійності на автомобільних дорогах загального користування, основу якого складають принципи системного проектування автомобільних доріг і закономірності зміни функціонального стану водія у процесі руху. Запропоновано модель і відповідний алгоритм оцінки безпеки руху. Дано оцінку параметрів моделі.

*Ключові слова:* безпека дорожнього руху, функціональний стан водія, надійність діяльності водія, техніко-експлуатаційні показники, життєвий цикл автомобільної дороги.

## ALGORITHM FOR ESTIMATING ROAD TRAFFIC SAFETY TAKING INTO ACCOUNT THE DRIVER'S FUNCTIONAL STATE

O. Gredasova, P. G., A. Batrakova, Prof., D. Sc. (Eng.),  
Kharkiv National Automobile and Highway University

**Abstract.** An approach to assessment and prediction of accidents on the roads of general use, which is based on the system design of highways and regularities of changes of the driver's functional state during the trip is grounded. A model and the corresponding algorithm for evaluating traffic safety are offered. The model parameters are estimated.

**Key words:** road safety, driver's functional state, reliability of driver's activity, performance indicators, life cycle of the road.

### Введение

Одной из основных причин роста аварийности является несоответствие технико-эксплуатационных показателей состояния автомобильных дорог требованиям современного

автотранспорта. Кроме того, увеличение интенсивности дорожного движения и нарушение правил дорожного движения приводят к росту числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

## Анализ публикаций

Многочисленными исследованиями установлено, что на количество ДТП влияют факторы, связанные со средой дорожного движения, участниками дорожного движения и транспортным средством [1, 2, 3]. При этом, по мнению отечественных и зарубежных ученых, несоответствие параметров среды движения закономерностям поведения водителя является одной из основных причин возникновения ДТП [1, 2, 3].

### Цель и постановка задачи

Существующие в настоящий момент методы не позволяют прогнозировать изменение безопасности дорожного движения во времени. Вместе с тем, при разработке проектов строительства и реконструкции автомобильных дорог, при решении задач организации дорожного движения, возникает необходимость в оценке безопасности дорожного движения в процессе жизненного цикла автомобильной дороги. Это связано с изменением технико-эксплуатационных показателей (ТЭП) автомобильной дороги в процессе жизненного цикла, что приводит к изменению уровня безопасности дорожного движения. Следовательно, методика оценки и прогнозирования уровня безопасности дорожного движения должна учитывать закономерности изменения технико-эксплуатационных показателей в процессе жизненного цикла автомобильной дороги.

С другой стороны, в рамках системного проектирования, автомобильная дорога понимается как логическая основа деятельности водителя. Поэтому основу методики должен составить эргономический подход, позволяющий оценить функциональное состояние водителя с учетом изменения ТЭП автомобильной дороги в процессе ее жизненного цикла.

Проведенный анализ показал, что из существующих методов оценки аварийности наиболее перспективным является метод Э.В. Гаврилова, согласно которому условия движения по автомобильной дороге ставятся в соответствие требованиям водителя и оцениваются по результатам его деятельности [3, 4]. При этом система «водитель–автомобиль–дорога» рассматривается как биомеханическая система [2] с обратной связью, представленной на рис. 1.

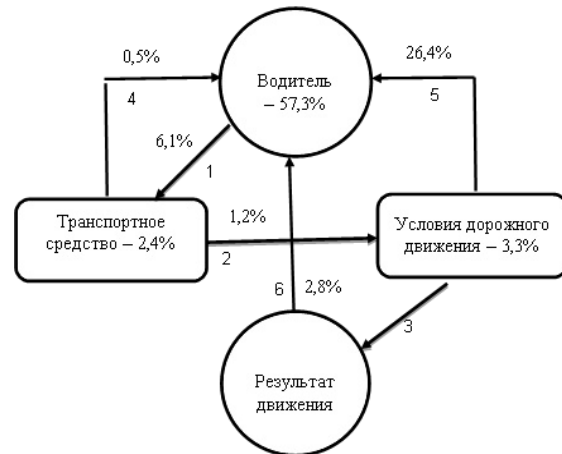


Рис. 1. Схема биомеханической системы «водитель–транспортное средство–условия дорожного движения»

Поэтому целью исследования является разработка алгоритма оценки и прогнозирования уровня безопасности дорожного движения по показателям функционального состояния водителя с учетом изменения ТЭП в процессе жизненного цикла автомобильной дороги.

### Результаты исследования

Основными показателями функционального состояния водителя, позволяющими судить о напряженности его деятельности и тем самым характеризующими степень опасности дорожных условий, являются:

- надёжность деятельности водителя ( $P_v$ );
- продуктивность деятельности водителя ( $W$ );
- удельные затраты абстрактного труда водителя ( $Y$ ).

В свою очередь, к дорожным условиям относятся показатели, изменяющиеся и не изменяющиеся в процессе эксплуатации. К первой группе показателей относятся ТЭП, в наибольшей степени влияющие на функциональное состояние водителя и определяющие выбор водителем безопасной скорости и дистанции для движения, а именно: ровность покрытия и сцепные качества покрытия, оцениваемые коэффициентом сцепления. Тогда решение задачи оценки и прогнозирования безопасности движения сводится:

- к определению параметров среды движения, обеспечивающих движение со скоростями, близкими к суммативной норме скорости, то есть обеспечивающих минимум

удельных затрат труда водителя, минимум психического принуждения и максимум надежности деятельности водителя; – к определению предельных скоростей движения, определяемых предельными значениями показателей функционального состояния водителя.

Следовательно, задача обеспечения безопасности движения может быть представлена в виде набора целевых функций:

$$\begin{aligned} P_v &\xrightarrow{a} \max, \\ W &\xrightarrow{a} \max, \\ Y &\xrightarrow{a} \min, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $P_v$  – надёжность деятельности водителя;  $W$  – продуктивность деятельности водителя;  $Y$  – удельные затраты абстрактного труда водителя.

Удельные затраты абстрактного труда водителя ( $Y$ ) определяются по экспериментально установленной зависимости [5]

$$Y = \frac{U}{W}, \quad (2)$$

где  $U$  – психическое принуждение водителя, являющееся функцией психической и энергетической стоимости движения;  $W$  – продуктивность деятельности водителя.

Психическое принуждение ( $U$ ) может быть оценено по формуле [4]

$$U = \int \text{MdП} \frac{1}{2} \left[ m_\sigma V_3 - V_{n2}^2 + m_c V_3 - V_{n3}^2 \right], \quad (3)$$

где  $M$  – сила мотива;  $\text{П}$  – потребность;  $m_\sigma, m_c$  – жесткость мотивов безопасности движения и свободы действий соответственно;  $V_3$  – заданная скорость движения автомобиля, км/час;  $V_{n2}, V_{n3}$  – нормы скоростей движения, при которых силы мотивов безопасности и свободы действий равны нулю, км/час.

Продуктивность деятельности водителя определяется как вероятность удержания заданной скорости ( $P_v$ ) к заданной скорости движения автомобиля ( $V_3$ )

$$W = P_v V_3. \quad (4)$$

Вероятность удержания заданной скорости определяется [4]

$$\begin{aligned} P_v &= 1 \quad \text{при } V_3 < V_0; \\ P_v &= 1 - \gamma_b (V_3 - V_0)^{\beta_1} \quad \text{при } V_0 < V_3 < V_{n0}; \end{aligned} \quad (5)$$

$$P_v = 1 - \gamma_c \gamma_c (V_3 - V_0)^{\beta_1} (V_3 - V_{n3}) \quad \text{при } V_{n0} < V_3 < V_{n2};$$

$$P_v = 1 - \gamma_c (V_3 - V_{n3}) - \gamma_b (V_3 - V_{n2})^{\beta_2} \quad \text{при } V_{n2} < V_3 < V_{n3};$$

$$P_v = 1 - \gamma_b (V_3 - V_{n2})^{\beta_2} \quad \text{при } V_{n3} < V_3 < V_{n1};$$

$$P_v = 0 \quad \text{при } V_3 > V_{n1};$$

где  $V_{n2}, V_{n3}, V_{n1}$  – нормы скоростей для мотива безопасности, свободы действий и предельно допустимая скорость по показателям состояния водителя, км/час;  $V_3$  – заданная (расчетная) скорость движения автомобиля, км/час.

На основе методики Гаврилова Э.В. разработан алгоритм оценки показателей функционального состояния водителя (рис. 2), включающий в себя блок, учитывающий изменения ТЭП во времени, и блок расчета энтропийных характеристик с учетом изменения технико-эксплуатационных показателей (рис. 3).

Исходя из поставленных задач, в работе дана оценка связи ТЭП с показателями функционального состояния водителя, а именно: с надежностью деятельности водителя, с нормами скоростей, с психическим принуждением и продуктивностью работы водителя, представленными на рис. 4–7.

Проведенные исследования позволили обосновать критерии оценки безопасности движения по показателям функционального состояния водителя, основу которых составляет связь между частотой сердцебиения ( $\Delta\Phi_r$ ) и коэффициентом происшествий ( $K_{\text{тр}}$ ) [6]

$$Y = \frac{\Delta\Phi_r}{W \cdot P_v}, \quad (6)$$

где  $\Delta\Phi_r$  – частота сердцебиений.

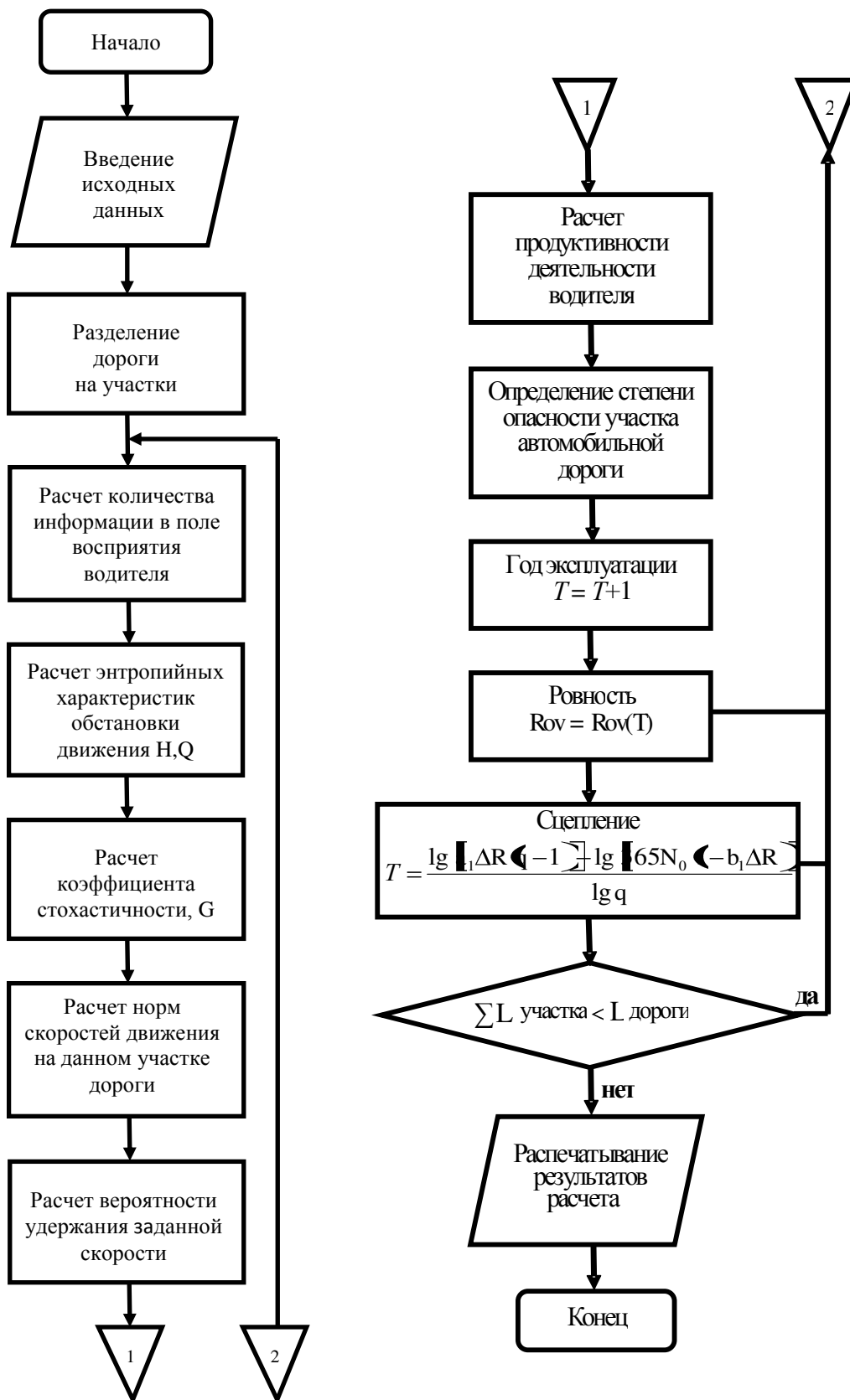


Рис. 2. Алгоритм оценки показателей функционального состояния водителя с учетом изменения технико-эксплуатационных показателей во времени

Расчет энтропийных характеристик

Расчет вероятности нахождения элемента дороги в опасном для движения состоянии

$$P = 0,14449 + (2,67553 \cdot Rov \cdot 10^4) + (5,33827 \cdot Rov \cdot Rov \cdot 10^7)$$

Расчет текущей энтропии поля восприятия водителя – H

$$H = -n \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i - n \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i)$$

Расчет абсолютной организации поля восприятия водителя – Q

$$Q = n^2 + n \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i + n \sum_{i=1}^n (1 - P_i) \log_2 (1 - P_i)$$

Рис. 3. Блок-схема расчета энтропийных характеристик с учетом изменения технико-эксплуатационных показателей

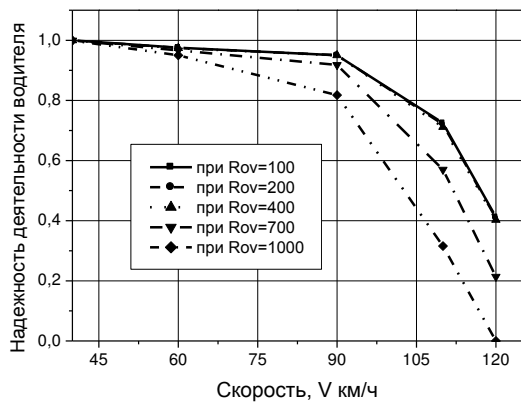


Рис. 4. Надежность деятельности водителя

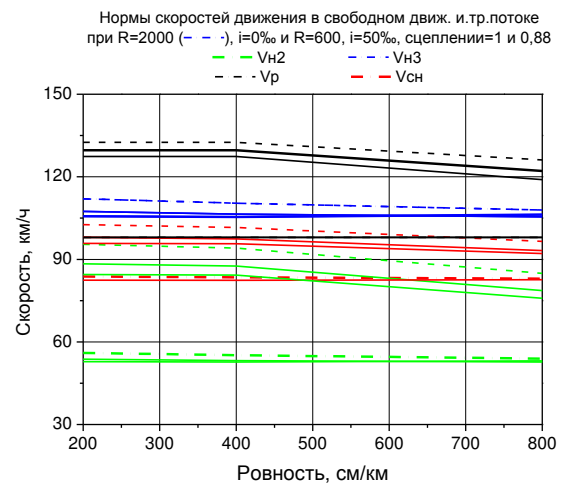


Рис. 6. Нормы скорости движения

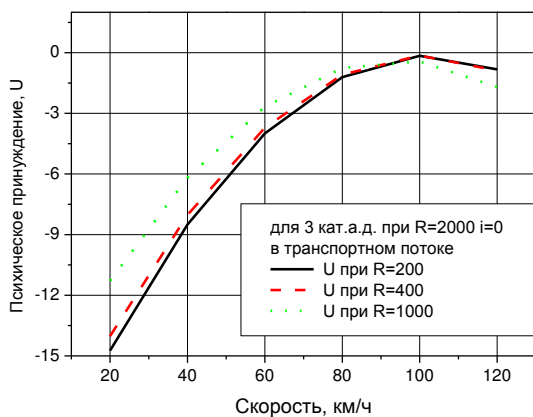


Рис. 5. Психическое принуждение водителя

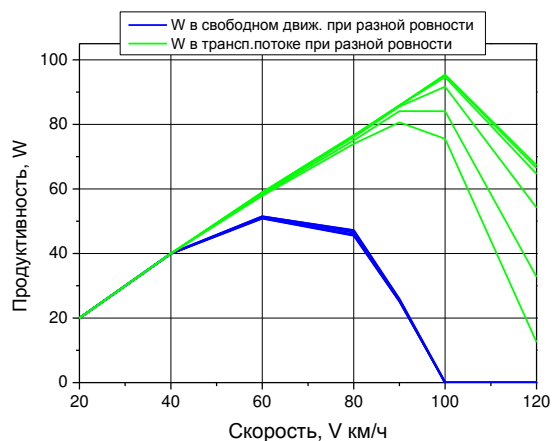


Рис. 7. Продуктивность работы водителя

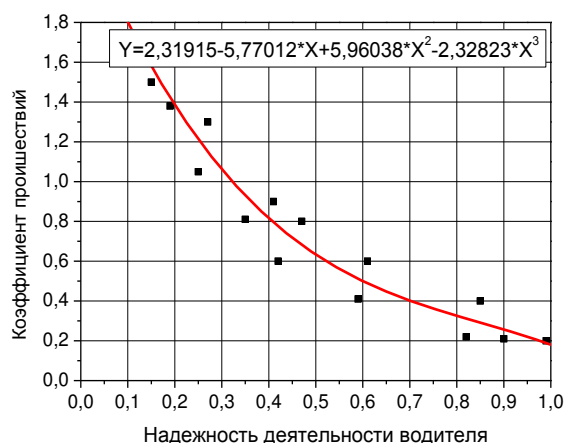


Рис. 8. Зависимость между надежностью деятельности водителя и коэффициентом происшествий

В свою очередь, в работе [6] показано, что частота сердцебиения связана с показателем функционального состояния водителя, что позволило установить связь между надежностью деятельности водителя и коэффициентом происшествий (рис. 8) и разработать градацию степени опасности участков дороги по показателю надежности деятельности водителя ( $P_V$ )

$$K_{пр} = f(P_V, Y, V_a),$$

$$\Delta\Phi_r = Y \cdot W,$$

$$\Delta\Phi_r = Y \cdot P_V \cdot V_a \quad (7)$$

$$W = P_V \cdot V_a,$$

где  $K_{пр}$  – коэффициент происшествий;  $V_a$  – скорость автомобиля, км/час.

### Выводы

Проведенное исследование позволило разработать алгоритм оценки безопасности движения, учитывающий изменение функционального состояния водителя и ТЭП во

времени. Дана оценка параметров модели и установлена связь технико-эксплуатационных показателей с показателями функционального состояния водителя. Алгоритм составляет основу методики прогнозирования аварийности в процессе жизненного цикла автомобильной дороги.

### Литература

1. Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1980. – 312 с.
2. Селюков Д.Д. Теоретические основы обоснования технических параметров автомобильных дорог с учетом физиологических и функциональных требований автотранспортной системы: автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук. / Д.Д. Селюков. – Минск, 1997. – 34 с.
3. Гаврилов Э.В. Системное проектирование автомобильных дорог / Э.В. Гаврилов, А.М. Гридчин, В.Н. Ряпухин. – Белгород: АСВ. 1988. – 138 с.
4. Гаврилов Э.В. Эргономика на автомобильном транспорте / Э.В. Гаврилов. – К.: Техника, 1976. – 152 с.
5. Голованенко Н.С. Оценка эргономического качества автомобильных дорог и условий движения: дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.11 / Н.С. Голованенко. – Х.: ХАДИ, 1983. – 280 с.
6. Гаврилов Э.В. Оценка безопасности движения в городских условиях / Э.В. Гаврилов, И.Э. Линник, А.В. Банатов / Вестник ХГДТУ: сб. науч. тр. – 2002. – Вып. 17. – С. 57–62.

Рецензент: И.С. Наглюк, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 13 июня 2016 г.