

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.10.15>

УДК: 614.86, 656.086.15

## ИНЖЕНЕРНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

С. В. Герус<sup>1</sup>, В. В. Дементенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал), 141190, Фрязино, пл. Введенского, 1

<sup>2</sup> Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН  
125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.

Статья поступила в редакцию 25 сентября 2021 г.

**Аннотация.** Проводится анализ необходимости применения на транспорте устройств мониторинга состояния водителя. Отмечено, что водитель может сам не замечать кратковременные провалы внимания. Необходимо исключать такие провалы, которые могут приводить к тяжёлым последствиям на дороге. На основе математической модели показано, что важно учитывать как надёжность системы мониторинга распознавать потерю работоспособности водителя, так и её способность достаточно быстро инициализировать водителя в случае необходимости. Показано, что использование систем, обнаруживающих понижение уровня бдительности с достаточно высокой надёжностью, обеспечит рост общего уровня безопасности на дорогах. Приведён пример такой системы.

**Ключевые слова:** безопасность, водитель, работоспособность, опасный отказ, электродермальная реакция.

**Abstract.** The analysis of the need to use devices for monitoring the state of the driver in transport is carried out. It is noted that the driver may not notice short-term attention gaps. It is necessary to exclude such failures that may lead to serious consequences on the road. On the basis of a mathematical model, it is shown that it is important to take into account both the reliability of the monitoring system to recognize the loss of the

driver's efficiency, and its ability to quickly initialize the driver if necessary. It is shown that the use of systems that detect a decrease in the level of vigilance with a sufficiently high reliability will provide an increase in the overall level of road safety. An example of such a system is given.

**Key words:** safety, driver, efficiency, hazardous failure, electrodermal reaction.

## **Введение.**

Организм человека устроен так, что ему требуется для восстановления отдых. Если говорить про водителя, то в течение рабочего дня, даже если он хорошо отдохнул ночью, он не может постоянно находиться в состоянии высокой готовности к экстренному действию. Время от времени его организм переходит в состояние релаксации для осуществления кратковременного отдыха, релаксация может быть очень глубокой – провалы активности. Такие состояния могут длиться очень недолго (единицы минут, десятки секунд), но глубина провалов может быть разной вплоть до «микросна». Такие провалы наблюдаются тем чаще, чем выше степень усталости.

Неглубокая релаксация может быть безопасной, если это позволяет обстановка. Но человек так устроен, что если он специально не тренирован, то глубину релаксации он чаще всего оценить не может. Тогда возможен провал, который является, безусловно, опасным состоянием, не говоря уже о провале в сон не важно кратковременный он или длительный. Продолжительный сон это – почти всегда опасное событие. Кратковременный приводит к тяжелым последствиям, если в эти секунды или минуты провала произошли резкие изменения: зеленый сигнал светофора сменился на красный, человек вышел на пути и т.п. В этом случае мы слышим объяснения такого типа: я не видел, когда он появился (потеря бдительности). На самом деле – это результат провала активности на непродолжительное время.

Одной из самых важных задач является исключение из контура управления транспортным средством (ТС) водителя, состояние работоспособности которого по каким-то причинам перестало соответствовать требованиям безопасности.

Имеется в виду, произошедшее во время работы засыпание, потеря сознания, смерть. При этом, если нет возможности устранить неадекватного водителя, необходимо попробовать восстановить его состояние до рабочего (произвести инициализацию).

Фактически первая и основная задача сводится к тому, что необходимо обеспечить подачу сигнала на передачу управления другому уполномоченному человеку, «автопилоту», или на остановку ТС, если водитель не может управлять транспортным средством по причине потери необходимой физиологической кондиции. Т.е. *речь не идет об определении состояния человека вообще*, а только о нахождении неблагоприятных признаков, либо признаков, безусловно подтверждающих то, что состояние водителя соответствует норме.

Вторая или дополнительная задача: в случае, если обнаружена тенденция к снижению работоспособности, нужно предпринять меры к ее восстановлению. Если меры оказались недейственными, то необходимо перейти выполнению первой задачи.

Эти задачи обычно решаются с помощью технических средств [1], часто их называют системами поддержания работоспособности водителя (СПРВ). При этом должна быть обеспечена функциональная безопасность контролируемого объекта, это значит, что *в каждый момент времени такими приборами необходимо обеспечить у водителя такое физиологическое состояние, в котором он способен выполнять работу*. Приборы, которые решают выше поставленные задачи, имеют очень важную характеристику: вероятность опасного отказа (в математической статистике – ошибка второго рода). В нашем случае это – вероятность того, что водитель не способен выполнять работу, а СПРВ указывает на то, что все в порядке.

## **1. Математическая модель системы мониторинга водителя.**

Рассмотрим случай засыпания водителя во время движения ТС. Попытаемся формально описать полную задачу и дать ее решение. Имеется в

виду инициализация засыпающего водителя и, при невозможности восстановления работоспособного состояния, остановка ТС.

Система (Водитель-СПРВ) может находиться в одном из четырех состояний: в работоспособном состоянии  $Z_0$ ; может отказать, но отказ средствами контроля не обнаруживается (опасное состояние  $Z_1$ ); может отказать, но отказ обнаруживается средствами контроля  $Z_2$  (СПРВ предпринимает попытку привести водителя в рабочее состояние или остановить автомобиль); последнее состояние – это ДТП (состояние  $Z_3$ ).

Графически эти состояния представлены на рис. 1. Между состояниями возможны переходы. В том случае, если интенсивности переходов между состояниями постоянны во времени модель работы системы представляет собой однородную марковскую цепь. Поясним, что представляют собой эти интенсивности:

- Интенсивность перехода из состояния  $Z_0$  в состояние  $Z_2$  ( $0 \Rightarrow 2$ ) равна  $\lambda_2 = p\lambda$ . Здесь  $\lambda$  есть интенсивность потери работоспособности водителем (сон, приступ болезни и т.д.), а  $p$  – вероятность обнаружения отказа водителя. Это вероятность определения неработоспособного состояния водителя системой СПРВ. Эта величина имеет большой разброс в зависимости от условий труда. Так в работе [2] указывается характерная величина интенсивности засыпания для водителей  $\lambda = 7 \cdot 10^{-7}$  1/ч. Для судоводителей она составляет  $\lambda = 10^{-3}$  1/ч, для машинистов  $\lambda = 10^{-2}$  1/ч. Вероятность обнаружения засыпания  $p$  лежит в пределах от 0.95 (ЭЭГ, видеокамера) до 0.9999 (системы на основе кожно-гальванической реакции – КГР)

- Интенсивность перехода из состояния  $Z_0$  в неконтролируемое состояние  $Z_1$  ( $0 \Rightarrow 1$ ) равна  $\lambda_1 = (1 - p) \lambda$ .

- Интенсивность выявления необнаруженных отказов ( $1 \Rightarrow 0$ ) равна  $u$ . Характерное время перехода  $1/u < 15$  сек. – время, за которое водитель в среднем может проснуться сам.

- Интенсивность инициализации водителя системой СПРВ из обнаружимого состояния  $Z_2$  ( $2 \Rightarrow 0$ ) равна  $\mu$ . Характерное время перехода  $1/\mu < 7$  сек.

- Интенсивность возникновения ДТП у автомобиля с неработоспособным водителем ( $1,2 \Rightarrow 3$ ) равна  $w$ . Характерное время перехода  $1/w < 60$  сек.

Таким образом, для последующих упрощений при проведении вычислений есть малый параметр:  $\lambda \ll u, w, \mu$ .

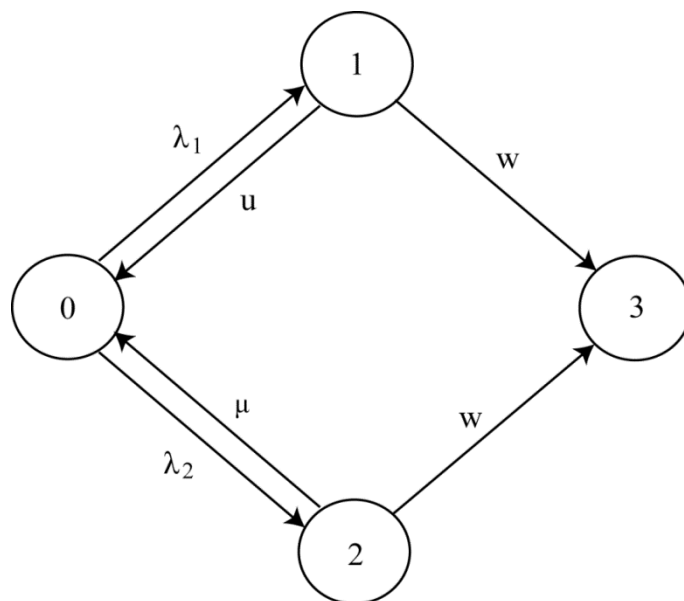


Рис. 1. Граф системы “Водитель-СПРВ”.

Представленная модель описывается системой линейных дифференциальных уравнений Колмогорова [3]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_0 &= -\lambda P_0 + uP_1 + \mu P_2; \\ \dot{P}_1 &= (1-p)\lambda P_0 - (u+w)P_1; \\ \dot{P}_2 &= p\lambda P_0 - (\mu+w)P_2; \\ \dot{P}_3 &= wP_1 + wP_2; \end{aligned} \right\}$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1.$$

Здесь  $P_0, \dots, P_3$  – вероятности того, что система находится в одном из указанных состояний.

Пусть, в начальный момент времени система не имеет наработки и полностью работоспособна. Это соответствует начальным условиям

$$P_0(t=0) = 1, P_1(t=0) = P_2(t=0) = P_3(t=0) = 0.$$

Перейдем сразу к окончательному решению поставленной задачи, поскольку метод решения этой системы не является предметом данной статьи.

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= \exp(-z_3 t); \\ P_1 &= \frac{\lambda(1-p)}{u+w} \exp(-z_3 t); \\ P_2 &= \frac{\lambda p}{\mu+w} \exp(-z_3 t); \\ P_3 &= 1 - \exp(-z_3 t). \end{aligned} \right\},$$

где

$$\begin{aligned} z_1 &= u + w + \lambda(1-p) \frac{u}{u+w}; \\ z_2 &= \mu + w + \lambda p \frac{\mu}{\mu+w}; \\ z_3 &= \lambda(1-p) \frac{w}{u+w} + \lambda p \frac{w}{\mu+w}. \end{aligned}$$

Отметим, что сумма  $P_0 + P_1 + P_2 + P_3$  не равна 1 поскольку в вышеприведенных формулах были оставлены только члены в первом неисчезающем приближении по  $\lambda$ . Если учесть вторые степени по  $\lambda$  в формулах для  $P_0$  и  $P_3$ , то сумма станет значительно ближе к 1.

Величина  $z_3$  является интенсивностью опасных отказов. В ДТП (состояние 3) попадают как из состояния 1, так и из состояния обнаруженного сна 2.

Если в формуле для  $z_3$  положить  $p = 0$ , то это будет означать отсутствие системы СПРВ и величина

$$z_0 = \lambda \frac{w}{u+w}$$

представляет собой интенсивность ДТП с поправочным коэффициентом к интенсивности засыпания  $\lambda$ , учитывающим возможность водителя проснуться с интенсивностью  $u$  и, тем самым, избежать аварии. Коэффициент  $K = z_3 / z_0$  показывает во сколько раз уменьшится аварийность при использовании системы СПРВ. Разделив  $z_3$  на  $z_0$  получим:  $K = K_1 + K_2$ , где

$$K_1 = (1 - p), K_2 = p \frac{(u + w)}{(\mu + w)}.$$

$K_1$  характеризует неспособность СПРВ обнаруживать неработоспособное состояние водителя.  $K_2$  показывает насколько быстро он может быть инициализирован после обнаружения системой СПРВ его неработоспособности.

## 2. Выводы.

Поскольку к ДТП ведут оба пути определяемые коэффициентами  $K_1$  и  $K_2$ , то нет причин делать один коэффициент больше другого. Они должны быть соизмеримыми.

Поясним это на примере. Пусть имеется СПРВ со значением вероятности обнаружения отказа  $p = 0,99$ . А система инициализации срабатывает либо медленно ( $\mu = 1/7$  1/с), либо достаточно быстро ( $\mu = 1/0,15$  1/с). В первом случае получим  $K_1 = 0.01$ ,  $K_2 = 0,52$  и суммарный коэффициент  $K = 0,53$ . То есть если инициализация водителя происходит медленно ( $K_2 \gg K_1$ ), то суммарный коэффициент окажется близким к наихудшему:  $K \sim K_2$ . Во втором случае получаем  $K_1 = 0.01$ ,  $K_2 = 0.012$  и суммарный коэффициент уже гораздо меньше  $K = 0.022$ .

Отметим, что в настоящее время существуют такие СПРВ, в которых определяется не тот момент, когда водитель полностью теряет способность к безопасной работе, а когда определяются только признаки его возможного «отказа». Это, например, системы основанные на технологии использования анализа электродермальной реакции [4], [5]. В этом случае к системе инициализации не предъявляются такие жесткие требования. Более того, водитель может видеть индикацию своего состояния и сам предпринимает необходимые действия для своей инициализации.

## Заключение.

В заключение отметим следующее. В Российской Федерации в 2020 году было совершено около 145 тысяч ДТП, в которых погибло более 16 тысяч

человек и ранено более 183 тысяч. По оценкам ведущих специалистов, занимающихся этой проблемой, до 20% ДТП связано с потерей водителем бодрствующего состояния. То есть около 3000 людей погибло и около 35000 было ранено из-за того, что на дороге оказались водители в сонном состоянии. Системы поддержания работоспособности водителя должны решить эту задачу.

Уже существуют системы способные практически ликвидировать эти ужасающие цифры. Например, у СПРВ «Вигитон<sup>®</sup>» [6]  $K_1 < 0,001$ , а  $K_2 \approx 0$ , т.к. система с биологической обратной связью производит инициализацию водителя еще до его попадания в состояние сна. Оборудование автомобиля этой системой снижает риск аварии из-за засыпания водителя более чем в 1000 раз, что соответствует требованиям УПБ\_А\_С ГОСТ Р ИСО 26262. Если этими системами оборудовать весь парк автомобилей сон за рулем будет исключен.

### **Финансирование.**

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №18-29-02068 мк).

### **Литература**

1. Дементенко В.В., Дорохов В.Б. Оценка эффективности систем контроля уровня бодрствования человека-оператора с учетом вероятностной природы возникновения ошибок при засыпании. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2013. Т.63. №1. С.24-32. <https://doi.org/10.7868/S0044467713010036>
2. Дементенко В.В., Дорохов В.Б., Герус С.В., Марков А.Г., Шахнарович В.М. Эффективность систем мониторинга водителя. *Журнал технической физики*. 2007. Т.77. №6. С.103-108.
3. Феллер В. *Введение в теорию вероятностей и ее приложения*. Москва, Мир. 1967. Т.1. 438 с.



4. Дементиев В.В., Марков А.Г., Коренева Л.Г., Шахнарович В.М. Автоматизированный контроль бодрствования водителя транспортного средства. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2000. №8. С.38-47.
5. Бугаев А.С., Герус С.В., Дементиев В.В., Дорохов В.Б., Миргородский В.И., Шахнарович В.М. Телемеханическая система контроля бодрствования машиниста. *Бюллетень объединенного ученого совета ОАО РЖД*. 2017. №2. С.21-41.
6. Dementienko V.V. Driver vigilance remote monitoring system. *Science Journal of Transportation*. 2015. V.6. P.110-114.

**Для цитирования:**

Герус С.В., Дементиев В.В. Инженерное решение задачи контроля состояния водителя. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.10.15>