

УДК 614.86, 656.086.1

**Определение объёма испытаний транспортных средств для оценки  
эффективности систем мониторинга водителя**

**Александр Степанович Бугаёв**, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия  
[bugaev@cplire.ru](mailto:bugaev@cplire.ru)

**Сергей Валерианович Герус**, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия  
[svg318@ire216.msk.su](mailto:svg318@ire216.msk.su), <https://orcid.org/0000-0002-1611-6484>

**Валерий Васильевич Дементенко**, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия  
[v.dementienko@neurocom.ru](mailto:v.dementienko@neurocom.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0488-7334>

***Аннотация.** Рассчитаны объёмы испытаний транспортных средств, оборудованных системами мониторинга сонного состояния водителя. Рассмотрены два вида испытаний. Первый вид испытаний предполагает, что в нём будут участвовать две одинаковые по численности группы транспортных средств – одна оборудованная системой мониторинга, другая без таковой. Предполагается, что ДТП, совершаемые в этих группах, могут происходить как из-за возникновения сонного состояния водителя, так и по другим причинам. Вторым видом испытаний отличается тем, что в нём предусмотрена возможность непосредственно регистрировать факт ДТП по причине потери водителем состояния бодрствования. Определено необходимое количество транспортных средств, оборудованных системами мониторинга водителя, и длительность испытаний для получения результатов с заданным уровнем доверительной вероятности.*

***Ключевые слова:** безопасность, ДТП, испытания транспортных средств, система мониторинга водителя, сонное состояние.*

## **Determining of vehicle testing volume to evaluate the effectiveness of driver monitoring systems**

**Aleksandr S. Bugaev**, Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS (Fryazino Branch), Fryazino, Russia

[bugaev@cplire.ru](mailto:bugaev@cplire.ru)

**Sergei V. Gerus**, Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS (Fryazino Branch), Fryazino, Russia

[svg318@ire216.msk.su](mailto:svg318@ire216.msk.su), <https://orcid.org/0000-0002-1611-6484>

**Valeri V. Dementienko**, Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Moscow, Russia

[v.dementienko@neurocom.ru](mailto:v.dementienko@neurocom.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0488-7334>

***Abstract.** Volumes of tests of vehicles equipped with systems for monitoring the sleepy state of the driver are calculated. Two types of tests are considered. The first type of tests involved two groups of vehicles of equal size - one equipped with the monitoring system and the other without it. It was assumed that crashes in these groups could occur due to both driver drowsiness and other causes. The second type of tests differs by the fact that it provided an opportunity to directly register the fact of an accident due to the driver's loss of wakefulness. The required number of vehicles equipped with driver monitoring systems and the duration of the tests to obtain results with a given confidence level, were determined.*

***Keywords:** safety, traffic accidents, vehicle testing, driver monitoring system, sleepy state.*

## **Введение**

Согласно публикации [1] в 2017 году в РФ произошло 169.4 тыс. ДТП, в которых погибло 19.1 тыс. человек. То есть, вероятность погибнуть в результате аварии составила  $P = 0.113$ . Несмотря на достаточно жёсткие условия труда и отдыха, предъявляемые во многих странах к водителям, по мировой статистике происходит потеря бодрствования во время их работы и, согласно исследованиям разных авторов, на долю аварий, связанных с засыпанием, приходится от нескольких единиц до приблизительно двадцати процентов случаев [2], [3]. Таким образом, в 2017 году по причине потери работоспособного состояния водителями произошло около 25410 ДТП, в которых погибло около 2865 человек.

Аналогичные цифры повторяются из года в год. Так, общее количество ДТП в РФ в 2019 году ~152 тыс., из них ~13 тыс. с летальным исходом.

По-видимому, практическое внедрение Интеллектуальных транспортных систем (ИТС) должно уменьшить общую аварийность. Но, поскольку, в соответствии с Директивой Еврокомиссии 2010/40/EU от 7 июля 2010 года [4] ИТС определяется как система, в которую кроме инфраструктуры, транспортных средств и пр. включаются так же участники системы, то водитель останется основным источником ДТП.

Введение в широкую практику средств, обеспечивающих необходимый уровень работоспособности операторов, стало актуальной задачей. Условием эффективности применения таких средств является мониторинг состояния человека в каждый момент рабочего времени.

Количество публикаций по этой теме велико, и оно всё время возрастает, достаточно отметить лишь небольшую их часть [5] – [10], а также обзор [11]. Растёт также количество патентов на устройства, обеспечивающих мониторинг состояния водителя, включая слежение за его глазами и головой, за тем как он управляет автомобилем, измеряющих

его биомедицинские показатели, такие как сопротивление кожи, тепловые потери частоту сердечных сокращений и так далее. При таком многообразии предлагаемых решений возникает проблема выбора наиболее оптимального из них. При этом нужно учитывать важный и определяющий фактор – прибор, детектирующий состояние водителя, является устройством безопасности. Вся его работа должна обеспечивать безопасность на дороге, значит и его функционирование должно быть безопасно. Иными словами, если устройство мониторинга в опасной дорожной ситуации не обнаружит, что водитель потерял рабочее состояние, то произойдёт ДТП. Нужно понимать, что ни одно устройство не может быть совершенно безопасным, однако требуется представлять себе уровень безопасности устройства и оценивать его эффективность исходя из оценки этого уровня.

Безопасность и эффективность этих устройств базируется как на надёжности собственно устройств, так и на эффективности их биологического взаимодействия с оператором. Если говорить о функциональной безопасности собственно устройства мониторинга, то современный уровень развития радиоэлектроники позволяет удовлетворить достаточно высоким требованиям [12]. Что касается детектирования биологического состояния водителя, то оно требует достаточно тщательного изучения и лабораторных испытаний. Эти эксперименты и теоретические расчёты важны и необходимы, поскольку они позволяют качественно подсчитать степень безопасности прибора. Однако возникает вопрос: можно ли практически оценить безопасность и эффективность системы мониторинга водителя?

Для ответа на этот вопрос необходимо понять, какой объём испытаний необходимо провести, чтобы реально определить их безопасность и эффективность. События, связанные с засыпанием водителя, происходят достаточно редко, ещё более редкое событие – чтобы

при этом отказало и устройство мониторинга водителя. Именно набор таких событий требуется зарегистрировать, чтобы правильно судить о работе системы мониторинга водителя. Оценке объёма испытаний транспортных средств, обеспеченных средствами мониторинга водителя, посвящена данная работа.

## **1. Статистические параметры процесса засыпания**

Для определения качества работы системы мониторинга водителя нужно знать такой основной параметр, характеризующий работу водителя, как вероятность ДТП, связанную с потерей работоспособного состояния. При этом состоянии водитель может даже ещё не спать, но потеря бдительности вследствие наступления сонного состояния может привести к ДТП.

Такой параметр был определён в работе [13] в которой проведена математическая обработка российской дорожно-транспортной статистики [14] - [16] за 2001 год. В работе [13] были исследованы статистические данные, касающиеся грузового транспорта. Они наиболее подробны по сравнению с другими видами дорожного транспорта и поэтому позволили оценить необходимые величины. Была рассчитана вероятность ДТП исключительно для движущихся грузовых транспортных средств (ТС), так как правильно стоящие автомобили не создают угрозы ДТП. Расчёты проводились на основе модели круглосуточно и непрерывно движущихся автомобилей, что не вызывает сложностей для последующего учёта реально существующих физиологических потребностей водителей в необходимом отдыхе в течение определённого количества часов. Использовалась также известная и хорошо зарекомендовавшая себя математическая модель показательного распределения наработки на потерю бодрствования оператора (водителя).

В работе [13] показано, что для грузового движения вероятность ДТП одного автомобиля в течение года вследствие засыпания равна  $P_c = 0.0063$ . То есть показатель интенсивности отказов водителя (ДТП) равен  $\lambda = 7 \cdot 10^{-7}$  1/ч, а средняя наработка водителя на ДТП  $m = 1/\lambda = 1.4 \cdot 10^6$  ч = 158 лет.

Это означает, что за год в среднем один из 158 профессиональных водителей грузовых автомобилей засыпает за рулём и попадает в аварию. Более того, в работе [17] показано, что вероятность  $P_c$  практически не меняется и для оценки качества работы и среднего водителя.

В работе [13] также показано, как меняется безопасность движения при применении системы мониторинга состояния водителя. В этом случае средняя наработка водителя на ДТП равна  $m_m = m \cdot G$ , то есть возрастает в  $G$  раз, где  $G$  – эффективность системы мониторинга, определяемая её технологическими, конструкционными, биофизическими и другими особенностями. Так системы мониторинга, основанные на видео наблюдении за водителем, имеют показатель  $G \approx 10$ . Системы, сочетающие видео наблюдения за водителем с анализом качества управления ТС и другими замерами реагирования водителя около  $G \approx 100$ . Система СПРВ, использующая достижения в области биофизики, физики и медицины достигает показателя около  $G \approx 3000$ .

## **2. Расчёт необходимого объёма испытаний без возможности специальной регистрации ДТП по причине засыпания водителя.**

Для того, чтобы на практике определить эффективность системы мониторинга водителя необходимо провести испытания некоторого количества автомобилей  $N_m$ , оборудованных системой мониторинга в течение определённого времени и сравнить её с контрольной группой в  $N$  автомобилей без системы мониторинга тоже за какое-то время. Сравнение количества ДТП, совершённых в этих группах, вызванных потерей

бодрствующего состояния, и определит реальную пользу и эффективность системы мониторинга водителя.

В связи с этим представляется необходимым рассмотреть возможность испытания, в котором будут участвовать две одинаковые по численности группы ТС – одна оборудованная системой мониторинга, другая без таковой. В этом случае необходимо иметь возможность различить результаты испытания по этим группам. Дело в том, что только приблизительно 15% ДТП совершаются по причине потери водителем состояния бодрствования. Остальные, даже если они произошли по вине водителя, связаны с другими причинами. Необходимо так провести испытания, чтобы суметь отличить одно от другого.

Для этого необходимо определить число ТС, участвующих в испытаниях в течение заданного периода времени, например, в течение одного года. В расчётах используем следующие цифры, полученные как указывалось в работе [13].  $P_{\text{общ}} = 0.042$  – вероятность водителя попасть в ДТП в течение года. Эта цифра включает в себя приведённую выше величину определяющую вероятность засыпания  $P_c = 0.0063$  и другую вероятность ДТП  $P_{\text{нс}} = 0.0358$  не связанную с потерей водителем состояния бодрствования. Будем считать эти события независимыми, поэтому сумма этих вероятностей равна  $P_{\text{общ}} = P_c + P_{\text{нс}}$ .

Пусть в каждой испытываемой группе участвует  $N$  ТС и в каждой существует своя вероятность попасть в ДТП. В группе без мониторинга она равна  $P_{\text{общ}} = P_c + P_{\text{нс}}$ . В группе с мониторингом водителей эта вероятность равна  $P_c / G + P_{\text{нс}}$ , поскольку система мониторинга уменьшает вероятность засыпания  $P_c$  в  $G$  раз.

Указанные испытания проводятся как независимые опыты, описываемые биномиальным распределением вероятностей [18], [19], согласно которому вероятность появления  $r$  событий ДТП при  $N$  опытах выражается формулой

$$P_{r,N} = C_N^r p^r (1-p)^{N-r}, \quad (1)$$

где  $p$  – вероятность одного события ДТП,  $C_N^r$  – число сочетаний из  $N$  по  $r$ .

При большой величине  $N$  удобнее пользоваться распределением Пуассона, как предельным случаем биномиального распределения:

$$P_{r,N} = \frac{(Np)^r}{r!} e^{-Np} \quad (2)$$

По истечении года в группе без систем мониторинга произойдёт в среднем  $\bar{r}_{\text{бм}} = P_{\text{общ}} \cdot N$  событий ДТП. А в группе с системами мониторинга среднее число ДТП выразится формулой  $\bar{r}_m = (P_{\text{нс}} + P_c / G) \cdot N$ . Так как  $r_{\text{бм}}$  и  $r_m$  являются случайными величинами, то у них от одной реализации к другой есть разброс. Этот разброс характеризуется видом испытаний и вероятностями появления событий.

В данном случае, для распределения Пуассона средние величины  $\bar{r}_{\text{бм}}$  и  $\bar{r}_m$  приведены выше, а разброс, то есть границы доверительного интервала числа ДТП в группах без мониторинга и с мониторингом водителей, определяется следующими формулами:

$$r_{\text{бм min}} < r_{\text{бм}} < r_{\text{бм max}}, \quad (3)$$

$$r_{m \text{ min}} < r_m < r_{m \text{ max}}, \quad (4)$$

где

$$r_{i \text{ min}} = 0.5c^2(1 - a / 2, 2\bar{r}_i), \quad r_{i \text{ max}} = 0.5c^2(a / 2, 2\bar{r}_i), \quad (i = m, \text{ бм}). \quad (5)$$

## 2.1. Анализ результатов

Для того, чтобы суметь отличить результаты испытаний одной группы от другой необходимо, чтобы указанные интервалы (3) и (4) не перекрывались. Точнее необходимо, чтобы выполнялось неравенство

$$r_{m \text{ max}} < r_{\text{бм min}}. \quad (6)$$



Тогда можно сказать, что мы наблюдаем в первой группе один результат, а во второй группе – другой.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты расчётов этих интервалов для разного количества ТС в течение одного года.  $G = 100$ .

Как видно из таблиц 1 и 2 при малых количествах  $N$ , приведенных в первых строках, неравенство (6) не выполняется. То есть при малом количестве ТС  $N$  интервалы событий ДТП перекрываются, что не даёт возможность уверенно различить результаты испытаний этих групп. Иными словами, возможен результат, когда общее число ДТП в группе с мониторингом водителей окажется больше общего числа ДТП в контрольной группе:  $r_M > r_{\bar{M}}$ , что противоречит ожидаемому результату.

Таблица 1

Доверительные интервалы числа ДТП  $r_M$  и  $r_{\bar{M}}$  и их средние значения  $\bar{r}_M$  и  $\bar{r}_{\bar{M}}$  при разных количествах ТС  $N$ . Доверительная вероятность  $\gamma = 95\%$ .

$N$	$r_{M \min}$	$\bar{r}_M$	$r_{M \max}$	$r_{\bar{M} \min}$	$\bar{r}_{\bar{M}}$	$r_{\bar{M} \max}$
10 000	322	359	397	381	421	463
15 914	524	571	<u>620</u>	<u>620</u>	671	723
20 000	665	718	772	786	843	902

Таблица 2

Доверительные интервалы числа ДТП  $r_M$  и  $r_{\bar{M}}$  и их средние значения  $\bar{r}_M$  и  $\bar{r}_{\bar{M}}$  при разных количествах ТС  $N$ . Доверительная вероятность  $\gamma = 99.7\%$ .

$N$	$r_{M \min}$	$\bar{r}_M$	$r_{M \max}$	$r_{\bar{M} \min}$	$\bar{r}_{\bar{M}}$	$r_{\bar{M} \max}$
30 000	981	1 076	1 177	1 160	1 264	1 373
35 806	1 180	1 285	<u>1 395</u>	<u>1 395</u>	1 509	1 628
40 000	1 324	1 435	1 551	1 565	1 686	1 811

Средние строки таблиц 1 и 2 иллюстрируют критическую ситуацию, когда выполняется равенство  $r_{M \max} = r_{\bar{M} \min}$  (подчёркнутые цифры). Далее

начиная с этих величин  $N_{кр95} = 15\,914$  (для  $\gamma = 95\%$ ) и  $N_{кр99.7} = 35\,806$  (для  $\gamma = 99.7\%$ ) и больше (см. третьи строки таблиц) можно с уверенностью  $\gamma$  говорить об успешном проведении испытаний.

В таблице 2 приведены результаты, полученные с большей доверительной вероятностью  $\gamma$ , чем в таблице 1. Поэтому с увеличением требуемой надёжности результатов возрастает и необходимое количество  $N$  тестируемых ТС.

Однако, рассмотренный способ испытаний систем мониторинга водителей применим лишь качественно, практически только что бы отметить работоспособность данной системы. Дело в том, что, как показывают расчёты по формулам (3) – (6), удовлетворительно зарегистрировать параметр  $G$  с помощью неравенства (6) возможно только для сравнительно небольших значений этого параметра  $G \leq 100$  и в довольно узком диапазоне изначально выбираемого количества транспортных средств  $15\,584 < N < 19\,402$  (для  $\gamma = 95\%$ ). Для большего количества  $N$  неравенство (6) заведомо выполняется и данный метод испытаний фактически не работает.

Следует также отметить, что проведённые расчёты базируются на моделировании поведения реальных людей с помощью математических показателей, которые были получены статистическими методами и имеют поэтому среднестатистический характер. У реальных водителей, как показано в работе [17] вероятность совершения ДТП может варьироваться в довольно большом диапазоне. Это необходимо иметь в виду при подборе водителей в обе тестируемые группы. Они должны быть достаточно однотипными.

### 3. Расчёт необходимого объёма испытаний в случае, если есть возможность идентифицировать ДТП вследствие засыпания водителя

Выше был рассмотрен вид испытаний, при котором сравнивалось количество ДТП в двух группах ТС. Причём учитывались все ДТП – как из-за засыпания водителя, так и по другим причинам. Было показано, что этот способ испытаний целесообразно применять при предполагаемой эффективности  $G < 100$ .

Рассмотрим теперь такой вид испытаний, при котором ДТП будет рассматриваться как отказ комплексного устройства водитель – система мониторинга вызванный засыпанием водителя и необходимо определить надёжность такого устройства. Для этого испытания необходимо выделить только те ДТП, которые происходят вследствие засыпания водителя ТС. В этом состоит одна из основных трудностей такого вида испытаний.

Оценим количество ТС и времени, требуемых для проведения испытаний. Приведённая выше средняя наработка на ДТП водителя  $m$  показывает только среднее время пробега ТС до первого ДТП. Этот параметр не даёт представления о разбросе отказов во времени, а также не показывает какое время необходимо для ожидания нескольких ДТП. Однако зная это параметр и вид распределения можно это вычислить.

Введём понятие суммарной наработки  $T$  равный сумме наработок отдельных испытываемых ТС [20], [21]. Если испытания производятся по плану, при котором ТС в процессе испытаний не заменяются и проводятся до последнего  $r$  – го ДТП, то

$$T = \sum_{i=1}^r t_i + (N - r)t_r, \quad (7)$$

где  $t_i$  – наработки отказавших ТС,  $t_r$  – наработка последнего попавшего в ДТП ТС,  $N$  – число испытывающихся ТС. Если побывавшее в ДТП ТС восстанавливается или заменяется новым, то

$$T = Nt_r, \quad (8)$$

Поскольку события ДТП происходят редко и  $r \ll N$ , то суммарные наработки, независимо от плана испытаний, рассчитанные по формулам (7) и (8) будут мало отличаться. Поэтому для последующего анализа будем пользоваться более простой формулой (8). То есть суммарная наработка  $T$  линейно зависит только от числа транспортных средств  $N$  и времени испытания  $t_r$ . Причём результат испытаний зависит только от их произведения  $T$ .

Случайная величина  $2T/m$  имеет  $\chi^2$  распределение с  $2r$  степенями свободы. Это означает, что все значения величины  $2T/m$  с вероятностью  $\gamma$  попадают в интервал

$$c^2(1 - \alpha / 2, 2r) < \frac{2T}{m} < c^2(\alpha / 2, 2r), \quad (9)$$

где  $\alpha = 1 - \gamma$  – уровень значимости. Значение  $\alpha/2$  показывает вероятность выхода за правую и левую границы интервала (9).

Таким образом, доверительный интервал суммарной наработки  $T$  с достоверностью  $\gamma$  выражается следующей формулой

$$T_{\min} < T < T_{\max}, \quad (10)$$

где

$$T_{\min} = \frac{m}{2} c^2(1 - \alpha / 2, 2r), \quad T_{\max} = \frac{m}{2} c^2(\alpha / 2, 2r) \quad (11)$$

Таблица 3

Границы доверительного интервала суммарной наработки  $T$  в зависимости от  $r$  для ТС без системы мониторинга водителя

Число ожидаемых ДТП $r$	$T_{\min}$ лет	$T_{\max}$ лет	$T_{\max} / T_{\min}$
1	3.6	598.5	164.4
2	36.4	899	24.7
5	250	1 643	6.56
10	747	2 732	3.66
20	1 912	4 731	2.47

50	5 835	10 302	1.76
100	12 817	19 140	1.49

Далее сравним объёмы испытаний необходимые для проверки ТС, оснащённых системой мониторинга водителя и без таковой. Для этого в качестве средней наработки водителя принимаем указанную выше величину  $m=1/\lambda = 1.4 \cdot 10^6$  ч =158 лет, а средняя наработка водителя с системой мониторинга равна  $m_m = m \cdot G$ . Положим величину  $G = 1000$ , то есть используем достаточно хорошую систему мониторинга. Именно для такой системы и имеет смысл проводить испытания. В качестве доверительной вероятности  $\gamma$  выберем значение 95%. Границы доверительного интервала, рассчитанные по формулам (11), в зависимости от ожидаемого числа ДТП  $r$  для ТС с системой мониторинга и без таковой представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 4

Границы доверительного интервала суммарной наработки  $T$  в зависимости от  $r$  для ТС с системой мониторинга водителя

Число ожидаемых ДТП $r$	$T_{\min}$ лет	$T_{\max}$ лет	$T_{\max} / T_{\min}$
1	3 641	598 520	164.4
2	36 410	899 035	24.7
5	250 419	1 643 022	6.56

### 3.1. Анализ результатов

Как видно из таблиц с увеличением числа ожидаемых событий ДТП  $r$  границы доверительного интервала возрастают. Действительно, на ожидание очередного события требуется время. Также с увеличением числа  $r$  уменьшается относительный размах доверительного интервала, то

есть  $T_{\max} / T_{\min}$ , что свидетельствует о возрастании статистической достоверности испытаний с ростом  $r$ . Однако надо иметь ввиду, что с ростом  $r$  растёт и общий объём испытаний.

Следует отметить, что согласно таблицам 3 и 4 заданное число ДТП может произойти и при минимальной суммарной наработке  $T_{\min}$ , но поскольку требуется достижение с данной вероятностью  $\gamma$  определённого числа событий, то с этой целью приходится выбирать максимальную наработку  $T_{\max}$ , хотя при такой наработке может произойти и большее число ДТП. Так, если положить, что испытания должны продолжаться в течение времени  $t_r = 1$  год, то для того, чтобы с достоверностью  $\gamma = 95\%$  произошло 1 ДТП, согласно формуле (8) требуется задействовать  $N = T_{\max} / t_r = 598$  ТС без систем мониторинга и 598 520 ТС с системой мониторинга, хотя вместо 1 ДТП может произойти до 4 событий.

Для совершения, 5 ДТП потребуется уже 1 643 022 ТС без систем мониторинга, для ТС с мониторингом водителя цифры можно не приводить из-за их практической нереальности. Однако это не мешает оценить эффективность системы мониторинга. Так, если в течение максимального срока  $T_{\max}$ , отведённого для испытаний ТС без системы мониторинга и совершения при этом  $r$  числа ДТП, в том же количестве ТС с системой мониторинга не будет зарегистрировано ни одного ДТП, то уже одно это будет свидетельствовать об эффективности систем мониторинга. Однако полного испытания систем мониторинга достичь практически очень трудно из-за необходимости задействования очень большого количества ТС и времени испытаний. С другой стороны, это и является преимуществом данных систем – значит они выполняют свою функцию. Тем не менее, если в результате этих испытаний будет зарегистрировано какое-то количество ДТП в ТС с системами мониторинга, то на основании этих данных можно будет рассчитать эффективность этих систем, полученную по результатам практических испытаний.

Отметим, что везде идёт речь о ДТП по причине потери бодрствования (засыпания) водителя. На индикацию этих причин и направлена работа систем мониторинга водителя.

Для проведения второго рассмотренного вида испытаний необходимо непосредственно регистрировать факт ДТП по причине потери водителем состояния бодрствования. Однако проведение таких испытаний связано с большими трудностями и расходами и результаты таких испытаний будет трудно анализировать, так как надёжно зарегистрировать факт ДТП из-за потери водителем рабочего состояния достаточно трудно. Системы мониторинга использовать как индикатор причины ДТП нереально, так как они срабатывают задолго до того, как водитель попадёт в ДТП.

### **Заключение**

В работе приведены результаты расчёта необходимого объёма испытаний транспортных средств, оборудованных системами мониторинга состояния водителя. Рассмотрены два вида испытаний.

Первый предполагает такое испытание, в котором в течение года будут участвовать две одинаковые по численности группы ТС – одна оборудована системой мониторинга, благодаря чему риск засыпания водителя снижается в  $G$  раз, другая - без таковой. Вероятность же совершения ДТП не из-за сна водителя в обеих группах будет одинакова. Чтобы суметь с определённой достоверностью  $\gamma$  отличить результаты одной группы от другой нужно привлечь наперёд заданное количество  $N_{кр}$  транспортных средств. Например, при коэффициенте снижения риска засыпания  $G = 100$  критическое количество тестируемых автомобилей в группе составит  $N_{кр95} = 15\ 914$  для  $\gamma = 95\%$  и  $N_{кр99.7} = 35\ 806$  для  $\gamma = 99.7\%$ . При этом, чем больше величина  $G$ , тем больше ошибка в её определении. Этот вид испытаний применим для систем с  $G < 100$ .

Второй тип испытаний предлагается при большом значении  $G$ . В таком случае зарегистрировать эффект возможно, если в каждом

автомобиле, оборудованном системой мониторинга, будет применён объективный прибор контроля состояния водителя, при помощи которого можно определить, что ДТП произошло из-за засыпания. Для подтверждения эффективности  $G = 1000$  с достоверностью 95% необходимо привлечь к испытанию 598 520 ТС в течение года. Реально это означает, что, если заявлен высокий коэффициент снижения риска засыпания, то подтвердить или опровергнуть это можно только в лабораторных условиях.

Пилотные эксплуатационные испытания при привлечении разумного количества транспортных средств могут дать для  $G > 100$  только качественный результат: способна ли система хоть в какой-то степени предотвратить засыпание или нет.

### **Финансирование работы**

Работа выполнена в рамках государственного задания Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

### **Список источников**

1. Транспорт в России. 2018: Стат.сб. / М.: Росстат, 2018. – Т. 65. – 101 с.
2. Horne J.A., Reyner L.A. Sleep related vehicle accidents. // BMJ. – 1995. – V. 310. – issue 6979. – pp. 565-567.
3. Gislason T., Tomasson K., Reynisdottir H. et al. Medical risk factors amongst drivers in single-car accidents. // J. Intern. Med. – 1997. – V. 241. – issue 3. – pp. 213-219.
4. Directive [2010/40/EU](#) of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of intelligent transport systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport. OJ L 207, 6.8.2010, pp. 1–13.
5. Arakawa, T. Trends and future prospects of the drowsiness detection and estimation technology. // Sensors. – 2021, – issue 21, – pp. 7921.



6. You, F.; Gong, Y.; Tu, H.; Liang, J.; Wang, H. A fatigue driving detection algorithm based on facial motion information entropy. // J. Adv. Transp. – 2020, 2020, – pp. 1–17.

7. Moujahid, A.; Dornaika, F.; Arganda-Carreras, I.; Reta, J. Efficient and compact face descriptor for driver drowsiness detection. // Expert Syst. Appl. – 2021, – issue 168, – pp. 114334.

8. Wijnands, J.S.; Thompson, J.; Nice, K.A.; Aschwanden, G.D.; Stevenson, M. Real-time monitoring of driver drowsiness on mobile platforms using 3D neural networks. // Neural Comput. Appl. – 2020, – issue 32, – pp. 9731–9743.

9. Gwak, J.; Hirao, A.; Shino, M. An investigation of early detection of driver drowsiness using ensemble machine learning based on hybrid sensing. // Appl. Sci. – 2020, – issue 10, – pp. 2890. <http://doi.org/10.3390/app10082890>

10. Doudou, M.; Bouabdallah, A.; Berge-Cherfaoui, V. Driver drowsiness measurement technologies: Current research, market solutions, and challenges. // Int. J. Intell. Transp. Syst. Res. – 2020, – issue 18, – pp. 297–319.

11. Yaman Albadawi, Maen Takruri, and Mohammed Awad, A Review of Recent Developments in Driver Drowsiness Detection Systems // Sensors. – 2022, – issue 22, – pp. 2069.

12. Герус С.В., Дементиенко В.В. Уровень полноты безопасности систем контроля состояния водителя. // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2019. № 9. С. 72-75

13. Дементиенко В.В., Дорохов В.Б., Герус С.В. и др. Эффективность систем мониторинга водителя. // ЖТФ. – 2007. – Т. 77. – № 6. – С. 103–108.

14. Дорожно-транспортные происшествия в России (2000 г.). Обобщённые сведения / Москва: НИЦ ГИБДД МВД России, 2001. – 13 с.

15. Транспортный комплекс России 2000. Информационно-аналитический сборник. / Москва, Трансконсалтинг, 2001. – 207 с.

16. Транспорт и связь в России: Стат.сб. / М. Госкомстат России, 2001. – Т. 65. – 222 с.

17. Дементенко В.В., Герус С.В. Статистический анализ предрасположенности водителей к авариям. // Нелинейный мир. – 2010. – Т. 8. – № 4. – С. 255–263.

18. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. / М.: Высш. шк., 2004. – 479 с.

19. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высш. шк., 2006. – 575 с.

20. Надежность технических систем. Справочник / Ю.К.Беляев, В.А.Богатырев, В.В.Болотин и др. Под ред. И.А.Ушакова - М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

21. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. М.: Энергия, 1977. – 536 с.

### References

1. *Transport v Rossii. 2018: Stat.sb.* (Transport in Russia. 2018: Statistical Collection.), Moscow, Rosstat, 2018, V. 65, 101 p.

2. Horne J.A., Reyner L.A., *BMJ*, 1995, V. 310, issue 6979, pp. 565-567.

3. Gislason T., Tomasson K., Reynisdottir H., Bjornsson J.K., Kristbjarnarson H., *J. Intern. Med.*, 1997, V. 241, issue 3. pp. 213-219.

4. Directive [2010/40/EU](#) of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of intelligent transport systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport. OJ L 207, 6.8.2010, pp. 1–13.

5. Arakawa, T. *Sensors*, 2021, issue 21, pp. 7921.

6. You, F.; Gong, Y.; Tu, H.; Liang, J.; Wang, H. *J. Adv. Transp.*, 2020, issue 2020, pp. 1–17.

7. Moujahid, A.; Dornaika, F.; Arganda-Carreras, I.; Reta, J. *Expert Syst. Appl.*, 2021, issue 168, pp. 114334.

8. Wijnands, J.S.; Thompson, J.; Nice, K.A.; Aschwanden, G.D.; Stevenson, M. *Neural Comput. Appl.*, 2020, issue 32, pp. 9731–9743.
9. Gwak, J.; Hirao, A.; Shino, M. *Appl. Sci.*, 2020, issue 10, pp. 2890.
10. Doudou, M.; Bouabdallah, A.; Berge-Cherfaoui, V. *Int. J. Intell. Transp. Syst. Res.*, 2020, issue 18, pp. 297–319.
11. Yaman Albadawi, Maen Takruri, and Mohammed Awad, *Sensors*, 2022, issue 22, pp. 2069.
12. Gerus S.V., Dementiyenko V.V. *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik*. 2019, issue 9, pp. 72-75.
13. Dementiyenko V.V., Dorokhov V.B., Gerus S.V., Markov A.G., Shakhnarovich V.M. *ZHTF*, 2007, V. 77, issue 6, pp. 103–108.
14. *Dorozhno-transportnyye proisshestviya v Rossii (2000). Obobshchonnyye svedeniya* (Road accidents in Russia (2000). Summarized data), Moscow, NITS GIBDD MVD Rossii, 2001, 13 p.
- 15 *Transportnyy kompleks Rossii 2000. Informatsionno-analiticheskiy sbornik* (Transportation Complex of Russia 2000. Information and analytical collection), Moscow, Transkonsalting, 2001, 207 p.
- 16 *Transport i svyaz' v Rossii: Stat.sb.* (Transport and Communications in Russia: Statistical Collection), Moscow, Goskomstat Rossii, 2001, V. 65, 222 p.
17. Dementiyenko V.V., Gerus S.V. *Nelineynyy mir*, 2010, V 8, issue 4, pp. 255–263.
18. Gmurman V.Ye. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* (Probability theory and mathematical statistics), Moscow, Vyssh. shk., 2004, 479 p.
19. Venttsel' Ye.S. *Teoriya veroyatnostey* (Probability theory), Moscow, Vyssh. shk., 2006, 575 p.
20. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem. Spravochnik* (Reliability of technical systems. Reference book), YU.K.Belyayev, V.A.Bogatyrev, V.V.Bolotin i dr. Pod red. I.A.Ushakova, Moscow, Radio i svyaz', 1985. 608 p.

21. Druzhinin G.V. *Nadezhnost' avtomatizirovannykh system* (Reliability of automated systems), Moscow, Energiya, 1977. 536 p.

### **Информация об авторах**

**Александр Степанович Бугаёв** – доктор физ-мат. наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Россия, 141190, Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1

**Сергей Валерианович Герус** – доктор физ-мат. наук, ведущий научный сотрудник, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Россия, 141190, Фрязино Московской обл., пл. Введенского, 1

**Валерий Васильевич Дементенко** – доктор техн. наук, профессор, старший научный сотрудник, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Россия, 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7

### **Information about the authors**

**Aleksandr S. Bugaev** – Dr.Sc. (Phys-Math), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS (Fryazino Branch), 1, Vvedensky square, Fryazino, Moscow region, 141190, Russia

**Sergei V. Gerus** – Dr.Sc. (Phys-Math), leading researcher, Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS (Fryazino Branch), 1, Vvedensky square, Fryazino, Moscow region, 141190, Russia

**Valeri V. Dementienko** – Dr.Sc. (Engin.), professor, senior researcher, Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, building 7, 11, Mokhovaya st, Moscow, 125009, Russia