

Эффективность систем мониторинга водителя

© В.В. Дементенко,¹ В.Б. Дорохов,² С.В. Герус,³ А.Г. Марков,³ В.М. Шахнарович¹

¹ ЗАО «НЕЙРОКОМ»,
111250 Москва, Россия

² Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН,
117485 Москва, Россия

³ Институт радиотехники и электроники РАН,
101999 Москва, Россия

e-mail: s.gerus@neurocom.ru

(Поступило в Редакцию 13 октября 2006 г.)

На основе статистических данных и лабораторных исследований построена математическая модель безопасности системы „водитель—устройство мониторинга засыпания водителя—автомобиль—дорожное движение“. Модель описывает вероятность аварийных ситуаций, возникающих в результате засыпания водителя, как в отсутствие, так и при наличии систем мониторинга. Учитываются степень эффективности и безопасности систем мониторинга, а также влияние психологических факторов, обусловленных чрезмерным доверием водителей системе мониторинга.

PACS: 87.80.-y, 89.40.-a

Введение

Несмотря на революционное развитие электронных систем управления теперь, как и прежде, человеческий фактор в значительной степени определяет безопасность функционирования технических средств, представляющих потенциальную опасность. Это относится к водителям, рулевым, диспетчерам, операторам атомных электростанций и т.д. Ошибка в работе каждого из них чревата как минимум экономическими потерями, а зачастую — и человеческими жертвами. 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.

В настоящее время существует большое количество предложений, законченных научных разработок и даже промышленных изделий, в той или иной степени решающих проблему контроля состояния оператора. Эти системы основаны на анализе одного или нескольких физиологических и (или) поведенческих параметров. Каждый из авторов таких систем при их описании уделяет основное внимание методике контроля, иногда эффективности и почти никогда достоверности (вероятности опасной ошибки). Хотя системы, которые обеспечивают нормальное функционирование человека, по существу ничем не отличаются от систем контроля функционирования устройств, обеспечивающих безопасность технических средств. Опасная ошибка при контроле тормозов (неопределение их поломки) может привести даже к менее тяжким последствиям, чем ошибка системы, не допускающей сна водителя.

Подход к анализу и разработке систем мониторинга состояния операторов должен быть не менее строгим,

чем для систем контроля технических устройств, и должен быть системным, т.е. должен включать в себя рассмотрение не только системы контроля, но и того человека, которого контролируют, и того окружения, где может развиваться опасная ситуация. Однако анализ систем, включающих человека в качестве одного из элементов, осложняется необходимостью принятия во внимание психологических факторов, которые часто почти невозможно формализовать.

При разработке систем контроля определение вероятностей опасных, приводящих к аварии отказов возможно либо с помощью математических моделей, либо с помощью испытаний. Такие эксперименты для технических систем в большинстве случаев могут быть проведены в любом наперед заданном количестве. При натуральных испытаниях техники почти всегда можно создать условия, при которых для достоверных выводов отказы будут происходить в необходимом количестве. Испытания же систем мониторинга человека возможны в очень небольших количествах. Нельзя испытывать возможности людей непрерывно в течение недель или месяцев. А „отказы“ человека даже в лабораторных условиях — события редкие. Например, не может человек засыпать и просыпаться ежеминутно. И, чтобы верифицировать метод контроля бодрствования водителя с достоверностью 10^{-5} потребуется более 20 лет. Отсюда следует, что достоверный анализ безопасности при низкой вероятности опасного отказа оператора можно получить за разумное время только при компьютерном эксперименте с использованием модели опасного состояния, которое мы хотим предотвратить.

Рассмотрим безопасность дорожного движения, обусловленного возможностью засыпания водителя. Уменьшится ли число аварий при применении средств, следящих за состоянием водителя, и насколько? Для ответа

на этот вопрос был проведен целый комплекс исследований — лабораторных, статистических, математических.

Таким образом, при определении уровня безопасности системы мониторинга (СМ) необходимо учитывать и вероятность опасного отказа СМ, и вероятность эксплуатационной ситуации (движение автомобиля), и учитывать человека как составляющую компоненту системы, обеспечивающей безопасность движения.

1. Математические модели систем мониторинга водителя

Для математического описания работы системы „человек–система мониторинга–автомобиль–система дорожного движения (СДД)“ принята модель, описывающая взаимодействие трех подсистем: СДД, водителя, непосредственно участвующего в процессе движения, и устройства безопасности СМ. Каждая из подсистем описывается своей математической моделью.

Модель СДД определяет в упрощенном виде ситуацию, наиболее часто встречающуюся реальному водителю на движущемся транспорте, а именно описывает вероятность аварии при потере водителем состояния бодрствования.

Модель водителя представляет его как устройство, управляющее автомобилем. Водитель (как устройство), с одной стороны, управляет автомобилем, с другой — находится под контролем СМ. Водитель может временно отключаться от рабочего состояния (сон, снижение уровня бодрствования ниже критического) с интенсивностью λ_s , после чего с интенсивностью μ восстанавливать свое рабочее состояние. В дальнейшем указанное нерабочее состояние называется сном. Если водитель не находится под контролем устройства бдительности, то μ равна интенсивности самопробуждения водителя μ_s .

Модель СМ описывает ее взаимодействие с водителем, которое заключается в том, что СМ непрерывно проверяет уровень бодрствования водителя, и при достижении определенного уровня на водителя осуществляется воздействие, приводящее к восстановлению его рабочего состояния. С момента воздействия параметр μ принимает значение принудительной интенсивности восстановления μ_r .

Предполагается, что процесс перехода между состояниями является марковским (с постоянными интенсивностями), и модели можно описать линейными дифференциальными уравнениями Колмогорова [1].

Рассмотрим эти модели.

1.1. Модель аварийной ситуации без контроля водителя устройством СМ

В целом систему, состоящую из движущегося автомобиля, управляемого водителем, и дороги с присущими ей препятствиями, можно упрощенно расклассифицировать

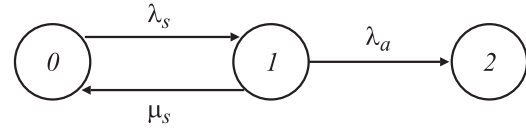


Рис. 1. Граф состояний движущегося автомобиля с водителем.

на несколько основных состояний (рис. 1). Состояние 0 соответствует движению, когда водитель не спит, и автомобиль едет в штатном режиме. Состояние 1 — водитель заснул. Интенсивность перехода системы из состояния 0 в состояние 1 (засыпания) равна λ_s , интенсивность самопроизвольного возврата в рабочее состояние 0 — μ_s . Состоянию 2 соответствует авария транспортного средства, оставшегося без управления. Интенсивность перехода $1 \rightarrow 2$ — это интенсивность аварий λ_a . Обозначим через $P_i(t)$ вероятность того, что в момент времени t система находится в i -м состоянии ($i = 0, 1, 2$). Состояния системы можно описать совокупностью дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{P}_0 = -P_0\lambda_s + P_1\mu_s, \\ \dot{P}_1 = P_0\lambda_s - (\lambda_a + \mu_s)P_1, \\ \dot{P}_2 = P_1\lambda_a, \\ P_0 + P_1 + P_2 = 1 \end{cases} \quad (1)$$

с начальными условиями $P_0(0) = 1$; $P_{i \neq 0}(0) = 0$.

Решение системы уравнений (1) для вероятности аварии $P_2(t)$ имеет следующий вид:

$$P_2 = 1 - \lambda_s\lambda_a \left[\frac{e^{-z_1 t}}{z_1(z_2 - z_1)} + \frac{e^{-z_2 t}}{z_2(z_1 - z_2)} \right]. \quad (2)$$

Здесь

$$z_{1,2} = \frac{\mu_s + \lambda_s + \lambda_a}{2} \mp \frac{1}{2} \sqrt{(\mu_s + \lambda_s + \lambda_a)^2 - 4\lambda_s\lambda_a}. \quad (3)$$

Формула (2) упрощается, если рассматривать решение в интервале $t \gg (\mu_s + \lambda_s)^{-1} \approx 4$ с, $t \ll \lambda_s^{-1} \approx 10$ лет и при условии $\lambda_s \ll \mu_s + \lambda_a$. В этом случае вероятность аварии в результате сна равна

$$P_{as} = P_2 = \lambda_s\lambda_a t / (\mu_s + \lambda_a). \quad (4)$$

Обратим внимание на тот факт, что в выражении (4) дробь $\lambda_a / (\mu_s + \lambda_a) < 1$ является поправочным коэффициентом к интенсивности засыпания λ_s , учитывающим возможность водителя проснуться с интенсивностью μ_s и тем самым избежать аварии. Выражение $\lambda_{\text{efs}} = \lambda_s\lambda_a / (\mu_s + \lambda_a)$ можно считать эффективной интенсивностью засыпания, приводящей к аварии.

Формула (4) количественно описывает процесс реализации сонливости как результат взаимодействия двух разнонаправленных тенденций, известных в литературе как „sleep drive“ и „wake drive“ [2]. В формуле (4)

процессу, который обеспечивает „sleep drive“, соответствует интенсивность засыпания λ_s , а противоположному процессу „wake drive“ соответствует интенсивность пробуждения μ_s .

1.2. Модель аварийной ситуации при контроле водителя устройством СМ

Рассмотрим сначала случай, когда СМ исправно, но контролирует водителя не полностью.

Граф состояний изображен на рис. 2. Состояние 0 — рабочее, 1 — пороговое состояние, определяемое СМ, когда водитель еще работоспособен, но возникает возможность засыпания. Интенсивность попадания в состояние 1 равна $\lambda_s(1 - \gamma_s)$, т.е. λ_s — интенсивность попадания в пороговое состояние, а $(1 - \gamma_s)$ — вероятность того, что СМ это обнаружит. Интенсивность восстановления μ_r из состояния 1 определяется конструктивными особенностями воздействия СМ на водителя и автомобиль ($\mu_r \gg \lambda_s$). Состояние 2 означает неконтролируемый сон. Вероятность необнаружения сна равна γ_s . Переход из состояния 2 в состояние 0 определяется интенсивностью самопробуждения μ_s , а переход к состоянию аварии 3 происходит, как и в предыдущем случае, с интенсивностью λ_a . Вероятности перечисленных состояний описываются системой уравнений (5).

$$\begin{cases} \dot{P}_0 = -P_0\lambda_s + P_1\mu_r + P_2\mu_s, \\ \dot{P}_1 = P_0(1 - \gamma_s)\lambda_s - P_1\mu_r, \\ \dot{P}_2 = P_0\gamma_s\lambda_s - P_2(\lambda_a + \mu_s), \\ \dot{P}_3 = P_2\lambda_a, \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1, \end{cases} \quad (5)$$

$$P_0(0) = 1; \quad P_{i \neq 0}(0) = 0.$$

С учетом допущений, сделанных при рассмотрении уравнений (1), решение системы (5) приводит к следующему значению вероятности аварии:

$$P_3 = \gamma_s \lambda_{efs} t. \quad (6)$$

Интенсивность аварии пропорциональна эффективной интенсивности засыпания λ_{efs} , умноженной на вероятность γ_s нераспознавания состояния сна устройством СМ. Таким образом, в исправном состоянии устройство СМ уменьшает вероятность аварии в γ_s^{-1} раз.

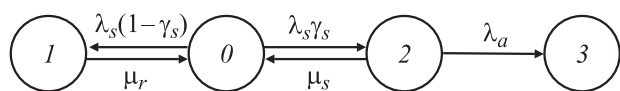


Рис. 2. Граф состояний автомобиля с водителем, контролируемым СМ.

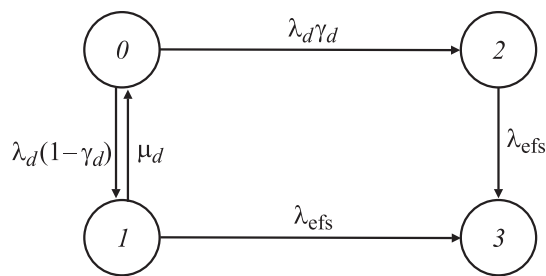


Рис. 3. Граф состояний с учетом возможных отказов СМ.

1.3. Модель аварийной ситуации при отказе устройства СМ

Проанализируем теперь безопасность работы самого устройства, обеспечивающего безопасность дорожного движения. Какова вероятность аварии при поломке системы? Пусть интенсивность отказов СМ равна λ_d . СМ в процессе работы сама себя тестирует. Существует вероятность γ_d того, что в процессе тестирования отказ не будет обнаружен. Условно будем считать, что γ_d часть устройства не затронута контролем, а в оставшейся $(1 - \gamma_d)$ части — абсолютный контроль. Интенсивность обнаружения отказа в контролируемой части равна μ_d .

Граф состояний изображен на рис. 3. В качестве состояния 0 обозначим безопасный режим работы. Это означает, что водитель не спит, а СМ либо исправно, либо находится в состоянии защитного отказа, т.е. тестирование установило, что устройство СМ неисправно, оно было переведено в нерабочее состояние и водитель поставлен об этом в известность. В состоянии 1 произошел отказ в контролируемой части прибора, но он еще не обнаружен. Из этого состояния возможен переход либо в состояние 0 с интенсивностью μ_d , либо в состояние сна и аварии 3 с определенной выше интенсивностью λ_{efs} . Состояние 2 означает отказ в неконтролируемой части СМ. Из него совершается переход в состояние сна и аварии 3. Интенсивности переходов приведены на рис. 3.

Вероятность состояния 3 получается в результате решения соответствующих уравнений, аналогичных уравнениям (1) и (5):

$$P_3 = (\lambda_{efs} \lambda_d / \mu_d)(1 - \gamma_d)t + \lambda_{efs} \lambda_d \gamma_d t^2 / 2. \quad (7)$$

Это вероятность аварии из-за скрытого отказа СМ и последующего засыпания водителя. Как правило, вероятность аварии, обусловленной отказом (7), много меньше вероятности аварии вследствие некорректного мониторинга водителя (6), поскольку первая обусловлена обычно высоким технологическим уровнем изготовления самого прибора СМ, а последняя предопределяется решением такой сложной и неоднозначной задачи, как идентификация физиологического состояния человека.

Общая вероятность аварии, обусловленной засыпанием водителя при применении СМ, равна сумме величин, определяемых формулами (6) и (7):

$$P_{\text{asd}} = \gamma_s \lambda_{\text{efs}} t + (\lambda_{\text{efs}} \lambda_d / \mu_d)(1 - \gamma_d)t + \lambda_{\text{efs}} \lambda_d \gamma_d t^2 / 2. \quad (8)$$

1.4. Преимущества СМ

В чем же состоит выигрыш от применения СМ? Сравним вероятности аварийной ситуации обычного водителя (4) и композиции водитель—СМ (8). Вероятность аварии при использовании СМ уменьшается в

$$\frac{P_{\text{as}}}{P_{\text{asd}}} = \left\{ \gamma_s + 0.5 \lambda_d [(1 - \gamma_d)T + \gamma_d t] \right\}^{-1} \quad (9)$$

раз. Здесь t — срок службы устройства СМ, $T = 2/\mu_d$ — период самотестирования. Эффективность СМ тем выше, чем меньше каждое из трех слагаемых в формуле (9), т. е. должны быть малы следующие параметры: процент γ_s необнаруженных пороговых состояний водителя, процент γ_d необнаруженных отказов в СМ, интенсивность λ_d отказов и период T самотестирования СМ. Причем формула (9) дает возможность правильно выбрать соответствующие параметры, с учетом того, что не нужно делать одно из слагаемых во много раз меньше других. Это не повысит заметно эффективность СМ. Необходимо уменьшать их совместно, особенно наибольшее из них. Это означает, что СМ должна быть изготовлена по технологии, обеспечивающей малую интенсивность опасных отказов $\gamma_d \lambda_d$ и предусматривающей самотестирование, для уменьшения риска аварии по вине самой системы. Кроме того, чем выше качество распознавания дремотного состояния (чем меньше γ_s), тем эффективнее будет работа СМ и, следовательно, тем меньше будет аварий вследствие нераспознанного СМ засыпания водителей.

2. Статистические параметры процесса засыпания

Как следует из вышеизложенного, конструирование устройств, обеспечивающих надежный контроль бодрого состояния оператора (в частности, водителя), опирается на моделирование процессов засыпания человека, что, в свою очередь, приводит к проблеме поиска параметров этих моделей.

Остановимся на простейшей модели засыпания, изображенной на рис. 1. Какова интенсивность λ_{efs} , обеспечивающая тот уровень дорожной безопасности, который существует на сегодняшний день? Ответ на этот вопрос могут дать либо специально проведенные исследования, либо дорожно-транспортная статистика. Рассмотрим статистические данные, касающиеся грузового транспорта. Они наиболее подробны и поэтому позволяют оценить необходимые величины. Чтобы статистически определить вероятность

$$P_{\text{as}} = \frac{N_a}{N} \quad (10)$$

засыпания водителя грузового автомобиля, необходимо знать количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП) за определенный промежуток времени N_a и среднее число грузовиков N , находящихся в движении.

Оценим эти величины, основываясь на опубликованных в России статистических данных. За 2000 г. в России произошло 157 596 ДТП [3]. Из них на долю грузового транспорта пришлось приблизительно 13%. Согласно исследованиям разных авторов, на долю аварий, связанных с засыпанием, приходится от нескольких единиц до приблизительно двадцати процентов случаев [4,5]. Для оценок выберем некоторую среднюю цифру, равную 15%. Таким образом, около $N_a = 3100$ грузовых автомобилей ежегодно попадают в ДТП в результате засыпания водителя.

Число движущихся грузовиков N можно найти исходя из числа перевезенных грузов $W = 5.7 \cdot 10^9$ т, средней скорости $V = 21.3$ км/ч, грузоподъемности $W_v = 6$ т, дальности поездки $L = 46.9$ км и коэффициента использования пробега автопоезда $K = 0.51$ [6,7]

$$N = \frac{WL}{W_v V K T_1} = 5 \cdot 10^5. \quad (11)$$

Здесь T_1 — период накопления данных, равный одному году.

Такой же результат (с точностью до 10%) получится, если умножить общее число грузовых автомобилей, равное $3.2 \cdot 10^6$, на ряд коэффициентов, учитывающих их простои.

Подставив полученные числа в формулу (10), получим искомую вероятность аварии одного грузовика в течение года вследствие засыпания $P_{\text{as}} = 0.0062$. Это означает, что за год в среднем один из 160 водителей грузовых автомобилей засыпает за рулем и попадает в аварию.

Эффективную интенсивность засыпания $\lambda_{\text{efs}} = 7 \cdot 10^{-7}$ 1/ч найдем, подставив полученное значение P_{as} в выражение (4) и положив $t = T_1$. Полученное значение достаточно мало и это оправдывает сделанные выше приближения.

Рассмотренная модель засыпания, как и всякая другая модель, может оказаться слишком упрощенной. С целью ее уточнения в лабораторных условиях были проведены исследования процесса засыпания оператора.

3. Результаты лабораторных исследований

Переход ко сну ускорялся с помощью монотонного психомоторного теста. Испытуемые, сидя с закрытыми глазами в затемненной комнате, должны были в заданном темпе десять раз нажать на кнопку, а затем считать до пяти в том же темпе без нажатий — это один цикл. Далее циклы повторялись [8,9].

Монотонность деятельности способствовала быстрому наступлению дремотного состояния, которое у большинства испытуемых возникает уже через 1–5 мин после начала работы. Изменение уровня бодрствования оценивали по эффективности деятельности испытуемого, его электроэнцефалограмме и электроокулограмме.

Момент появления ошибок в деятельности являлся опорной точкой для проведения анализа регистрируемых электрофизиологических показателей. Ошибкой (началом сна) считали изменение интервалов, как между циклами нажатий, так и внутри одного цикла; изменение числа нажатий.

В начальной стадии дремоты может возникнуть „обратимое“ состояние, т.е. после описанных изменений происходит спонтанная активация (самопробуждение). Это соответствует известной „циклической фазе дремоты“, когда эпизоды сна длительностью до 10–20 с сменяются эпизодами относительного бодрствования, во время которого ошибок не наблюдается [10,11].

При дальнейшем развитии дремотной стадии состояние становится „необратимым“. И в действиях испытуемого наблюдается серия сбоев разного типа.

Как на „обратимой“, так и на „необратимой“ стадии испытуемый находится в состоянии потери бодрствования или „микросна“. Статистический анализ коротких периодов сна и бодрствования, соответствующих „обратимой“ стадии, а также длительных периодов „необратимого“ сна и рабочего бодрствования, показал, что эти интервалы имеют практически экспоненциальные функции распределения. Причем лямбда-параметры этих распределений отличаются друг от друга на один-два порядка. Это означает, что для водителя отказом является даже короткий сон со средним временем (характеристика, обратная интенсивности) порядка трех-десяти секунд. Но при выходе из этого состояния он осознает опасность и активизируется. Это объясняет тот факт, что водители зачастую, даже заснув на мгновение, успевают проснуться и не попасть в аварию.

4. Модель системы мониторинга с учетом доверия водителя к ее идеальной работе

Формула (8) описывает вероятность аварии для модели водителя, а не реального человека. Как поведет себя человек-водитель, который знает, что за его состоянием следит специальное устройство, причем водитель даже знает, что устройство может ошибаться?

Еще в 1898 г. Бехтерев писал, что „Наряду с внушением нередко действует и самовнушение, когда человек и сам уверует в чудодейственную силу какого-либо средства. Так, путем самовнушения объясняется, например, действие многих так называемых симпатических средств, оказывающих нередко то или другое целительное действие“ [12].

При контроле водителями средствами СМ у них может возникать полная или частичная вера в идеальную работу СМ. Как следствие такого самовнушения у определенного процента водителей ослабевают психологические установки на бодрствование, и тем самым увеличивается интенсивность засыпания λ_s .

Для точного определения доли водителей, подверженных указанному самовнушению, необходимы психологические и социологические исследования. Но косвенно оценить ситуацию можно на примере гипнотической восприимчивости, что, по нашему мнению, имеет много общего с самовнушением. Так, согласно исследованиям [13], около 10 % людей легко внушаемы. Опираясь на эти цифры, проведем некую психологическую аналогию. Будем предполагать, что около 10 % водителей (аналоги высоко внушаемых субъектов) несмотря на предупреждения будут считать работу СМ полностью надежной и снизят свою устойчивость к засыпанию, около 20% — частично поверят в СМ и также увеличат интенсивность засыпания, но меньше, чем первая группа, остальные 70 % никак не отреагируют на наличие СМ.

Здесь необходимо отметить, что помимо факторов усталости и состояния здоровья на параметр засыпания λ_s оказывают очень сильное влияние психологические установки. Насколько увеличится интенсивность засыпания λ_s у первой и второй категорий водителей? Поскольку общие условия труда у водителей останутся прежними, то полного расслабления у них не будет. В упомянутых выше лабораторных исследованиях изучался вопрос о том, как изменяется интервал T_f от начала опыта до первого засыпания испытуемого. Средняя величина этого интервала равна обратной величине интенсивности засыпания, или $T_f = 1/\lambda_s$. Значение указанного интервала, естественно, зависело от первоначального состояния испытуемого, его психологического настроения. Максимальный относительный разброс параметра λ_s для одного и того же испытуемого, но зарегистрированного в разные дни, достигал значения $\max(\lambda_s)/\min(\lambda_s) = 85$. Предположим, что эта величина является „коэффициентом доверия“ первой категории водителей к устройству. Он в какой-то мере является аналогом степени гипнабельности [13]. Интенсивность засыпания этих водителей увеличивается в $k_1 = 85$ раз и достигнет $\lambda_{s1} = k_1\lambda_s$.

У второй группы водителей „коэффициент доверия“ будет лежать между значениями 1 и k_1 ; для определенности будем полагать, что он принимает среднее геометрическое этих величин, т.е. $k_2 = \sqrt{k_1}$.

Рассмотрим работу СМ, контролирующую водителей всех трех упомянутых выше категорий. Поскольку нас интересует качество работающей системы, то чтобы не усложнять картину происходящего, пренебрежем возможностью выхода из строя СМ. Кроме того, будем считать, что каждый заснувший водитель попадает в аварию, т.е. $\lambda_{\text{efs}} = \lambda_s$.

В этом случае для каждой категории водителей вероятность засыпания определяется формулой (6):

$$P_{si} = \gamma_s k_i \lambda_s t, \quad i = 1, 2, 3.$$

Вероятность засыпания любого водителя выражается следующей формулой:

$$P_s = \gamma_s (\xi_1 k_1 + \xi_2 k_2 + \xi_3) \lambda_s t, \quad \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1, \quad (12)$$

где ξ_1 , ξ_2 и ξ_3 — доли водителей первой (10%), второй (20%) и третьей (70%) категорий соответственно.

Значение эффективности работы СМ получится, если разделить вероятность засыпания неконтролируемого водителя $P_{ас}$, представленную формулой (4), на вероятность P_s (12) засыпания водителя, находящегося под контролем СМ, с учетом того что часть водителей верит в непогрешимость работы этой системы

$$G = \frac{1}{\gamma_s(\xi_1 k_1 + \xi_2 k_2 + \xi_3)}. \quad (13)$$

Коэффициент эффективности G работы системы показывает, во сколько раз уменьшится число аварий в результате применения СМ. Для того чтобы СМ работала хорошо, необходимо, чтобы выполнялось условие $G \gg 1$.

Для повышения эффективности G необходимо при заданном k_1 уменьшить параметр γ_s . Причем чем больше коэффициент психологического влияния k_1 , тем меньше должен быть параметр некорректности γ_s . С увеличением γ_s эффективность G падает и может стать меньше единицы. Это означает, что плохо работающая СМ (с большой величиной γ_s) для безопасности дорожного движения хуже, чем ее отсутствие.

Формула (13) показывает, насколько эффективно должна работать СМ, чтобы компенсировать ущерб, который она приносит своим существованием.

Поясним это на примере.

Подставим в формулу (13) численные значения параметров k_i и ξ_i ($i = 1, 2, 3$), приведенные выше:

$$G = \frac{1}{11\gamma_s}. \quad (14)$$

Рассмотрим две СМ. Первая выявляет 90% засыпаний ($\gamma_s = 0.1$). Кажется, что это неплохой результат — число аварий должно упасть в 10 раз. Однако это не так. Число аварий резко увеличится за счет 30% самовнушаемых водителей, которые дают вклад в формулы (13) и (14). Согласно формуле (14), эффективность данного устройства равна $G = 0.9$, т.е. число аварий при использовании этого СМ не снизится, а возрастет на 10%.

У второй СМ параметр некорректности значительно ниже — $\gamma_s = 0.0001$. Эффективность этого устройства равна $G = 905$: во столько раз снизится число аварий из-за сна водителя.

Отметим, что, согласно вышеупомянутой статистике, на 5.32 ДТП приходится 1 погибший. Это означает, что за год в такой стране, как Россия, вследствие засыпания за рулем погибает около 4.5 тысяч человек. Применение качественных систем, следящих за состоянием водителя, должно значительно снизить количество аварий.

Выводы

На основе анализа статистических данных дорожного движения и лабораторных исследований построены 4 математические модели, описывающие систему „человек—система мониторинга—автомобиль—система дорожного движения“.

— Модель аварийной ситуации без контроля водителя системой мониторинга.

— Модель аварийной ситуации при контроле водителя системой мониторинга.

— Модель аварийной ситуации при отказе системы мониторинга.

— Модель системы мониторинга водителя с учетом „фактора доверия“ водителя в идеальную работу системы мониторинга.

Показано, что на безопасность применения системы мониторинга влияет качество обнаружения системой дремотного состояния. Рассчитаны риски, связанные с неисправностями системы и недостаточной эффективностью ее работы.

Предложена методика количественной оценки чрезмерного доверия водителей к системе мониторинга — применение неэффективно работающей системы мониторинга повышает аварийность, связанную с засыпанием водителя.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского фонда технологического развития, грант № 144/2001.

Список литературы

- [1] Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1967. Т. 1. С. 438.
- [2] Chuydts R., De Valck E., Verstraeten E., Theys P. // Sleep Med. Rev. 2002. Vol. 6 (2). P. 83.
- [3] Дорожно-транспортные происшествия в России (2000 г.). Обобщенные сведения. М.: НИЦ ГИБДД МВД России, 2001. С. 2, 4.
- [4] Horne J.A., Reyner L.A. // BMJ. 1995. Vol. 310 (6979). P. 565.
- [5] Gislason T., Tomasson K., Reynisdottir H., Bjornsson J.K., Kristbjarnarson H. // J. Int. Med. 1997. Vol. 241 (3). P. 213.
- [6] Транспортный комплекс России 2000. Информационно-аналитический сборник. М.: Трансконсалтинг, 2001. С. 81.
- [7] Транспорт и связь в России. М.: Госкомстат России, 2001. Т. 65. С. 100.
- [8] Дорохов В.Б., Дементенко В.В., Коренева Л.Г., Марков А.Г., Шахнарович В.М. // Журн. высш. нерв. деят. 2000. Т. 50. № 2. С. 206.
- [9] Дементенко В.В., Марков А.Г., Коренева Л.Г., Шахнарович В.М. // Биомедицинская электроника. 2001. Т. 29/1. С. 157.
- [10] Makeig S., Jung T.P., Sejnowski T.J. // J. Exp. Psychol. 2000. Vol. 54. N 4. P. 266.
- [11] Doran S.M., Van Dongen H.P., Dinges D.F. // Arch. Ital. Biol. 2001. 1 39 (3). P. 253.
- [12] Bekhterev V.M. Suggestion and Its Role in Social Life. New Brunswick: Transaction Publishers, 1998. 215 p.
- [13] Hilgard E.R. Hypnotic Susceptibility. New York: Narcount. Brace and World, 1965.