

Юбилейный сборник Института Радиотехники и электроники РАН 2004 г.

ВЛИЯНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ

С.В.Герус, В.В.Дементиенко, В.М. Шахнарович

ИРЭ РАН, ЗАО «Нейроком»

Рассмотрено изменение эффективности работы системы контролирующей состояние водителя, происходящее из-за чрезмерного доверия водителя в работу системы. Построена математическая модель, показывающая, что некорректно работающая система вследствие этого психологического эффекта может оказаться хуже, чем отсутствие всякого контроля над водителем.

Введение

Безопасность технических средств, представляющих потенциальную опасность для окружающих, почти полностью зависит от людей, которые ими управляют. Электронные системы играют важную, но вспомогательную роль, помогая человеку обеспечивать безопасное управление техникой. Это относится к водителям, рулевым, диспетчерам, операторам атомных электростанций и т.д. Ошибка в работе каждого из них чревата как минимум экономическими потерями, а часто и человеческими жертвами. Однако в цепи человек – системы управления именно человек является слабым звеном. Человек не только совершает ошибки, он может внезапно заболеть, заснуть, потерять сознание, умереть. Чтобы предотвратить катастрофические последствия такого рода событий необходимо обеспечить мониторинг состояния человека в каждый момент его рабочего времени. Причём эффективность и безопасная работа системы мониторинга оператора в большой степени определяют безопасность работы всего технического средства в целом.

В работе [1] авторы изложили основные подходы к анализу и разработке систем мониторинга состояния оператора (СМ). Эти системы должны не просто функционировать, им необходимо обладать свойствами, обеспечивающими безопасность технических средств. Иными словами СМ с большой вероятностью не должны допускать опасной ошибки, которая бы могла привести к аварии: не должно быть опасных отказов собственно системы и, кроме того, СМ должны достаточно эффективно распознавать нерабочее состояние оператора.

Согласно [1], при создании систем, уменьшающих число аварий из-за человеческого фактора, необходимо проведение анализа системы «человек–система мониторинга (СМ)–

окружение». В качестве примера изложены принципы построения математической модели «человек—автомобиль—СМ—система дорожного движения». Математические модели упрощённо описывают события или цепь событий, приводящих к аварии, сопоставляя каждому событию его вероятность.

Однако анализ систем, включающих человека в качестве одного из элементов, осложняется необходимостью принятия во внимание психологических факторов, которые часто почти не возможно формализовать. Тем не менее, именно это мы и попытаемся сделать в настоящей работе. Проблема состоит в том, что водитель, зная, что он находится под контролем СМ, начинает ей доверять и, в результате, его самоконтроль засыпания слабеет. Но контроль СМ не может быть идеальным. Какая-то вероятность несрабатывания СМ всё же существует. Какова же эффективность работы СМ с учетом психологического уменьшения самоконтроля водителя?

Для понимания дальнейшего материала изложим, вкратце, некоторые результаты работы [1]. Поскольку нам необходимо знать каковы преимущества использования СМ, то основных ситуаций, которые нам необходимо рассмотреть – две. Выход из строя водителя (условно – засыпание) находящегося под контролем СМ и без контроля. Поскольку нас интересует качество работающей системы, то чтобы не усложнять картину происходящего пренебрежём возможностью выхода из строя СМ. Для используемых случайных величин принят экспоненциальный закон распределения.

1. Модель аварийной ситуации без контроля водителя СМ.

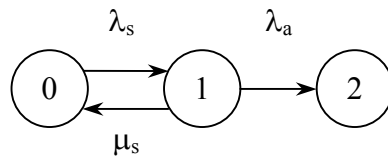


Рис. 1. Граф состояний движущегося автомобиля с водителем.

Систему, состоящую из движущегося автомобиля, управляемого водителем, и дорогой, с присущими ей препятствиями, можно упрощённо расклассифицировать на несколько состояний (см. 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 нахождения

системы в i -ом состоянии ($i = 0, 1, 2$). Состояния системы можно описать совокупностью дифференциальных уравнений [2]:

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

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

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

$$P_{as} = P_2 = \lambda_s \frac{\lambda_a}{\mu_s + \lambda_a} t \quad (2)$$

Обратим внимание на тот факт, что в выражении (5) 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. Анализ дорожно-транспортной статистики, проведённый в работе [1], позволил оценить эффективную интенсивность засыпания следующей величиной: $\lambda_{\text{efs}} = 7 \cdot 10^{-7}$ ч⁻¹.

2. Модель аварийной ситуации при контроле водителя устройством СМ.

Рассмотрим случай, когда СМ исправно, но контролирует водителя не полностью, то есть идентифицируются не все случаи выхода водителя из строя.

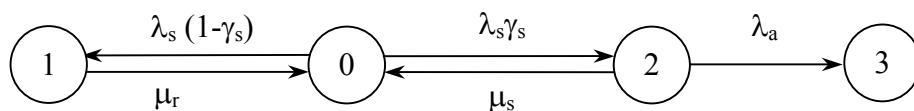


Рис. 2. Граф состояний движущегося автомобиля с водителем, контролируемым СМ.

Граф состояний изображен на рис. 2. Состояние 0 – рабочее, 1 – пороговое состояние, определяемое СМ, когда водитель ещё работоспособен, но возникает возможность засыпания. Интенсивность попадания в состояние 1 равна $\lambda_s (1-\gamma_s)$. То есть 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. Состояние 2

означает неконтролируемый сон. Вероятность не обнаружения сна равна γ_s . Переход из состояния 2 в состояние 1 определяется интенсивностью самопроизвольного просыпания μ_s , причём $\mu_r \gg \mu_s$. Переход к состоянию аварии 3 происходит, как и в предыдущем случае, с интенсивностью λ_a . Вероятности перечисленных состояний описываются системой уравнений (6).

$$\begin{cases} \dot{P}_0 = -P_0\lambda_s + P_1\mu_r + P_2\mu_s \\ \dot{P}_1 = P_0(1-\gamma_s)\lambda_s - P_1\mu_r \\ \dot{P}_2 = P_0\gamma_s\lambda_s - P_2(\lambda_a + \mu_s) \\ \dot{P}_3 = P_2\lambda_a \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1 \\ P_0(0) = 1; P_{i \neq 0}(0) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

С учётом допущений сделанных при рассмотрении уравнений (1) решение системы (3) приводит к следующему значению вероятности аварии:

$$P_3 = \gamma_s \lambda_{efs} t \quad (4)$$

Интенсивность аварии пропорциональна эффективной интенсивности засыпания λ_{efs} , умноженной на вероятность γ_s нераспознавания состояния сна устройством СМ.

Если разделить вероятность P_{as} на P_3 , то получится коэффициент

$$G = 1/\gamma_s, \quad (5)$$

иллюстрирующий во сколько раз уменьшится вероятность аварий, а, следовательно, и их число, при применении СМ на всех автомобилях. Величина G обратно пропорциональна параметру γ_s некорректной работы СМ. Действительно, если бы СМ идеально улавливала абсолютно любое отклонение состояния водителя от нормы, то вероятность P_3 и число засыпаний обратились бы в ноль, а коэффициент G – в бесконечность.

Формула (5) получена в предположении, что водители либо не знают о наличии СМ, либо действуют как автоматы. Однако, на самом деле знание того, что какую-то часть ответственности за безопасность движения на себя принял автомат, включает подсознательные психологические процессы, которые в конечном итоге изменяют эффективность СМ. Рассмотрим, как это происходит.

Учёт влияния психологических факторов на работу СМ

При контроле водителей средствами СМ у них возникает полная или частичная вера в идеальную работу СМ. Как следствие этого у определенного процента водителей ослабевают психологические установки на бодрствование. Психологи считают, что около

10% водителей, несмотря на предупреждения, будут считать работу СМ полностью надёжной 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. На сколько 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 лабораторных исследованиях, изложенных в работе [1], изучался вопрос о том, как меняется интервал от начала опыта до первого засыпания испытуемого. Средняя величина этого интервала равна обратной величине интенсивности засыпания λ_s . Значение указанного интервала, естественно, зависело от первоначального состояния испытуемого, его психологического настроения. Максимальный относительный разброс параметра λ_s для каждого испытуемого равнялся приблизительно 10 – 15. В качестве первоначальной оценки эту величину, по-видимому, можно считать коэффициентом k_1 , определяющим возрастание параметра λ_s у первой категории водителей $\lambda_{s1} = k_1\lambda_s$. У второй группы водителей интенсивность засыпания $\lambda_{s2} = k_2\lambda_s$ будет лежать между значениями λ_{s1} и λ_s . Для определённости пусть она принимает среднее геометрическое этих величин.

Рассмотрим работу СМ, контролирующую водителей всех трёх упомянутых выше категорий.

Для одной из трёх категории водителей вероятность засыпания определяется формулой (4):

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

Вероятность засыпания любого водителя даётся следующей формулой:

$$P_s = \gamma_s (\xi_1 k_1 + \xi_2 k_2 + \xi_3) \lambda_{efs} t, \quad \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 = 1, \quad k_2 = \sqrt{k_1}, \quad (5)$$

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

Эффективность работы СМ получится, если разделить вероятность засыпания неконтролируемого водителя P_{as} , представленную формулой (2), на вероятность P_s (5) засыпания водителя находящегося под контролем СМ, с учетом того, что часть водителей верит в непогрешимость работы этой системы:

$$G = \frac{1}{\gamma_s(\xi_1 k_1 + \xi_2 k_2 + \xi_3)}, \quad (6)$$

G является коэффициентом эффективности работы системы. Он показывает, во сколько раз уменьшится число дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в результате применения СМ. Для того, чтобы СМ работала хорошо необходимо, чтобы выполнялось условие $G \gg 1$. Подставив в это неравенство численные значения параметров, получим ограничение, накладываемое на параметр γ_s , характеризующий некорректность работы СМ:

$$\gamma_s \ll 0.3. \quad (7)$$

То есть вероятность нераспознавания СМ неработоспособного состояния водителя должно быть много меньше, чем 0.3. Однако неравенство (7) получено при значении $k_1 = 15$, которое ещё необходимо будет уточнить, проведя отдельное исследование. Пока можно считать величину G функцией двух переменных – γ_s и k_1 , удовлетворяющих соотношению (6). Эта зависимость представлена на рис. 3 в логарифмических осях. Из рис. 3 видно, что для того, чтобы увеличить эффективность G необходимо при заданном

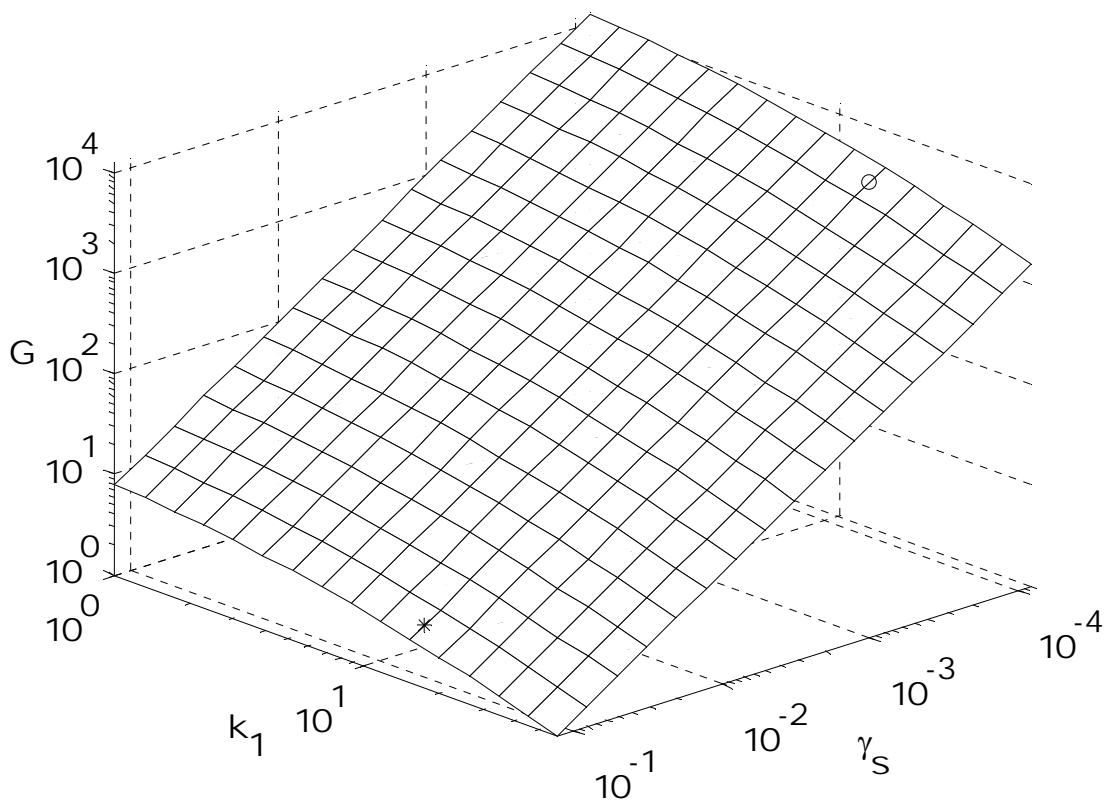


Рис. 3. Коэффициент эффективности системы мониторинга водителя.

k_1 уменьшать параметр γ_s . Причем чем больше коэффициент психологического влияния k_1 , тем меньше должен быть параметр некорректности γ_s . С увеличением k_1 и (или) γ_s эффективность G падает и может стать меньше единицы. Это значит, что плохо работающая СМ (с большой величиной γ_s) для безопасности дорожного движения хуже, чем вообще отсутствие СМ.

Формулы (6) и (7) показывают, насколько эффективно должна работать СМ, чтобы компенсировать ущерб, который она приносит своим существованием.

Поясним это на примере. Автопарк России составляет 25 млн. единиц [3]. Расчёты показывают, что в движении находится приблизительно 15% этого количества [1]. Это составляет $N = 3.75$ млн. автомобилей.

Число ДТП за время t равное 1 году, причиной которых явилось засыпание водителей, равна произведению N на вероятность засыпания (2):

$$N_s = N\lambda_{efs}t.$$

Если на все автомобили поставить СМ, то согласно формуле (5) число ДТП за год станет равным:

$$N_{sm} = N\lambda_s t(\xi_1 k_1 + \xi_2 k_2 + \xi_3)\gamma_s.$$

Оценим влияние параметра γ_s , характеризующего некорректность работы СМ. Так, если $\gamma_s = 0.1$, то $N_{sm} = 7017$ аварий, то есть число ДТП уменьшается всего в три раза. На рис. 3 этот случай отмечен значком «*». Обратим внимание на приблизительность наших оценок, производимых с точностью до порядка величины. Расчётное уменьшение числа ДТП всего в три раза означает, что этого уменьшения может и не произойти.

Если же параметр некорректности СМ значительно ниже – $\gamma_s = 0.0001$, то ожидаемое число ДТП значительно сокращается: $N_{sm} = 7$. Этот случай на рис. 3 проиллюстрирован кружочком.

Отметим, что согласно статистике [4] на 5.32 ДТП приходится 1 погибший. Это означает, что на сегодняшний день из-за засыпания за рулём погибает приблизительно 4440 человек. При использовании ненадёжных СМ с $\gamma_s = 0.1$ прогнозируемое число погибших всё равно исчисляется тысячами – 1319. При надёжном мониторинге засыпания с $\gamma_s = 0.0001$ ожидается 1 погибший.

Таким образом, построена математическая модель, описывающая взаимодействие системы мониторинга с водителем. Показано, что на работу СМ оказывают заметное влияние психологические факторы, вызываемые чрезмерным доверием водителей к СМ и

снижающие, в конечном итоге, безопасность её работы. Преодолеть такое влияние можно за счёт улучшения качества работы СМ.

Литература

- [1] С.В. Герус, В.В. Дементиенко, В.М. Шахнарович. Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2003. № 8. С. 46 – 52.
- [2] Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 563 с.
- [3] Транспортный комплекс России 2000 (Информационно-аналитический сборник)
- [4] Дорожно-транспортные происшествия в России (2000 г.). Обобщённые сведения. – М.: НИЦ ГИБДД МВД России, 2001.