

# Исследование методов обнаружения сонливости водителя

А.И. Гайдар<sup>1</sup>, П.Ю. Якимов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

<sup>2</sup>Институт систем обработки изображений РАН - филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Молодогвардейская 151, Самара, Россия, 443001

**Аннотация.** Одна из основных причин автомобильных аварий связана с усталостью водителя, поэтому физическое состояние водителя очень важно. Для предотвращения происшествий требуется система мониторинга и контроля усталости водителя, которая бы работала в режиме реального времени. Основная цель этого исследования - построить надежную систему для обнаружения сонливости. Для построения системы исследованы признаки сонливости, такие как длительность закрытия глаза, постепенное закрытие глаза с течением времени, зевания.

## 1. Введение

Безопасность дорожного движения — это, безусловно, одна из важнейших задач человек. Причины высокой аварийности, не только в недостаточной эффективности функционирования системы обеспечения безопасного дорожного движения, но и в низкой дисциплине участников дорожного движения. В настоящее время усталость водителя является одним из основных факторов, способствующих до 20% всем дорожно-транспортным происшествиям и до 25% смертельным и серьезным авариям [1].

В последнее время были разработаны различные системы мониторинга сонливости водителя. Первая система измеряет биологические сигналы с тела водителя. Самыми распространенными являются: электроэнцефалография, электрокардиограмма, электроокулография, поверхностная электромиограмма, гальваническая реакция кожи и дыхание [2-3]. Такие устройства, контролируя усталость, также создают физический дискомфорт водителю.

Также существуют системы, основанные на шкале, которая измеряет усталость. Наиболее распространенная шкала «Karolinska Sleepiness Scale» [4]. Это реализуется с помощью какого-то наблюдателя, который с каким-то интервалом времени спрашивает водителя о его состоянии. Такой подход требует, чтобы водитель часто сообщал о своем состоянии. Это довольно навязчивая мера, которая не может использоваться в реализуемой системе.

Следующий подход основан на сигналах, которые отражают непосредственные действия водителя. В данном случае обычно применяются: сила нажатия на педали, изменение скорости движения транспортного средства, движение рулевого колеса, изменение положения или полосы движения [5]. Состояние сонливости водителя может быть анализировано с помощью данных из сигналов, упомянутых выше. Система, основанная на данном подходе, требует индивидуального подхода к каждому человеку, поэтому для нового случайного водителя она будет не применима.

Последняя система основана на мониторинге лица водителя с использованием камеры и методов обработки изображений для получения некоторых физических индикаторов, таких как: продолжительность закрытия глаз, скорость мигания, PERCLOS (процент закрытия глаз) [6], определение зевоты, направление взгляда. Этот подход эффективен, во-первых, сонливость водителя проявляется в результате проявления признаков усталости на лице водителя, а во-вторых, этот подход является ненавязчивым. Существуют коммерческие продукты. К ним относятся faceLAB и DSS [7], и DFM [8], Viulib [9].

Данная работа нацелена на исследование возможного применения системы, которая основана на подходе, описанном в предыдущем абзаце.

## 2. Обнаружение областей лица, глаз и рта

В последнее время распознавание лиц, а также глаз и рта, имеют очень большое значение и считается одним из самых перспективных направлений в области анализа изображений.

Каждый из методов распознавания нестабилен из-за различных поз человека, мимики лица, положения и ориентации, цвета кожи, наличия очков или длинной челки, условиях освещения и разрешении изображения.

Различают 4 метода обнаружения: основанные на признаках, на внешности, на знаниях и основанные на сравнении с заданным шаблоном.

Подход, основанный на внешнем представлении, работает лучше других. Этот метод основан на статистическом анализе и машинном обучении. Он используется для извлечения необходимых признаков [13]. Существует огромное количество под-методов, но в этой статье рассмотрен подход, тесно связанный с искусственными нейронными сетями.

### 2.1. Обнаружение лица, глаз и рта с использованием Haar Cascades OpenCV

Обнаружение объектов с использованием «Haar feature-based cascade» классификаторов - эффективный метод, предложенный Р. Viola и М. Jones [10]. Этот метод основан на машинном обучении, где каскадная функция обучается из множества положительных и отрицательных изображений. Затем, полученная функция используется для обнаружения объектов на других данных.

Алгоритм требует большое количество положительных и отрицательных изображений для обучения классификатора. После обучения извлекаются признаки. В нашем случае используются Хаар признаки, показанные на рисунке 1.

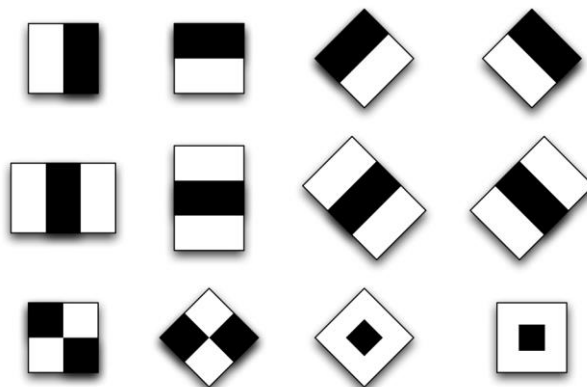


Рисунок 1. Признаки Хаар.

В библиотеку OpenCV встроены обученные на большом количестве данных классификаторы для лица, глаз и рта.

### 2.2. Обнаружение лица, глаз и рта с использованием Dlib

Dlib является хорошим инструментом для анализа данных на C++. Хотя библиотека изначально написана на C++, она имеет отличное и простое API для Python.

Dlib можно широко использовать для обнаружения лица, а также обнаружения особых точек на лице. Детектор включает HOG и линейный SVM.

Детектор лица HOG + SVM уже давно существует и собрал большое количество поклонников. Также в dlib доступен детектор лица, основанный на CNN, который в данной работе не использовался. Для того чтобы получить скорость обработки такую же как у HOG для CNN скорее всего потребуется хороший графический процессор Nvidia.

Библиотека Dlib выводит 68 точек на заданном входном изображении, которые схематично представлены на рисунке 2.

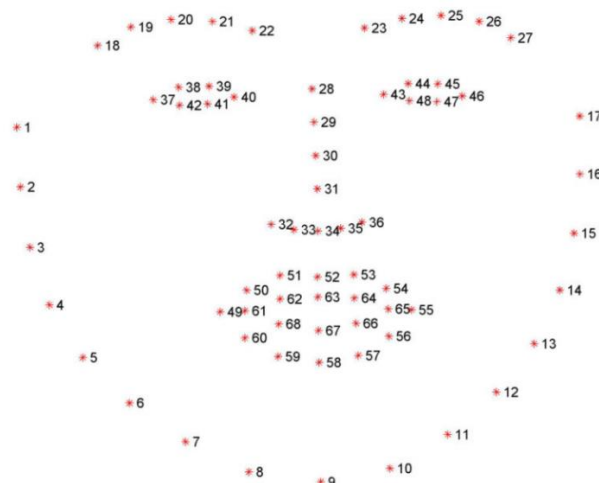


Рисунок 2. Схема особых точек лица.

### 3. Алгоритм определения усталости

Разработанный в ходе исследования метод определения усталости можно представить в виде схемы, показанной на рисунке 3. При разработке метода что сонливость отражается на внешних признаках человека.

В данном исследовании рассмотрены следующие признаки: закрытие глаз и зевание. Эти признаки можно рассматривать отдельно, затем объединять результаты и классифицировать состояние человека.

Чтобы определить состояние закрытия глаз по внешним признакам были придуманы различные способы:

- Соотношение сторон глаза (чтобы определить закрытость глаза)
- Длительность закрытия глаза
- PERCLOS

Соотношение сторон глаза (eye aspect ratio) используется для определения мигания глаза. Это обычное число, которое определяется по формуле 1. Ear имеет высокое значение, когда глаз открыт, и очень быстро падает, когда глаз закрыт. При анализе данных было подобрано значение 0.23, при котором следует считать глаз закрытым. Этот метод позволяет определить степень открытости глаза только на одном кадре. [12] На рисунке 4 показаны ситуации с открытым и закрытым глазами.

$$ear = \frac{|p_2 - p_6| + |p_3 - p_5|}{2|p_1 - p_4|} \tag{1}$$

Длительность закрытия глаз один из самых важных признаков. Eriksson and Papanikolopoulos [14] провели исследование, согласно которому усталость водителей может быть обнаружена, если глаза находятся в непрерывном состоянии в течении 2-2.5 секунд. Действительно, при средней скорости автомобиля по трассе 25 м/с водитель теряет бдительность примерно на 50 м. Это очень опасно при езде в ночное время, если учитывать, что по ГОСТу расстояние, на которое освещает ближний свет автомобиля, должно быть около 50 м.

Другой подход определение сонливости – PERCLOS. Это один из самых популярных методов, который отслеживает постепенное закрытие глаза. PERCLOS - это измерение промежутка

времени, в течение которого веки испытуемого частично закрыты, определяется по формуле 2. Критерием дремоты является состояние, когда глаза закрыты больше 80% за минуту. У дремлющих испытуемых уменьшен тонус мышц лица, замедлены движения глаз и увеличено время закрытых глаз.

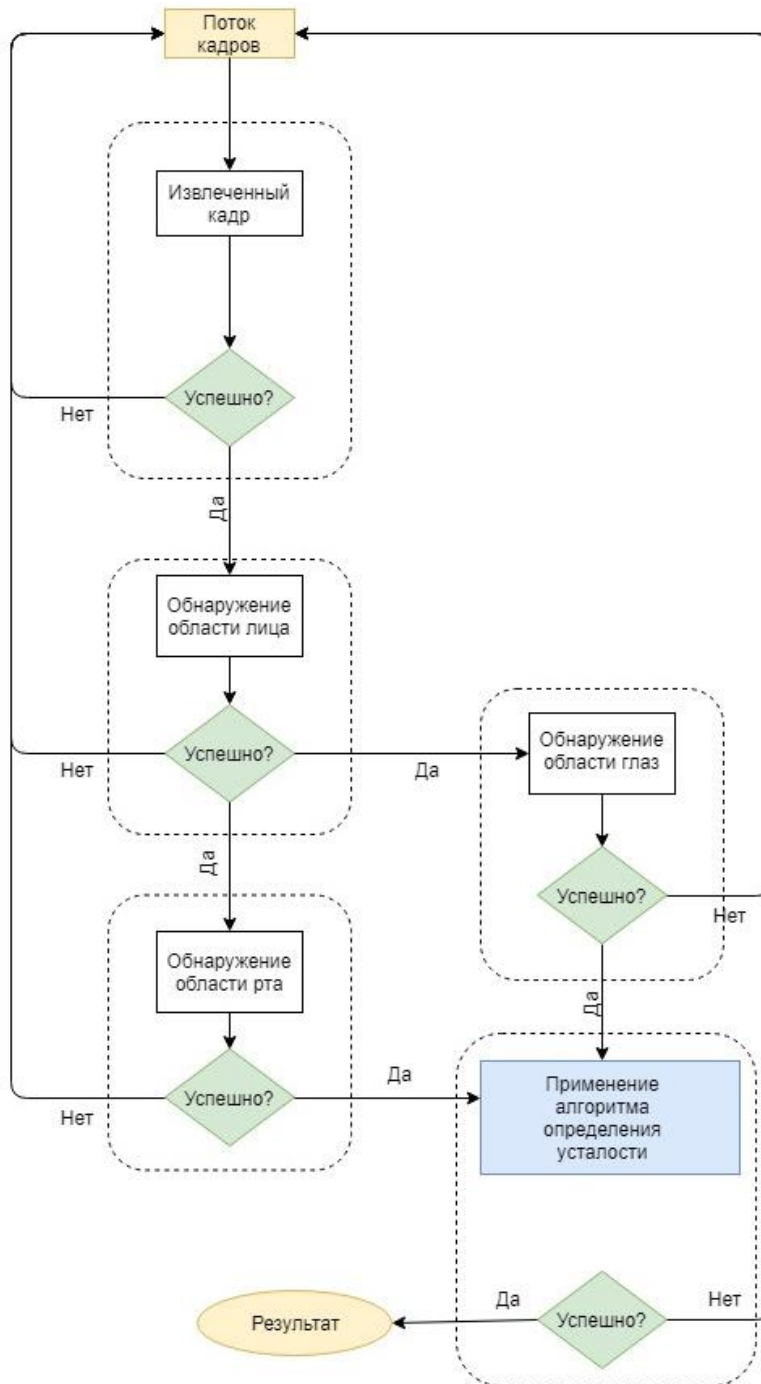
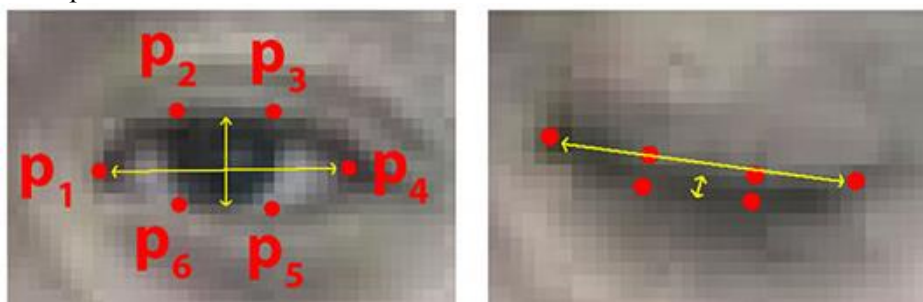


Рисунок 3. Схема системы определения усталости.

В процессе разработки алгоритма возникли сомнения в правильности использования формулы соотношения сторон. Глаза довольно маленький объект по сравнению со всей областью лица, поэтому иногда Dlib попросту неправильно определяет особые точки на глазах. В библиотеке есть возможность точнее определять эти точки, путем увеличения кадра, но это очень затратно по ресурсам, и для того чтобы успевать обрабатывать и выдавать результат в реальном времени

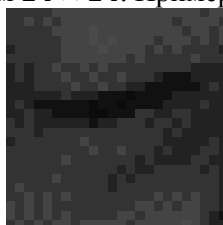
нужно жертвовать количеством обрабатываемых кадров, уменьшая их, что приводит к возможной потере состояния мигания глаза.



**Рисунок 4.** Схематичное представление EAR.

$$PERCLOS = \frac{\text{Number frames of closed eye}}{\text{Interval of all frames} - \text{blinking time}} \quad (2)$$

Способ, использующий соотношение сторон, был модифицирован в глубокую нейронную сеть, которая обучена на картинках размером 24 × 24. Пример картинки показан на рисунке 5.



**Рисунок 5.** Пример картинки закрытого глаза.

Зевки, по сравнению с закрытостью глаз, менее опасны для водителей. Но они также могут свидетельствовать о сонливости водителя. Можно выделить следующие способы определения зевания, которые обязательно должны работать сообща:

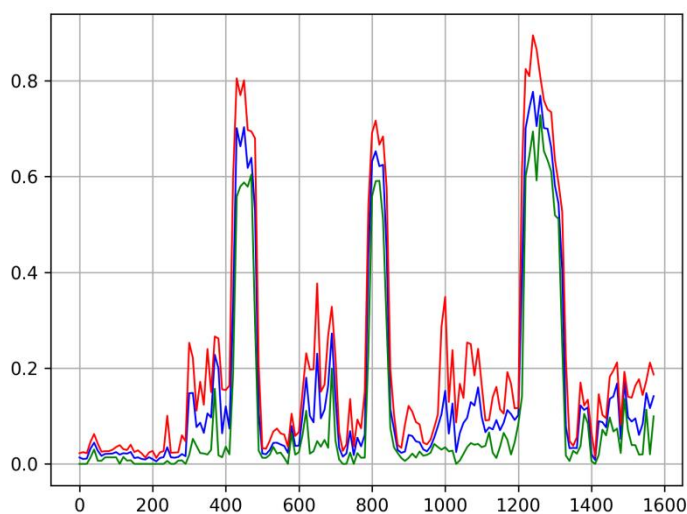
- Соотношение сторон рта (чтобы определить степень открытости рта)
- Длительность зевка

Все признаки должны иметь какое-то конкретное значение, которое получено путем анализа данных с зеваниями. Например, обрабатывая видео с зевком, мы можем определить длительность зевка, максимальное значение соотношения сторон при зевке, соотношение сторон в нормальном состоянии. Анализирую полученные данные с каждого видео получим среднее значение соотношения сторон рта при зевке, среднее значение длительности зевка, а также их разброс. Учитывая эти результаты получим диапазон значений, по которому можем определять зевки с новых данных.

На рисунке 6 показана зависимость соотношения сторон рта от количества кадров, или времени для файла с расширением avi. Так как значений очень большое количество, было принято решение вычислять среднее, максимум и минимум на 10 кадрах, соответственно синий, красный и зеленые графики. На видеозаписи произошло 3 зевка, которые мы можем наблюдать на графике.

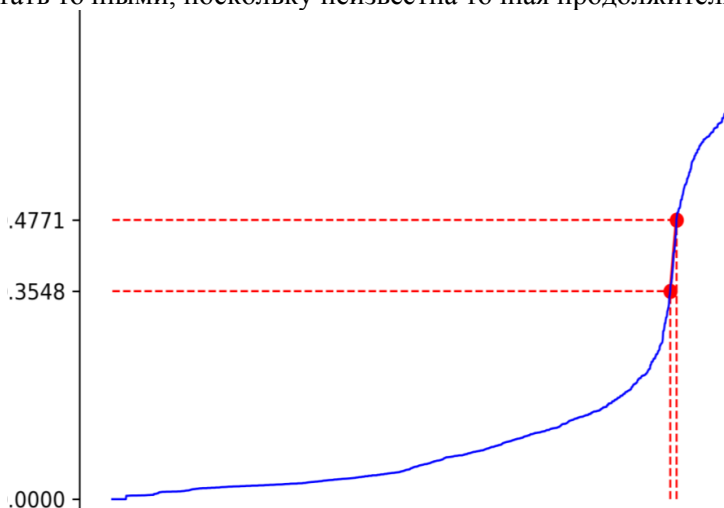
Можно сказать, что при каком-то значении соотношения сторон рта, открытый рот можно считать зевком. Как видно на предыдущем графике значения открытия и закрытия рта при зевке не многочисленны, их намного меньше значений обычного состояния рта, или значений при котором рот зависает в состоянии зевка.

На рисунке 7 представлены все значения отсортированные по возрастанию. По этим данным можно сказать, что резкое возрастание значений может свидетельствовать о начале зевка. Определить какое значение считать началом зевка – довольно сложна задача, для этого нужно знать количество кадров, которое соответствует началу зевка. После зевка рот закрывается довольно быстро, поэтому кадров с таким же соотношением, что при начале будет гораздо меньше.



**Рисунок 6.** Зависимость соотношения сторон рта от времени.

За начало зевка можно считать какие-то доли секунды, а каждой секунде примерно соответствует 15 кадров. На видеозаписи было 3 зевка, предположим, что каждому зевку, а именно значению соотношения сторон рта при начале и конце зевка соответствует 5 кадров, получим в общем 15 кадров для 3 зевков. Найдем самый быстро растущий интервал соответствующий 15 кадрам. Интервал показан пунктиром на рисунке 7. Возьмем среднее значение между концами интервала 0.41595 и будем считать, что это значение является началом зевка для конкретного случая. Исследуя все данные, получим какое-то усредненное значение, которое можно считать значением соотношения сторон рта для начала зевка. Эти данные нельзя считать точными, поскольку неизвестна точная продолжительность зевка.



**Рисунок 7.** Отсортированные значения соотношения рта.

**4. Экспериментальные исследования**

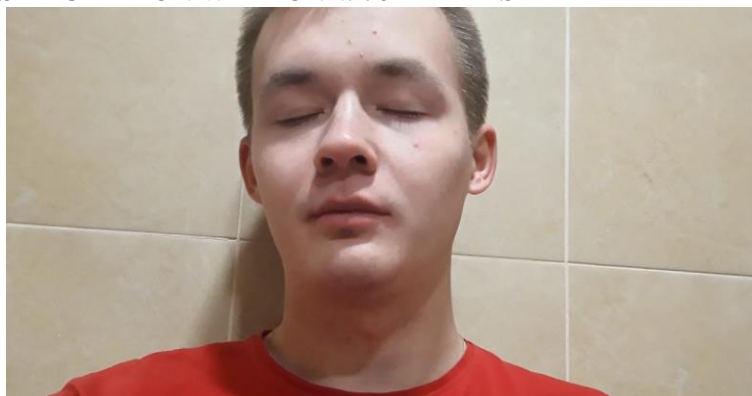
Для экспериментального исследования были произведены запуски системы на двух входных данных формата mp4 и продолжительность в 10 секунд. Первое видео предназначено для обнаружения усталости по глазам, втором по зевкам.

На рисунке 8 фрагмент видеозаписи, когда уже прошло около 3 секунд с момента закрытия глаз. Полученный результат, разработанной системы:

```

OUTPUT PERCLOS: 45.794392523364486%
OUTPUT CLOSE DURATION WITH EAR: 67 FRAMES
OUTPUT CLOSE DURATION WITH CNN: 68 FRAMES
OUTPUT PERCLOS: 46.2962962962963%
    
```

OUTPUT CLOSE DURATION WITH EAR: 68 FRAMES  
 OUTPUT CLOSE DURATION WITH CNN: 69 FRAMES  
 OUTPUT PERCLOS: 46.788990825688074%  
 OUTPUT CLOSE DURATION WITH EAR: 69 FRAMES  
 OUTPUT CLOSE DURATION WITH CNN: 70 FRAMES



**Рисунок 8.** Фрагмент тестовой видеозаписи для определения усталости по глазам.

Результат, полученный с помощью метода соотношения сторон не сильно отличается от результата, полученного с помощью обученной нейронной сети. Также наблюдаем, что с каждым кадром значение PERCLOS растет незначительно, поэтому назовём этот метод не самым эффективным для определения усталости.



**Рисунок 9.** Фрагмент тестовой видеозаписи зевка.

На рисунке 9 фрагмент видеозаписи, когда уже прошло больше 3 секунд с момента начала зевка. Полученный результат, разработанной системы:

OUTPUT MOUTH ASPECT RATIO: 0.9630867683153721  
 OUTPUT YAWNING DURATION: 75 FRAMES  
 OUTPUT MOUTH ASPECT RATIO: 0.9933991744460218  
 OUTPUT YAWNING DURATION: 76 FRAMES  
 OUTPUT MOUTH ASPECT RATIO: 0.995790802189314

Полученный результат свидетельствует о зевке.

В эксперименте были рассмотрены лишь “идеальные” данные для разработанной системы. Система хорошо работает только при условии нахождения камеры перед лицом, при отсутствии на лице очков, а также если человек не закрывает рот рукой.

## 5. Заключение

В статье рассмотрены методы определения усталости и сделан огромный уклон на методы, опирающиеся на внешние признаки человека. Рассмотрены подходы по определению усталости

для глаз и способы определения зевков. Детектирование областей лица, глаз и рта реализованы с помощью библиотеки Dlib. Разработанная система даёт приемлемый для поставленной задачи результат с учетом значительных ограничений, таких как расположение камеры, наличия очков различных типов, запрета на закрытия рта при зевании.

## 6. Литература

- [1] Ризаев, И.С. Геоинформационные системы: учебное пособие. – Казань: Издательство Казанского государственного технического университета, 2013. – 139 с.
- [2] Driver fatigue and road accidents. The Royal Society for the Prevention of Accidents, 2011. – 4 p.
- [3] Berka, C. EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks / C. Berka, D.J Levendowski, M.N. Lumicao, A. Yau, G. Davis, V.T. Zivkovic, R.E. Olmstead, P.D. Tremoulet, P.L. Craven // *Aviat. Space Environ. Med.* – 2007. – Vol. 78. – P. 231-244.
- [4] De Rosario, H. Controlled inducement and measurement of drowsiness in a driving simulator / H. De Rosario, J. Solaz, N. Rodriguez, L. Bergasa // *Intell. Transp. Syst. IET.* – 2010. – Vol. 4. – P. 280-288.
- [5] Akerstedt, T. Subjective and objective sleepiness in the active individual / T. Akerstedt, M. Gillberg // *Int. J. Neurosci.* – 1990. – Vol. 52. – P. 29-37.
- [6] Wakita, T. Driver Identification Using Driving Behavior Signals / T. Wakita, K. Ozawa, C. Miyajima, K. Igarashi, K. Itou, K. Takeda, F. Itakura // *Proceedings of the IEEE Intelligent Transportation Systems*, 2005. – P. 396-401.
- [7] Dinges, D. PERCLOS: A Valid Psychophysiology Measure of Alertness as Assessed by Psychomotor Vigilance; Technical Report // Federal Highway Administration: Washington, DC, USA, 1998.
- [8] Seeing Machines. FaceLAB and DSS, 2012 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.seeingmachines.com> (21.11.2018).
- [9] Highway Safety Group. Driver Fatigue, Lane Management & Warning Systems, 2012 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.driverfatiguemonitor.com/dfm/dfm.html> (21.11.2018).
- [10] Viulib-Vicomtech. Software library, a solution that collects, processes and analyzes real-time video images, 2013 [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.viulib.org/> (21.11.2018).
- [11] Viola, P. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features / P. Viola, M. Jones // *Mitsubishi Electr. Res. Labs.* – Cambridge, MA, USA, 2001.
- [12] OpenCV library, 2006 [Electronic resource]. – Access mode: <https://opencv.org/> (21.11.2018).
- [13] Soukupova, T. Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks / T. Soukupova, J. Cech // Center for Machine Perception, Department of Cybernetics Faculty of Electrical Engineering. – Czech Technical University in Prague, 2016.
- [14] Towards Data Science, 2016. [Electronic resource]. – Access mode: <https://towardsdatascience.com/> (04.12.2018).
- [15] Eriksson, M. Eye-tracking for detection of driver fatigue / M. Eriksson, N.P. Papanikolopoulos // *Proceedings of the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 1997. – P. 314-319.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-29-03112 оф<sub>и</sub>\_м.



## A survey on driver's drowsiness detection methods

A.I. Gaidar<sup>1</sup>, P.Y. Yakimov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

<sup>2</sup>Image Processing Systems Institute of RAS - Branch of the FSRC "Crystallography and Photonics" RAS, Molodogvardejskaya street 151, Samara, Russia, 443001

**Abstract.** Driver's state is very important because one of the main reasons for motor vehicular accidents is related to driver's fatigue. To prevent accidents a driver fatigue monitoring and control system that works in real time is required. The main purpose of this study to build a reliable system for the detection of drowsiness. The article presents a study of the features of drowsiness, such as the duration of the closing of the eye, the gradual closing of the eye over time, the yawning are required for building the system.