

УДК: 004.942

## Технология сбора исходных данных для построения моделей оценки функционального состояния человека по зрачковой реакции на изменение освещенности в решении отдельных задач обеспечения транспортной безопасности

Д. Г. Петросянц<sup>a</sup>, А. М. Ахметвалеев<sup>b</sup>, А. С. Катасёв<sup>c</sup>

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ,  
Россия, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10

E-mail: <sup>a</sup> dim-asu@mail.ru, <sup>b</sup> Amir.Akhmetvaleev@gmail.com, <sup>c</sup> ASKatasev@kai.ru

*Получено 14.09.2020, после доработки — 15.01.2021.*

*Принято к публикации 18.01.2021.*

В данной статье решается задача разработки технологии сбора исходных данных для построения моделей оценки функционального состояния человека. Данное состояние оценивается по зрачковой реакции человека на изменение освещенности на основе метода пупиллометрии. Данный метод предполагает сбор и анализ исходных данных (пупиллограмм), представленных в виде временных рядов, характеризующих динамику изменения зрачков человека на световое импульсное воздействие. Анализируются недостатки традиционного подхода к сбору исходных данных с применением методов компьютерного зрения и сглаживания временных рядов. Акцентируется внимание на важности качества исходных данных для построения адекватных математических моделей. Актуализируется необходимость ручной разметки окружностей радужной оболочки глаза и зрачка для повышения точности и качества исходных данных. Описываются этапы предложенной технологии сбора исходных данных. Приводится пример полученной пупиллограммы, имеющей гладкую форму и не содержащей выбросы, шумы, аномалии и пропущенные значения. На основе представленной технологии разработан программно-аппаратный комплекс, представляющий собой совокупность специального программного обеспечения, имеющего два основных модуля, и аппаратной части, реализованной на базе микрокомпьютера Raspberry Pi 4 Model B, с периферийным оборудованием, реализующим заданный функционал. Для оценки эффективности разработанной технологии используются модели однослойного перцептрона и коллектива нейронных сетей, для построения которых использовались исходные данные о функциональном состоянии утомления человека. Проведенные исследования показали, что применение ручной разметки исходных данных (по сравнению с автоматическими методами компьютерного зрения) приводит к снижению числа ошибок 1-го и 2-го рода и, соответственно, повышению точности оценки функционального состояния человека. Таким образом, представленная технология сбора исходных данных может эффективно использоваться для построения адекватных моделей оценки функционального состояния человека по зрачковой реакции на изменение освещенности. Использование таких моделей актуально в решении отдельных задач обеспечения транспортной безопасности, в частности мониторинга функционального состояния водителей.

Ключевые слова: пупиллометрия, сбор исходных данных, компьютерное зрение, оценка функционального состояния человека, зрачковая реакция, мониторинг состояния усталости водителя

UDC: 004.942

## Technology for collecting initial data for constructing models for assessing the functional state of a human by pupil's response to illumination changes in the solution of some problems of transport safety

D. G. Petrosyants<sup>a</sup>, A. M. Akhmetvaleev<sup>b</sup>, A. S. Katasev<sup>c</sup>

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev,  
10 K. Marx st., Kazan, 420111, Russia

E-mail: <sup>a</sup> dim-asu@mail.ru, <sup>b</sup> Amir.Akhmetvaleev@gmail.com, <sup>c</sup> ASKatasev@kai.ru

*Received 14.09.2020, after completion — 15.01.2021.*

*Accepted for publication 18.01.2021.*

This article solves the problem of developing a technology for collecting initial data for building models for assessing the functional state of a person. This condition is assessed by the pupil response of a person to a change in illumination based on the pupillometry method. This method involves the collection and analysis of initial data (pupillograms), presented in the form of time series characterizing the dynamics of changes in the human pupils to a light impulse effect. The drawbacks of the traditional approach to the collection of initial data using the methods of computer vision and smoothing of time series are analyzed. Attention is focused on the importance of the quality of the initial data for the construction of adequate mathematical models. The need for manual marking of the iris and pupil circles is updated to improve the accuracy and quality of the initial data. The stages of the proposed technology for collecting initial data are described. An example of the obtained pupillogram is given, which has a smooth shape and does not contain outliers, noise, anomalies and missing values. Based on the presented technology, a software and hardware complex has been developed, which is a collection of special software with two main modules, and hardware implemented on the basis of a Raspberry Pi 4 Model B microcomputer, with peripheral equipment that implements the specified functionality. To evaluate the effectiveness of the developed technology, models of a single-layer perspetron and a collective of neural networks are used, for the construction of which the initial data on the functional state of intoxication of a person were used. The studies have shown that the use of manual marking of the initial data (in comparison with automatic methods of computer vision) leads to a decrease in the number of errors of the 1st and 2nd years of the kind and, accordingly, to an increase in the accuracy of assessing the functional state of a person. Thus, the presented technology for collecting initial data can be effectively used to build adequate models for assessing the functional state of a person by pupillary response to changes in illumination. The use of such models is relevant in solving individual problems of ensuring transport security, in particular, monitoring the functional state of drivers.

Keywords: papillometry, collection of baseline data, computer vision, functional state assessment, pupil response, monitoring the driver's fatigue status

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 417–427 (Russian).

## 1. Введение

Пупиллометрия является объективным методом диагностики отклонений в функционировании центральной нервной системы и периферической нервной системы человека [Janisse, 1977]. В основе метода лежит неинвазивная и бесконтактная регистрация реакции зрачка глаза человека на световой раздражитель с помощью видеопупиллографов. В свою очередь, реакция зрачка представляется в виде пупиллограммы — временного ряда, отражающего размер зрачка в каждый момент времени в период видеорегистрации. Последующий анализ полученных данных (значений параметров пупиллограммы) позволяет с высокой степенью точности и достоверности судить о наличии различных отклонений функционального состояния (ФС) и здоровья человека в целом.

С развитием технических средств компьютерного зрения использование пупиллометрии в оценке ФС представляется перспективным не только в системах медицинской диагностики, но и в системах общественной и транспортной безопасности, а также безопасности жизнедеятельности и труда [Akhmetvaleev, Katasev, 2018; Ахметвалеев и др., 2018; Ахметвалеев, Катасёв, 2018]. В частности, совершенствование методов компьютерного зрения позволяет отойти от использования медицинских видеопупиллографов и применять для оценки ФС недорогие видеокамеры высокого разрешения и соответствующее программное обеспечение [Куприянов, 2009]. Такой подход может в незначительной степени уменьшить точность оценки ФС, но благодаря значительному снижению материально-технических затрат позволяет использовать его при скрининг-диагностике большого количества людей либо встраивать диагностические устройства в рабочие места операторов критически важных и опасных производств, а также в транспортные средства для мониторинга состояния водителей.

Вместе с тем существует фактор, в значительной степени усложняющий использование пупиллометрии в решении задач оценки ФС для различных предметных областей, не связанных с медицинской лабораторной диагностикой: разработка новых эффективных математических моделей оценки ФС по зрачковой реакции существенно ограничена возможностями доступа к дорогостоящему специализированному оборудованию. Это обусловлено тем, что для построения моделей требуются качественные исходные данные, получение которых зависит от наличия видеопупиллографов. Кроме того, использованию недорогих видеокамер для сбора исходных данных также препятствуют недостатки существующих методов компьютерного зрения (обработки изображений глаза), не обеспечивающие высокую точность выделения контуров искомым окружностей, в том числе при невысокой детализации видеоизображения, и зависящих от искажений на изображениях [Ахметвалеев и др., 2016; Ахметвалеев, 2015].

В данной работе для преодоления указанных ограничений предлагается новая технология сбора исходных данных для построения адекватных моделей оценки ФС человека.

## 2. Технология сбора исходных данных

Процесс получения исходных данных (пупиллограмм), отражающих динамику изменения размера зрачка в результате изменения освещенности, неразрывно связан с видеорегистрацией глаз человека в момент зрачковой реакции и последующим их анализом для поиска окружностей зрачка и радужной оболочки глаза (РОГ) [Ахметвалеев и др., 2018; Куприянов, 2009]. При использовании традиционных пупиллографических комплексов процедура видеорегистрации осложняется дополнительными этапами юстировки положения глаз в фокусе видеокамеры и устранения помех [Ахметвалеев и др., 2018; Куприянов, 2009], где ошибки и неточности могут вызвать дополнительные сбои в работе алгоритмов компьютерного зрения, используемых для выделения границ окружностей зрачка и радужки. Пупиллограммы, полученные таким образом, необходимо дополнительно подготавливать к анализу. На рис. 1 показан пример пупиллограммы до и после обработки.

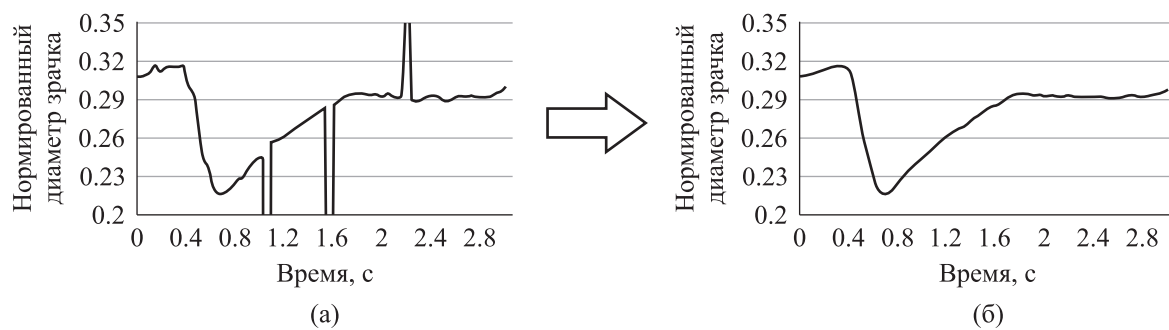


Рис. 1. Пример пупиллограмм: а) исходная пупиллограмма, содержащая шумы, аномалии и пропущенные значения; б) обработанная пупиллограмма

Как видно, обработанная пупиллограмма, по сравнению с исходной, является более гладкой за счет устранения шумов, аномалий и пропущенных значений. Однако при сглаживании временных рядов часто утрачиваются важные для анализа свойства, что может вызвать ошибки классификации у построенных на их основе моделей. Данное обстоятельство является недопустимым для построения эффективных экспертных диагностических систем. Таким образом, при сборе исходных данных актуально использовать подходы, минимизирующие ошибки и повышающие качество собранных выборок.

Известно, что при построении различных нейросетевых моделей зачастую применяется ручная разметка данных, например вручную размеченных изображений объектов, которые должны распознаваться нейронной сетью. Такие данные позволяют в значительной степени увеличивать качество исходных данных, однако также увеличивают время на их подготовку. Вместе с тем такой подход является необходимым и оправданным при построении высокоточных математических моделей. Следовательно, для сбора исходных данных (пупиллограмм) актуально использовать подход ручной разметки изображений искомым окружностей.

Основываясь на подходах различных методик сбора исходных данных [Куприянов, 2009; Кальницкая, Погребной, 2012; Ахметвалеев, Катасёв, 2018], с учетом предложенного подхода ручной разметки отметим, что технология сбора исходных данных для построения моделей оценки функционального состояния человека будет состоять из этапов, представленных на рис. 2.



Рис. 2. Схема разработанной технологии сбора исходных данных



Представленная на рисунке схема отражает последовательность основных этапов разработанной технологии. Данная схема предполагает двухэтапную реализацию сбора данных: на первом этапе оператором производится сбор видеофрагментов, позволяющий за короткое время провести большое число тестов зрачковых реакций людей, так называемый скрининг; на втором этапе записанные видеофрагменты обрабатываются вручную оператором для получения данных о размерах зрачка и радужки. Совокупность таких данных будет представлять собой временной ряд, отражающий динамику изменения размера зрачка относительно размера РОГ, т. е. пупиллограмму. Очевидное преимущество данной схемы заключается в скорости сбора видеофрагментов, независимости от дорогостоящих аппаратных лабораторных комплексов и специальной подготовке персонала, что минимизирует затраты, при этом формируется качественная выборка исходных данных для построения адекватных математических моделей.

При разработке технологии введен ряд условий, определяющих процедуру сбора данных:

- длительность видеофрагмента составляет 3 секунды;
- количество кадров в секунду должно быть равным 25;
- видеосъемка должна осуществляться с разрешением видеокамеры не менее  $1920 \times 1080$ ;
- записанный видеофрагмент должен сохраняться в формате, не допускающем потерю качества полученных видеоданных и детализации видеоизображения;
- в поле зрения камеры должно находиться лицо человека;
- условия фонового освещения естественное, не превышающее среднюю норму искусственного освещения;
- дополнительные условия освещения: глаза должны подсвечиваться источником невидимого инфракрасного освещения;
- в начале записи в сторону глаз человека производится кратковременный (не более 0.5 с) световой импульс видимого спектра яркостью  $300 \text{ кд/м}^2$ , вызывающий зрачковую реакцию.

Первый этап заключается в получении видеофрагментов, отражающих зрачковую реакцию глаз человека на изменение освещенности. Исходя из существующих требований и условий пупиллометрического обследования, производится 3-секундная видеозапись, на протяжении которой должна осуществляться подсветка области глаз инфракрасным источником света, а в начале записи должна производиться кратковременная подача яркого светового импульса.

Для формирования выборки данных различных классов ФС человека необходимо для каждого снимаемого лица производить минимум 2 видеозаписи, отражающие различия в его ФС: нормальное и патологическое. Таким образом, этап сбора видеофрагментов повторяется минимум двукратно количеству людей, участвующих в сборе исходных данных.

На втором этапе технологии производится ручная разметка каждого видеофрагмента с указанием на изображениях мест нахождения зрачка и РОГ. Для этого на каждом отдельном кадре производятся последовательные действия, схема которых представлена на рис. 3.

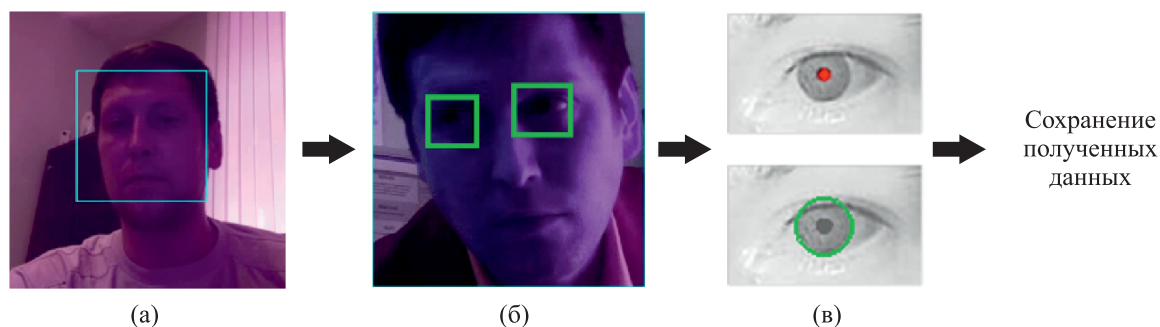


Рис. 3. Схема разметки изображений глаз человека на видеофрагментах: а) автоматический поиск лица человека на видеофрагменте; б) автоматический поиск глаз человека на найденном изображении лица; в) ручное указание центров и диаметров окружностей радужки и зрачка каждого глаза

Представленная схема состоит из 4-х последовательных этапов:

- 1) поиск лица человека на кадре методом компьютерного зрения Виолы–Джонса;
- 2) поиск глаз человека в области найденного лица аналогичным методом;
- 3) ручное указание центров зрачка и РОГ, указание их диаметров;
- 4) последовательное сохранение полученных данных в виде диаметров зрачков и РОГ.

Первый и второй этапы заключаются в получении изображения глаза, для чего используется известный метод Виолы–Джонса, основанный на каскадах Хаара. Особенностью его реализации является каскадное (оконное) сканирование изображения прямоугольными регионами с дальнейшей классификацией предметов на изображении. Набор совпавших каскадов определяет границы лица и глаз человека, позволяя при этом получать их ориентировочные координаты.

На третьем этапе оператору необходимо на каждом кадре видеоряда вручную указать центры и диаметры зрачка и радужки. При этом важно убедиться в корректности отображаемых данных путем наложения построенных окружностей на искомые изображения глаз. Кроме того, неточности обнаружения лиц и глаз методом Виолы–Джонса могут привести к ошибочному распознаванию других регионов изображения, не являющихся глазами. В данном случае оператору следует пометить данный кадр как фрагмент, не содержащий изображение глаза, и не учитывать его в общей выборке данных. Полученные диаметры окружностей сохраняются на 4 этапе последовательно (кадр за кадром) в файл исходных данных.

Таким образом, необходимо вручную обработать 75 кадров (3 секунды видефрагмента по 25 кадров в секунду) для каждого видеоряда. Среднее время для обработки трехсекундного видефрагмента составляет от 3 до 5 минут.

Поскольку изображения глаз могут быть разного размера (пиксельного разрешения), для сбора исходных данных нельзя использовать абсолютные значения только диаметра зрачка. Необходим дополнительный параметр, который позволит определить относительные размеры зрачка на различных изображениях. Таким параметром является диаметр РОГ, так как ее размер не меняется со временем, не зависит от освещенности и будет статичным. Следовательно, для получения однородных исходных данных относительный размер зрачка необходимо вычислять в нормированных значениях по формуле

$$D = \frac{D_{pupil}}{D_{iris}},$$

где  $D_{pupil}$  — абсолютный диаметр зрачка в пикселях,  $D_{iris}$  — абсолютный диаметр РОГ в пикселях.

Таким образом, строится пупиллограмма, пример которой представлен на рис. 4.

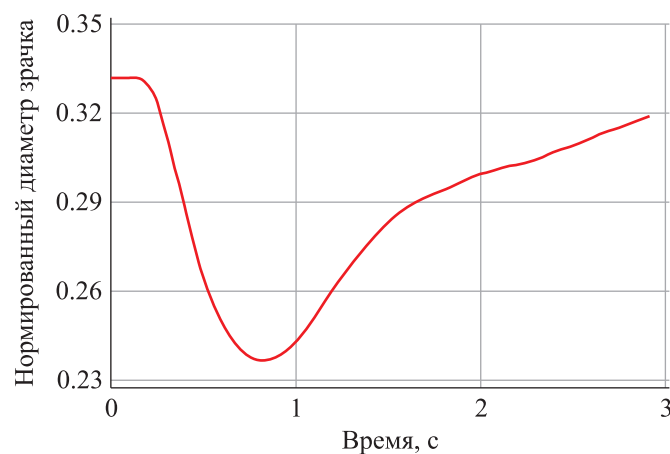


Рис. 4. Пример пупиллограммы, построенной в результате ручной разметки изображений и нормировки диаметра зрачка

Полученная пупиллограмма благодаря ручной разметке окружностей имеет гладкую форму, не содержит выбросов, шумов, аномальных и пропущенных значений.

Следует отметить, что полученные данные (изображения с размеченными зрачками и РОГ) также могут быть использованы для обучения нейросетевых моделей распознавания образов, например для обучения сверточных нейронных сетей автоматически распознавать зрачки и радужки на изображениях глаз с валидацией имеющейся ручной разметки.

### 3. Программно-аппаратный комплекс для сбора исходных данных

На базе предложенной технологии сбора исходных данных реализован программно-аппаратный комплекс (ПАК). В основе программного обеспечения лежит специально разработанный алгоритм, реализующий этапы предложенной технологии сбора исходных данных: сбор видеофрагментов и ручная разметка изображений глаз. Аппаратное обеспечение ПАК предназначено для реализации заданного функционала программного обеспечения, а именно, включает в себя микрокомпьютер, предназначенный для запуска программы и вывода ее интерфейса, источник освещения (инфракрасной подсветки и импульсного света) и другие компоненты. Совокупность программного и аппаратного обеспечения представляет собой единый программно-аппаратный комплекс сбора исходных данных зрачковой реакции на изменение освещенности для дальнейшего использования в задачах построения моделей оценки функционального состояния человека.

Разработанная программа имеет модульную структуру и состоит из двух подпрограмм. На рис. 5 представлена ее структурная схема.

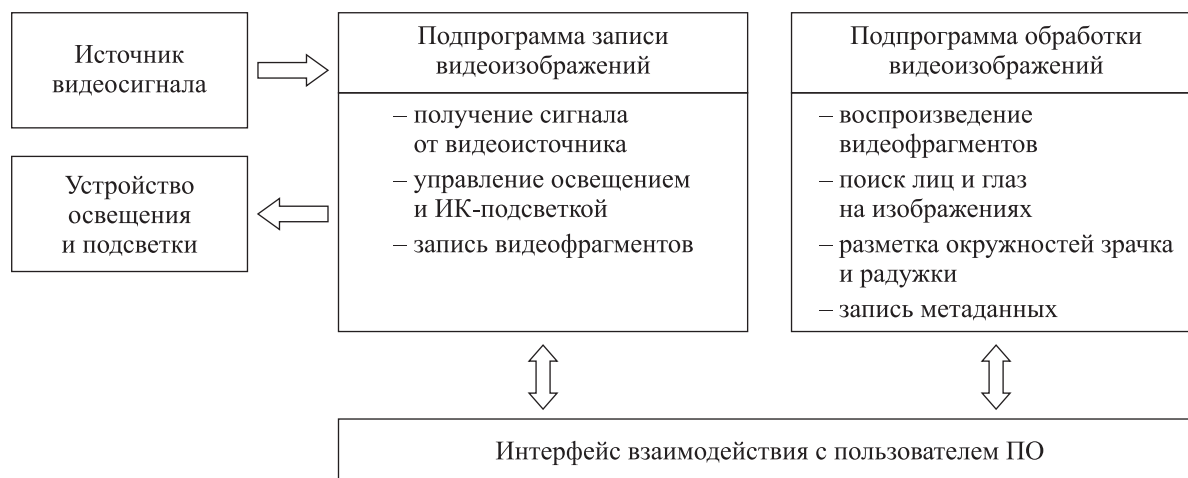


Рис. 5. Структурная схема разработанного программного комплекса для сбора исходных данных

Программное обеспечение состоит из подпрограмм-модулей: модуля, отвечающего за получение и запись видеоизображений, и модуля обработки записанных видеоизображений для получения исходных данных. В первом модуле производится управление всем дополнительным оборудованием аппаратного обеспечения: включение и получение данных с источника видеосигнала; управление освещением (импульсным источником света) и инфракрасной подсветкой. Второй модуль отвечает за обработку полученных данных, а именно: воспроизведение видеофрагментов; поиск лиц и глаз на изображениях видеоряда с последующим сохранением данных в отдельные файлы; разметку окружностей зрачка и радужной оболочки глаза человека.

Аппаратное обеспечение представляет собой комбинацию различных исходных компонентов (микрокомпьютер Raspberry Pi 4 Model B, видеокамера, вспышка и инфракрасная подсветка). Схема подключения исходных компонентов в устройстве представлена на рис. 6.

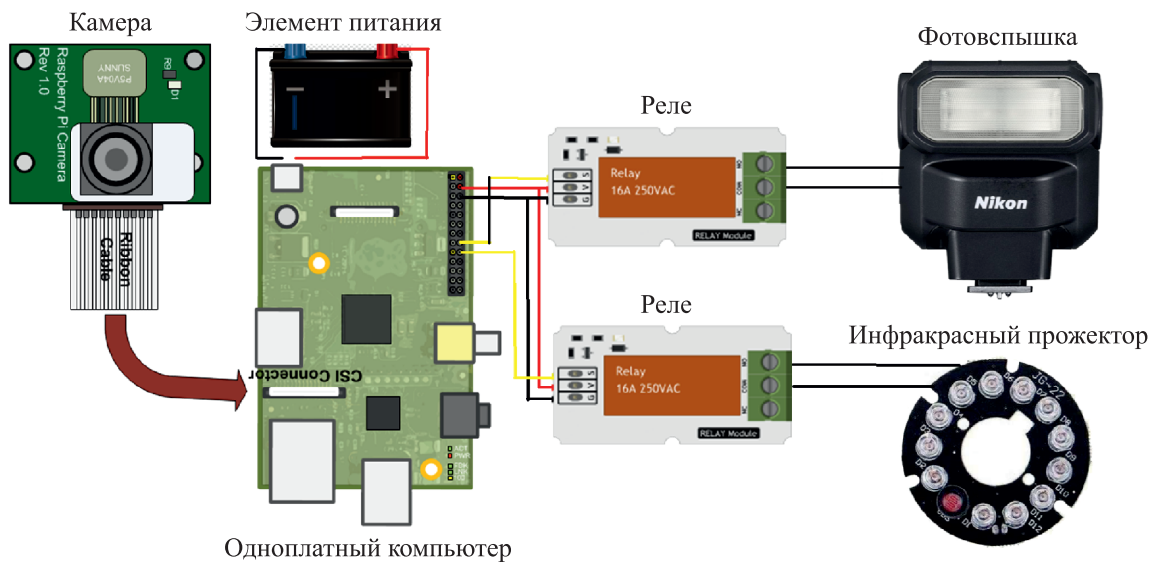


Рис. 6. Схема подключения компонентов аппаратного обеспечения для сбора исходных данных

Представленное схематичное изображение подключения исходных компонентов разработанного устройства показывает относительную простоту аппаратной реализации и, как следствие, характеризует представленное решение как высокоэкономичную и эффективную аппаратную платформу для сбора исходных данных. Разработанное аппаратное обеспечение собрано из компонентов, продающихся в свободном доступе во многих торговых сетях, специализирующихся на радиоэлектронике и микрокомпьютерах. Примерная себестоимость полученного устройства составляет не более \$200 USD. Аппаратное обеспечение может быть адаптировано под условия автономности и мобильности, что позволяет его использовать при массовых исследованиях функциональных состояний человека по его зрачковой реакции на изменение освещенности, а также интегрировать в существующие системы безопасности.

#### 4. Оценка эффективности разработанной технологии и программно-аппаратного комплекса

Эффективность разработанной технологии и ПАК показана на исходных данных ФС утомления человека. Для оценки полученных результатов использована модель коллектива нейронных сетей [Akhmetvaleev, Katasev, 2018; Ахметвалеев, Катасёв, 2018; Mustafin et al., 2018]. Сформировано два набора данных, полученных из одних и тех же исходных видеофрагментов: первый набор получен с использованием представленной технологии, второй набор получен методом компьютерного зрения (поиском окружностей Хаффа). После чего сравнивались результаты классификации обеих моделей.

Указанная модель коллектива нейронных сетей представляет собой комбинацию нескольких нейронных сетей одинаковой архитектуры (однослойного персептрона), формируемых на основе метода 0.632-бутстрэпа. Благодаря этому методу разделение исходных данных на обучающее (63.2 % от объема исходных данных) и тестовое (36.8 % от объема исходных данных) подмножества носит случайный характер. Поэтому каждая модель, входящая в коллектив нейронных сетей, будет иметь свою классифицирующую способность. Результатом классификации ( $Q$ ) является агрегация индивидуальных решений НС ( $Q_i$ ) на основе простого голосования с одиночным выбором  $F(Q_1, \dots, Q_N)$ . На рис. 7 представлена схема применения модели.

Такое архитектурное решение коллектива нейросетевых моделей снижает влияние вероятностного фактора при ее построении и позволяет получать более точные оценки классификации на основе агрегирования выходных значений каждой НС, входящей в коллектив.

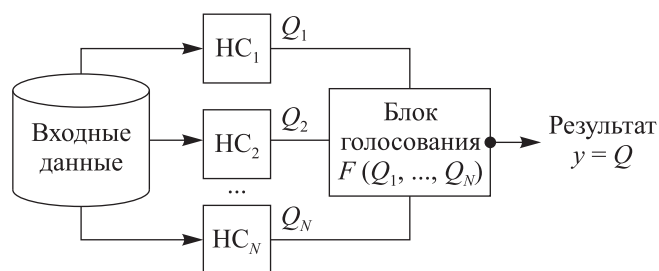


Рис. 7. Схема применения модели коллектива нейронных сетей для оценки функционального состояния человека на основе входных данных параметров пупиллограмм (здесь  $НС_1, НС_2, \dots, НС_N$  — обученные нейронные сети;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  — результаты оценки функционального состояния человека соответствующей нейронной сетью;  $F(Q_1, Q_2, \dots, Q_N)$  — функция, возвращающая результат простого голосования по методу большинства голосов;  $y$  — итоговый результат оценки функционального состояния человека на основе входных данных параметров пупиллограмм)

Выборка данных для построения модели КНС состояла из 240 записей по 120 записей для каждого класса функционального состояния человека: норма или утомление. Функциональное состояние человека в полученной выборке было детерминировано: путем предварительного опроса человека уточнялось его самочувствие, находится ли он в состоянии утомления либо в нормальном функциональном состоянии.

Для оценки эффективности разработанных моделей использовались ошибки I и II рода, а также точность классификации. Использовалась валидационная выборка данных, составляющая ~10 % от исходной выборки и исключенная из нее перед построением модели. Результаты сравнения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение точности классификации моделей

Критерии / Модели	Способ получения окружностей	Ошибок I рода	Ошибок II рода	Точность классификации
Модель КНС № 1	Компьютерное зрение	0.3 %	4.3 %	95.4 %
Модель КНС № 2	Ручная разметка	0.3 %	3.1 %	96.6 %

Как следует из представленной таблицы, при использовании ручной разметки окружностей, в ходе сбора исходных данных (модель КНС № 2), точность классификации моделей выше, а количество ошибок II рода меньше по сравнению с моделями, использующими методы компьютерного зрения для получения исходных данных (модель КНС № 1). Это указывает на достаточно высокую эффективность рассмотренной технологии благодаря сбору качественных и достоверных исходных данных, не имеющих аномалий и выбросов.

Учитывая, что оценка эффективности моделей КНС проводилась на валидационных данных, не входящих в состав обучающей и тестовой выборки, можно рассчитывать на успешность классификации построенной моделью новых данных о функциональном состоянии утомления человека. Таким образом, рассмотренная в статье технология позволяет эффективно решать поставленную задачу по сбору исходных данных для построения моделей оценки функционального состояния утомления человека по зрачковой реакции на изменение освещенности.

В перспективе на основе сбора исходных данных различных ФС человека актуально построение и практическое использование интеллектуальных моделей для решения отдельных задач транспортной безопасности. Использование вручную размеченных окружностей глаза представляет высокий интерес для дальнейших научных исследований и построения эффективных нейросетевых моделей для распознавания образов, например, на базе сверточных нейронных сетей. Применение подобных моделей в сочетании с предложенной в работе программно-аппаратной базой позволит автоматизировать процесс получения размеров радужки и зрачка с высокой степенью точности. Таким образом, высокая точность оценки, неинвазивность мето-

да, простота компонентной базы позволят интегрировать подобные устройства в транспортные средства (автомобили, авиационный и водный транспорт) для контроля состояния усталости человека, что позволит повысить безопасность их управления.

## 5. Заключение

В работе решена задача сбора исходных данных для оценки функционального состояния человека по его зрачковой реакции на изменение освещенности, для чего потребовалась разработка соответствующей технологии. Описанная технология сбора исходных данных базируется, с одной стороны, на традиционном подходе к получению пупиллограмм (видеорегистрация глаз человека в момент зрачковой реакции), а также вводит критерий повышения качества сбора исходных данных за счет использования ручной разметки окружностей зрачка и радужки, что позволяет использовать полученные данные для построения адекватных моделей.

Нейросетевая модель, построенная на базе полученных исходных данных, продемонстрировала высокую точность классификации и минимальный уровень ошибок первого и второго рода по сравнению с моделью, основанной на исходных данных, полученных с помощью методов компьютерного зрения. Это указывает на эффективность предложенной технологии и возможность ее практического использования для построения интеллектуальных моделей оценки функционального состояния человека по зрачковой реакции на изменение освещенности, в том числе в решении отдельных задач обеспечения транспортной безопасности.

## Список литературы (References)

*Ахметвалеев А. М.* Алгоритм бесконтактной идентификации лиц, находящихся в состоянии наркотического опьянения // XXII Туполевские чтения (школа молодых ученых): материалы докладов Международной молодежной научной конференции. — Казань: Фолиант, 2015. — С. 49–55.

*Ahmetvaleev A. M.* Algoritim beskontaktnoj identifikacii lic, nahodyashchih'sya v sostoyanii narkoticheskogo op'yaneniya [Algorithm of contactless identification of persons in a state of drug intoxication] // XXII Tupolevskie chteniya (shkola molodyh uchenyh): materialy dokladov Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii. — Kazan': Foliant, 2015. — P. 49–55 (in Russian).

*Ахметвалеев А. М., Катасёв А. С.* Инструментальный комплекс программ для автоматизации определения функционального состояния человека // Автоматизация процессов управления. — 2018а. — № 2 (52). — С. 112–121.

*Ahmetvaleev A. M., Katsyov A. S.* Instrumental'nyj kompleks programm dlya avtomatizacii opredeleniya funkcional'nogo sostoyaniya cheloveka [Toolkit software to automate the determination of a person's functional status] // Avtomatizaciya processov upravleniya. — 2018a. — No. 2 (52). — P. 112–121 (in Russian).

*Ахметвалеев А. М., Катасёв А. С.* Математическое обеспечение и программный комплекс определения функционального состояния опьянения человека по его зрачковой реакции на световое импульсное воздействие: монография. — Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2018б. — 160 с., ил.

*Ahmetvaleev A. M., Katsyov A. S.* Matematicheskoe obespechenie i programmnyj kompleks opredeleniya funkcional'nogo sostoyaniya op'yaneniya cheloveka po ego zrachkovoj reakcii na svetovoe impul'snoe vozdejstvie [Mathematical support and software complex for determining the functional state of intoxication of a person by his pupillary reaction to light impulse exposure]: monografiya. — Kazan': Redakcionno-izdatel'skij centr "SHkola", 2018b. — 160 p., il. (in Russian).

*Ахметвалеев А. М., Катасёв А. С., Подольская М. А.* Модель коллектива нейронных сетей и программный комплекс для определения функционального состояния человека // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2018. — № 1 (41). — С. 69–86.

*Ahmetvaleev A. M., Katsyov A. S., Podol'skaya M. A.* Model' kollektiva nejronnyh setej i programmnyj kompleks dlya opredeleniya funkcional'nogo sostoyaniya cheloveka [A model of a neural networks team and a software package for determining the functional state of a person] // Prikaspijskij zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii. — 2018. — No. 1 (41). — P. 69–86 (in Russian).



*Ахметвалеев А. М., Катасёв А. С., Шлеймович М. П.* Проблема стимуляции направления взгляда человека в задачах бесконтактного выявления потенциально опасных лиц // Информационная безопасность и защита персональных данных. Проблемы и пути их решения: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции. — Брянск, 2016. — С. 5–8.

*Ahmetvaleev A. M., Katasyov A. S., Shlejmovich M. P.* Problema stimulyacii napravleniya vzglyada cheloveka v zadachah beskontaktnogo vyuyavleniya potencial'no opasnyh lic [The problem of stimulating the direction of a person's gaze in the tasks of contactless detection of potentially dangerous persons] // Informacionnaya bezopasnost' i zashchita personal'nyh dannyh. Problemy i puti ih resheniya: Materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. — Bryansk, 2016. — P. 5–8 (in Russian).

*Кальницкая В. Е., Погребной А. И.* Бинокулярная синхронная пупиллометрия в мониторинге функционального состояния спортсменов высокой квалификации // Физическая культура, спорт — наука и практика. — 2012. — № 2. — С. 41–45.

*Kal'nickaya V. E., Pogrebnoj A. I.* Binokulyarnaya sinhronnaya pupillometriya v monitoringe funkcional'nogo sostoyaniya sportsmenov vysokoj kvalifikacii [Binocular synchronous pupillometry in monitoring the functional state of highly qualified athletes] // Fizicheskaya kul'tura, sport — nauka i praktika. — 2012. — No. 2. — P. 41–45 (in Russian).

*Куприянов А. С.* Методы обработки и анализа пупиллограмм // Известия вузов. Приборостроение. — 2009. — № 8 (52). — С. 58–63.

*Kupriyanov A. S.* Metody obrabotki i analiza pupillogramm [Pupillogram processing and analysis methods] // Izvestiya vuzov. Priborostroenie. — 2009. — No. 8 (52). — P. 58–63 (in Russian).

*Akhmetvaleev A. M., Katasev A. S.* Neural network model of human intoxication functional state determining in some problems of transport safety solution // Computer Research and Modeling. — 2018. — No. 10 (3). — P. 285–293.

*Janisse M. P.* Pupillometry: The psychology of the pupillary response. — New York: Wiley, 1977.

*Mustafin A. N., Katasev A. S., Akhmetvaleev A. M., Petrosyants D. G.* Using Models of Collective Neural Networks for Classification of the Input Data Applying Simple Voting // Journal of Social Sciences Research. — 2018. — No. 2018 (Special Issue 5). — P. 333–339.



