

Государственное общеобразовательное бюджетное учреждение
«Московская областная школа-интернат
естественно-математической направленности» им. П.Л. Капицы.
(ГБОУ «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы)



**XVIII научно-практическая конференция
«Старт в инновации»**

Проектно-исследовательская работа

**Выявление признаков монотонного состояния человека
на основе анализа физиологических показателей**

Автор работы: ученик 7 Б класса
Семенов Илья Александрович

Куратор: к.т.н., доцент ФРТК МФТИ
Семенов Александр Валерьевич

Консультант: инженер-программист
лаборатории нейроробототехники, МФТИ
Бобе Анатолий Сергеевич

Московская область, Долгопрудный
2019 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Обзор литературы	4
2. Исследование физиологических показателей человека в состояниях бодрствования и монотонии	6
2.1. Программа проведения измерений	6
2.2. Результаты экспериментов	7
3. Разработка макета системы оценки состояния водителя и проведение исследований	9
3.1. Состав и принцип работы системы	9
3.2. Экспериментальная проверка работоспособности системы	10
Заключение	11
Список литературы.....	12
Приложение 1. Результаты экспериментов	13
Приложение 2. Разработка устройства	17

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Работа посвящена вопросам исследования и возможности контроля физиологических показателей человека – пульса, ритмов ЭЭГ и частоты моргания глаз – в монотонных условиях. Отличительной особенностью состояния монотонии от усталости является то, что силы организма еще не израсходованы (человек не чувствует себя уставшим), но качество деятельности значительно ухудшается. Последствия ошибок в состоянии монотонии могут приводить к авариям и гибели людей, не говоря уже об операторах технологических линий, работников атомных станций, диспетчерах аэродромов. Монотонии могут быть подвержены люди любых профессий, не только операторы. Поскольку человек не чувствует себя уставшим, актуальной проблемой является поиск методов и средств, которые позволили бы своевременно диагностировать состояние монотонии и предупреждать об этом оператора. Поэтому, исследование возможности измерения показателей состояния монотонии, разработка способов его контроля и прогнозирования – актуальные научные и практические задачи.

Целью работы является измерение и анализ динамики физиологических показателей человека (пульса, ритмов ЭЭГ и частоты моргания глаз) в монотонных условиях.

Задачи работы:

1. Провести анализ литературы по теме исследования и выделить признаки монотонного состояния человека.
2. Провести оценку и анализ динамики физиологических показателей человека в монотонных условиях.
3. Разработать макет устройства для измерения пульса и частоты моргания глаз в монотонных условиях.

Объект исследования: физиологические показатели человека.

Предмет исследования: способы раннего выявления монотонного состояния.

Гипотеза: деятельность человека в условиях монотонии приводит к изменению динамики его физиологических показателей (пульса, ритмов ЭЭГ и частоты моргания глаз).

Методы: анализ литературы, наблюдение, эксперимент, математическая обработка.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Понятие «монотонии». Монотония – это функциональное состояние сниженной работоспособности, возникающее в ситуациях однообразной работы с частым повторением стереотипных действий в обедненной внешней среде. Характеризуется такими физиологическими и психологическими симптомами, как снижение тонуса, ослабление сознательного контроля, ухудшение внимания и памяти, стереотипизация действий [1].

Отечественные ученые М. И. Виноградов и З. М. Золина объясняли монотонию с точки зрения идей Павлова, что длительное воздействие раздражителя на одни клетки приводит к их истощению и запускает механизм запредельного охранительного отношения. Е. П. Ильин определяет монотонию через возникновение «эмоционально-мотивационного вакуума» при условии однообразии рабочих операций или редких сенсорных стимулов [2].

Под влиянием монотонии происходит затормаживание процессов восприятия, мышления и памяти. В плане восприятия при возникновении монотонии наступает так называемый «сенсорный голод», который характеризуется недостатком или однообразностью стимуляции. В итоге все процессы восприятия, внимания и мышления происходят специфическим «скачкообразным» способом.

Монотония возникает в среде, которая характеризуется следующими признаками: многократным повторением однообразных действий; малой продолжительностью цикла трудовых движений; недостатком элементов производственных операций; содержательной простотой трудовых действий; иногда высоким темпом работы; пассивностью человека и ограниченным воздействием на мозг различных сигналов и раздражителей.

Проявлением рабочей монотонии является притупление остроты внимания, ослабление способности к его переключению, снижение бдительности, сообразительности, ослабление воли, сонливость. При этом развивается неприятное эмоциональное переживание, сопровождающееся стремлением выйти из этой гнетущей обстановки, «встряхнуться», активироваться.

Обзор существующих решений, используемых водителями. Для борьбы с сонливостью можно применять довольно многочисленные способы индивидуальной профилактики засыпания за рулем. Кроме того, в ряде случаев актуально использование специальных электронных устройств, препятствующих засыпанию водителей. Они различаются по конструкции, особенностям эксплуатации и принципам работы, и делятся на несколько групп.

Таблица 1. Устройства, имеющиеся в продаже

Название прибора	DriveAlert	Вигитон	StopSleep	Avita	MR688GPK
Принцип определения состояния	Угол наклона головы	КГР	КГР	ЭКГ	Видеоидентификация
Время срабатывания	Зависит от самого оператора	Несколько дес. секунд до засыпания	За 2-3 минуты до засыпания	Около 5 минут до засыпания	Если не регистрируется интервал моргания
Надёжность	50%	75-80%	75-80%	80-85%	75%
Время работы без подзарядки	2-3 дня (зависит от батарейки)	10ч	15ч	8ч	Не работает без сети
Цена	300-800 руб.	8 тыс. руб.	9 тыс. руб.	4,5 тыс.руб. ⁻⁶	20 тыс. руб.
Разработка Производство	Германия; Тайвань	Россия, ЗАО «Нейроком»	Китай		Япония

Все перечисленные устройства отличаются разной стоимостью, эффективностью и доступностью; среди них есть и те, которые являются достаточно надёжными. Тем не менее, если работа или образ жизни человека связаны с постоянными автомобильными поездками, в дороге не стоит полагаться исключительно на возможности того или иного гаджета. Необходимо использовать другие и комбинированные меры по профилактике засыпания за рулем.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧЕЛОВЕКА В СОСТОЯНИЯХ БОДРСТВОВАНИЯ И МОНОТОНИИ

2.1. Программа проведения измерений

Проведено исследование изменения физиологических показателей человека в состояниях бодрствования и монотонии. В качестве условий, моделирующих монотонные условия, было выбрано вождение на симуляторе. В ходе эксперимента выполнялась регистрация физиологических показателей человека, и велось наблюдение за его поведением. В работе проведено исследование изменения таких физиологических показателей человека как:

- пульса – использовался собранный ранее пульсометр Arduino, который записывает результаты мониторинга пульса на флэш-накопитель;
- частоты моргания глаз – запись эксперимента проводилась на видео камеру, затем – анализировались интересующие признаки;
- ритмов ЭЭГ – установка в лаборатории нейроробототехники МФТИ, использовался шлем электроэнцефалографический с комплектом съемных электродов MScap-128 (96, 64, 32).

Используя результаты изучения литературы, был составлен дневник наблюдения за испытуемым. Таблица дневника включала признаки наступления монотонного состояния: зевание, вялость, внимание, активность, взгляд, мимика. В ходе эксперимента выполнялось наблюдение за испытуемым и фиксировалось проявление признаков по шкале: 0 – признак отсутствует; 1 – признак проявляется редко; 2 – признак явно выражен. По сумме оценок проявления признаков делался вывод о наступлении одного из следующих состояний:

- активное состояние – низкий уровень проявления монотонии (0-4 баллов);
- пассивное состояние – средний уровень проявления монотонии (5-8);
- состояние сонливости – высокий уровень проявления монотонии (9-12).

Испытуемые – взрослые люди в возрасте 20-27 лет. Пробное исследование физиологических показателей в состоянии монотонии автор работы выполнил на себе при помощи консультанта (Приложение 1). Общее число экспериментальных замеров составило 15 экспериментов. В данном случае полнота результатов исследования является достаточной, поскольку измеряемые показатели являются

индивидуальными (у каждого человека своя «норма» частоты пульса, моргания глаз и т. п.). Измерения выполнялись в первой половине дня с 9 до 12 ч.

После завершения экспериментов результаты измерений обрабатывались на ПК в программе Excel. Полученные результаты были усреднены и по ним были построены графики.

2.2. Результаты экспериментов

Результаты средней оценки состояния испытуемого с помощью дневника представлены в Приложении 1, таблице 1.

По таблице видно, что в среднем, в первые 30 минут проведения эксперимента испытуемый сохраняет активное состояние – признаки монотонии проявляются редко и не являются выраженными. В течение следующего часа (40-90 минуты наблюдений) у испытуемого фиксировались признаки монотонии более часто и имели более выраженный характер. После 90 минуты наблюдалось состояние сонливости.

Результаты средних значений измерения пульса приведены в Приложении 1, таблице 2. По данным таблицы 2 были построены графики зависимости измерений пульса и оценки состояния от времени, который показан в Приложении 1 на рисунке 2. Таким образом, чем больше прошло времени, тем больше прогрессирует состояние монотонии. Чем выше выраженность признаков монотонии, тем ниже пульс у испытуемого на протяжении всего времени.

Средний пульс в активном состоянии составил 98,86 ударов/минуту, в пассивном – 88,8 ударов /минуту, в состоянии сонливости – 79 ударов/минуту.

Результаты средних значений измерения частоты морганий глаз и продолжительности закрытия глаз при моргании приведены в Приложении 1, таблице 3. По данным таблицы 3 были построены графики зависимости частоты моргания и оценки состояния от времени, который показан в Приложении 1 на рисунке 2. Таким образом, с течением времени происходит нарастание выраженности признаков монотонии, а также наблюдается увеличение частоты моргания глаз (от 15раз/мин до 24 раз/мин).

График зависимости частоты моргания и оценки состояния от времени показан в Приложении 1 на рисунке 4. С течением времени происходит

нарастание выраженности признаков монотонии, а также наблюдается увеличение продолжительности закрытия глаз при моргании (от 100мс до 400мс).

Метод электроэнцефалографии (ЭЭГ) основан на регистрации биопотенциалов головного мозга. Электроэнцефалография используется в основном для диагностики и определения областей мозга, пострадавших от эпилепсии.

Основные виды активности электроэнцефалограммы: альфа-активность (выявляется при проведении электроэнцефалограммы в состоянии пассивного бодрствования и представляет собой синусоидальные колебания частотой 8-13 Гц и амплитудой 40-100 мкВ), бета-активность (показывает преимущественно в передних отделах головного мозга во время активного бодрствования), мю-активность (выявляется в центральных областях головного мозга), тета-активность, дельта-активность.

Результаты измерения ЭЭГ были обработаны с использованием ИСА преобразования для удаления шумов. В данной работе анализ проводился только для альфа-ритма. График изменения мощности альфа-ритма в течение времени приведен в Приложении 1 на рисунке 5. По графику мощности альфа-ритма видно постепенное его нарастание в последние минут 7 эксперимента, что может свидетельствовать об уставании и снижении концентрации.

Подведем итог. В ходе исследования было выявлено, что в условиях монотонии уменьшается частота пульса, увеличивается частота моргания глаз и продолжительность интервала закрытия глаз. При этом закрытие глаз при монотонной работе при снижении пульса постепенно увеличивалось. Интервал закрытия глаз фиксировался более 1-2 с, что означало, что наступил сон. По графику мощности альфа-ритма фиксировалось постепенное его нарастание по окончании эксперимента, что может свидетельствовать об уставании и снижении концентрации. Таким образом, вследствие развития состояния монотонии появляется специфический ЭЭГ-паттерн – увеличение мощности альфа-ритма.

Таким образом, гипотеза доказана: деятельность человека в условиях монотонии приводит к изменению динамики его физиологических показателей (пульса, ритмов ЭЭГ и частоты моргания глаз).

3. РАЗРАБОТКА МАКЕТА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДИТЕЛЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Состав и принцип работы системы

В работе предложен комплексный подход контроля засыпания водителя. В системе предлагается контролировать два параметра: пульс и закрытие глаз.

1. Для контроля пульса построен пульсометр. Работа пульсометра основана на следующем принципе. На датчике установлены светодиод и фотоприемник, расположенные так, что луч света излучаемый светодиодом, попадает на фотоприёмник только отразившись от препятствия, которым должна выступать подушечка пальца или мочка уха.

Электрическая схема датчика устроена так, чтобы регистрировать только динамическое изменение интенсивности принимаемого светового потока. Схема подключения представлена в Приложении (рисунок 1). При неизменном световом потоке, напряжение на выходе датчика находится в районе половины напряжения питания. При изменении интенсивности светового потока, напряжение на выходе датчика отклоняется от среднего значения, в сторону уменьшения или увеличения, пропорционально изменению светового потока. Таким образом, датчик не нуждается в подстройке под каждого человека.

Аппаратная часть. Пульсометр состоит из следующих компонент: платформа Arduino, дисплей TFT, 2.8 – 320x240, датчик пульса, зуммер Trema, платы Double Shield и Trema Shield x 1 шт.

Программная часть. Для реализации проекта были установлены библиотеки `iarduino_SensorPulse` (для работы с датчиком пульса) и `UTFT` (для работы с TFT дисплеями).

2. Аппаратно-программный макет контроля закрытия глаз.

Аппаратно-программный макет контроля закрытия глаз реализован на основе смартфона с ОС Android с видеочастью с применением библиотеки OpenCV. Алгоритм работы приведен на рисунке 3 в Приложении и основан на анализе видеоизображения водителя в реальном времени. Алгоритм контроля закрытия глаз состоит из нескольких этапов: исходное изображение – обнаружение лица, изображение области глаз – разделение областей для правого и

левого глаза отдельно, изображение глаз – определение закрытого/ открытого глаза по факту обнаружения зрачка глаза. Каждая зона обнаружения части лица человека выделена прямоугольником. При закрытом глазе прямоугольник выделения глаз меняет цвет: красный – глаз открыт, желтый – глаз закрыт.

В Приложении 2 на рисунке 3 приведен алгоритм работы макета устройства.

3.2. Экспериментальная проверка работоспособности системы

Проверка работоспособности системы выполнена с помощью двух серий экспериментов. В исследовании участвовали 10 взрослых (7 мужчин и 3 женщины) в возрасте от 26 до 43 лет. В первой серии выполнено измерение пульса испытуемых. Для этого каждому испытуемому подключался разработанный пульсометр с фиксацией интервалов монотонной работы и состояния засыпания. В момент засыпания испытуемого создавался звуковой сигнал и измерение пульса продолжалось.

После завершения эксперимента результаты измерений пульса были скопированы с флэш-памяти пульсометра и перенесены в компьютер. Полученные данные о результатах измерения пульса были обработаны в таблицах Excel. Результаты измерения пульса представлены в Приложении.

На рисунке 4, Приложение 2, приведен пример графика изменения пульса от времени (в минутах) одного из испытуемых. Из него видно, что начиная со 180-ой минуты у испытуемого начинается понижение пульса. Это является признаком усталости от выполнения монотонной работы в течении 3 часов. Начиная с 270 минуты наблюдается понижение пульса в среднем до 70-80 ударов в минуту. Это является признаком сонливости и сна. Начиная с 400 минуты испытуемый прекращал выполнять монотонную работу и начинал активную деятельность. Как следствие – повышение пульса до значений активной фазы.

Система с использованием устройства измерения пульса и устройства анализа состояния глаз (открыты или закрыты) является комплексной (использующей несколько методов) по оценке усталости, сонливости и сна водителя. Такая комплексная система может эффективно предупреждать водителя о повышении усталости и сонливости, т.е. когда водитель еще бодрствует, а также будить водителя в том момент, когда он только что уснул с задержкой не более 1-2 сек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено исследование состояния монотонии человека во время вождения на симуляторе с регистрацией частоты пульса, частоты моргания глаз и электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Общее число экспериментальных замеров составило 15 экспериментов. Было выявлено, что в условиях монотонии уменьшается частота пульса, увеличивается частота моргания глаз и продолжительность интервала закрытия глаз. При этом закрытие глаз при монотонной работе при снижении пульса постепенно увеличивалось. Интервал закрытия глаз фиксировался более 1-2 с, что означало, что наступил сон. По графику мощности альфа-ритма фиксировалось постепенное его нарастание по окончании эксперимента, что может свидетельствовать об усталости и снижении концентрации. Таким образом, вследствие развития состояния монотонии появляется специфический ЭЭГ-паттерн – увеличение мощности альфа-ритма. Доказана сформулированная гипотеза: деятельность человека в условиях монотонии приводит к изменению динамики его физиологических показателей (пульса, ритмов ЭЭГ и частоты моргания глаз).

В работе предложен способ ранней диагностики монотонного состояния человека, учитывающий сочетание нескольких показателей – пульса и частоты моргания глаз. Аппаратно-программный макет контроля пульса реализован на базе платформы Arduino, к которой был подключен датчик пульса. Использовались библиотеки `iarduino_SensorPulse` (для работы с датчиком пульса) и `UTFT` (для работы с цветными TFT дисплеями). Аппаратно-программный макет контроля закрытия глаз реализован на основе смартфона с ОС Android с видеокамерой с применением библиотеки машинного обучения `OpenCV`. Алгоритм работы основан на анализе видеоизображения водителя в реальном времени.

Изучены возможности применения способа, который путем анализа пульса, частоты моргания глаз и ЭЭГ-сигнала позволял бы выявлять засыпание или потерю внимания водителя или оператора в режиме реального времени. Система с использованием устройства измерения пульса и устройства анализа состояния глаз является комплексной по оценке усталости, сонливости и сна водителя. Такая комплексная система может эффективно предупреждать оператора о повышении усталости и сонливости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонова А. Б. Психодиагностика функциональных состояний человека. — М.: Изд-во «Питер». 2006. — 200 с.
2. Ильин Е. Психофизиология состояний человека. — М.: Изд-во Моск. ун-та. 1984. — 200 с.
3. Авдеев В.И. Современные методы биометрии в исследовании. — М.: Изд-во Моск. ун-та. 2016.
4. Устройства, не дающие водителям уснуть за рулем // <http://www.sleepnet.ru/son-za-rulem/ustroystva-ne-dayushhie-voditelyam-usnut-za-rulem>
5. Уроки программирования Ардуино // <http://mypractic.ru/uroki-programmirovaniya-arduino-navigaciya-po-urokam>
6. Библиотека алгоритмов компьютерного зрения OpenCV // <https://opencv.org>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

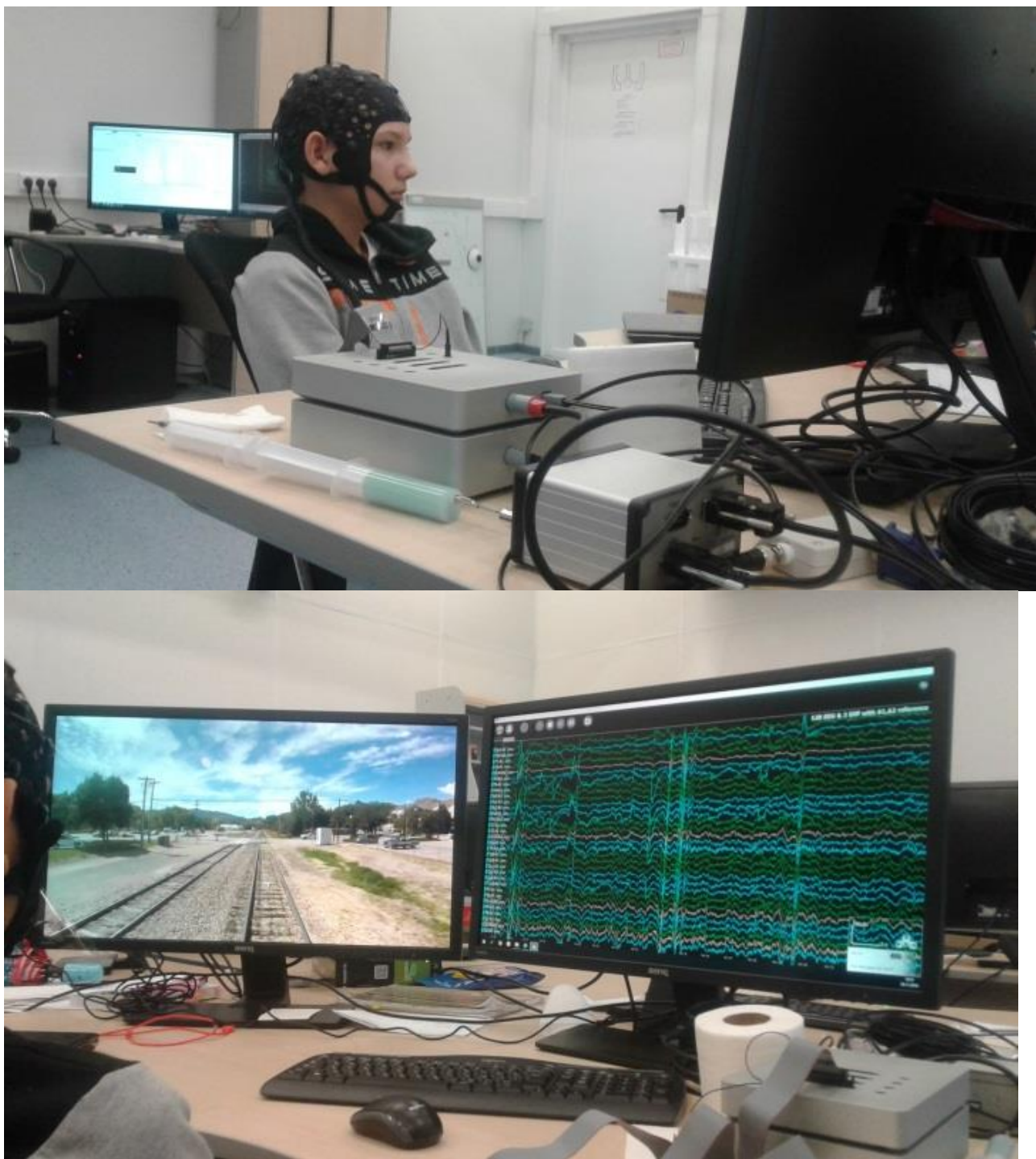


Рисунок 1. Пример экспериментальной установки с испытуемым

Таблица 1. Средняя оценка состояния испытуемого с помощью дневника (число замеров 15)

Минуты	Зевание	Вялость	Поза	Внимание	Взгляд	Мимика	Сумма	Состояние
10	0	0	0	0	0	0	0	А
20	1	0	1	0	1	0	3	А
30	1	1	1	0	2	0	5	А
40	1	0	1	1	2	1	6	П
50	1	0	2	0	2	2	7	П
60	1	1	1	1	1	2	7	П
70	1	1	1	1	1	2	7	П
80	1	1	1	1	1	2	7	П
90	1	1	1	1	2	2	8	С
100	2	1	2	1	2	2	10	С
110	2	1	2	1	2	2	10	С
120	2	2	1	1	2	2	10	С
130	2	2	2	2	2	2	12	С
140	2	2	2	2	2	2	12	С
150	2	2	2	2	2	2	12	С
160	2	2	2	2	2	2	12	С
170	2	2	2	2	2	2	12	С
180	2	2	2	2	2	2	12	С

Таблица 2. Средние значения результатов измерения пульса для разных состояний, (число замеров 15)

Минуты	Сумма	Состояние	Пульс
10	0	А	96,2
20	3	А	96
30	5	А	94,5
40	5	А	95,3
50	7	П	93,7
60	7	П	93,2
70	7	П	93,7
80	7	П	93,6
90	8	С	93,6
100	10	С	93,2
110	10	С	93
120	10	С	91,4
130	12	С	90,4
140	12	С	90,2
150	12	С	90,4
160	12	С	88,7
170	12	С	88,9
180	12	С	88,3

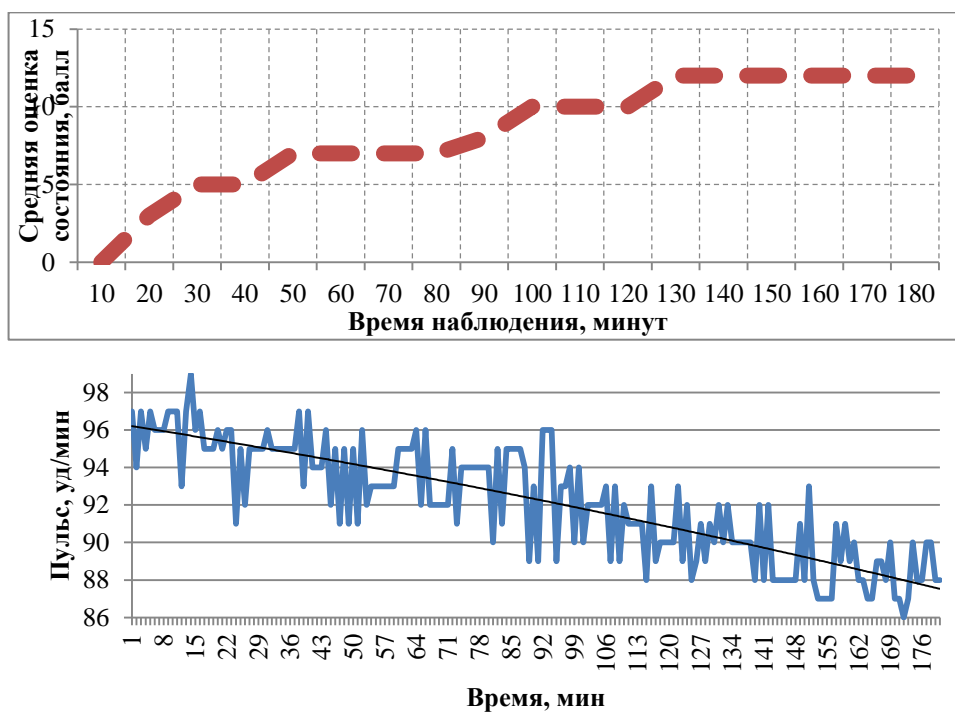


Рисунок 2. Графики зависимости измерений пульса и оценки состояния от времени

Таблица 3. Средние значения результатов измерения пульса для разных состояний, (число замеров 15)

Минуты	Состояние	Состояние	Частота морганий, раз/мин	Продолжительность закрытия глаз, мс
10	0	Активное	15	100
20	3	Активное	15	110
30	5	Активное	16	121
40	5	Активное	16	135
50	7	Пассивное	17	150
60	7	Пассивное	18	210
70	7	Пассивное	19	255
80	7	Пассивное	19	287
90	8	Сонливость	20	299
100	10	Сонливость	20	312
110	10	Сонливость	20	326
120	10	Сонливость	21	339
130	12	Сонливость	22	348
140	12	Сонливость	23	357
150	12	Сонливость	23	361
160	12	Сонливость	24	369
170	12	Сонливость	24	384
180	12	Сонливость	24	398

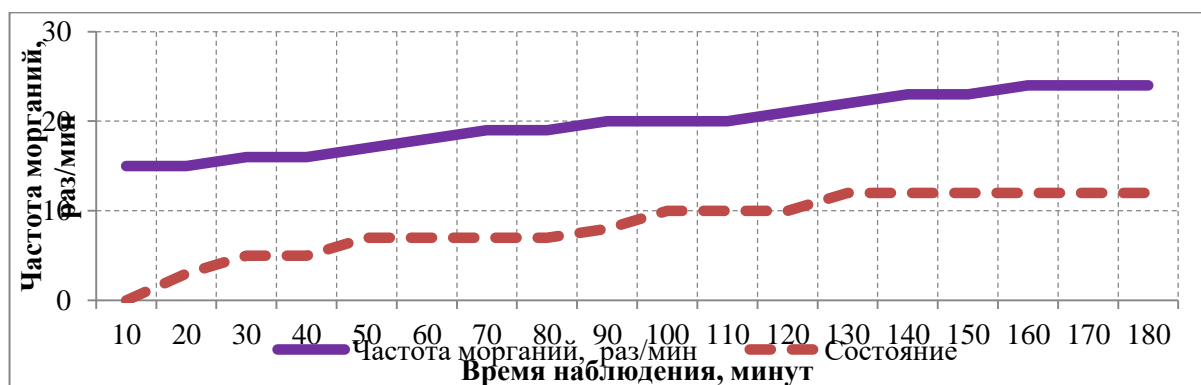


Рисунок 3. График зависимости частоты морганий и оценки состояния от времени.

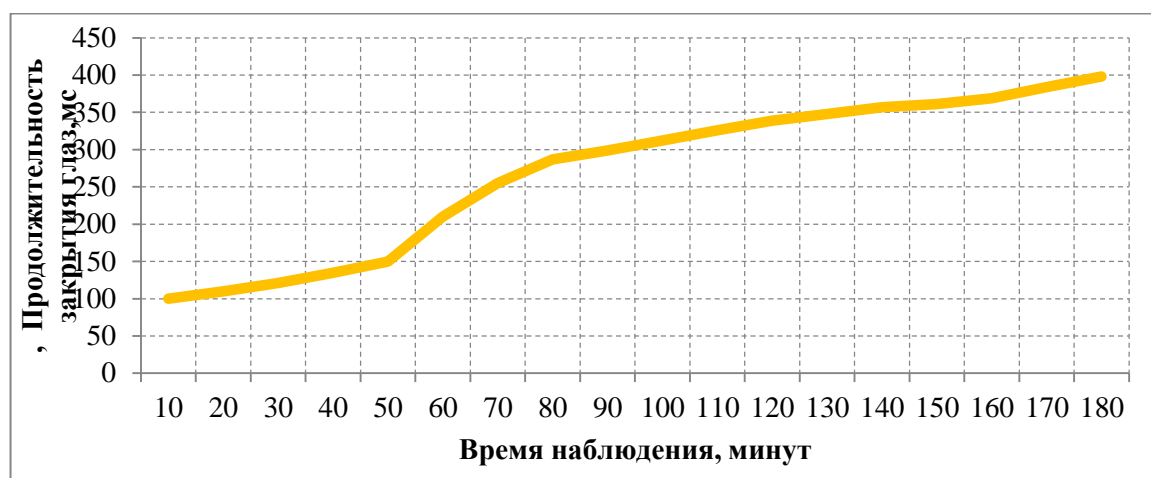


Рисунок 4. График зависимости продолжительности закрытия глаз и оценки состояния от времени

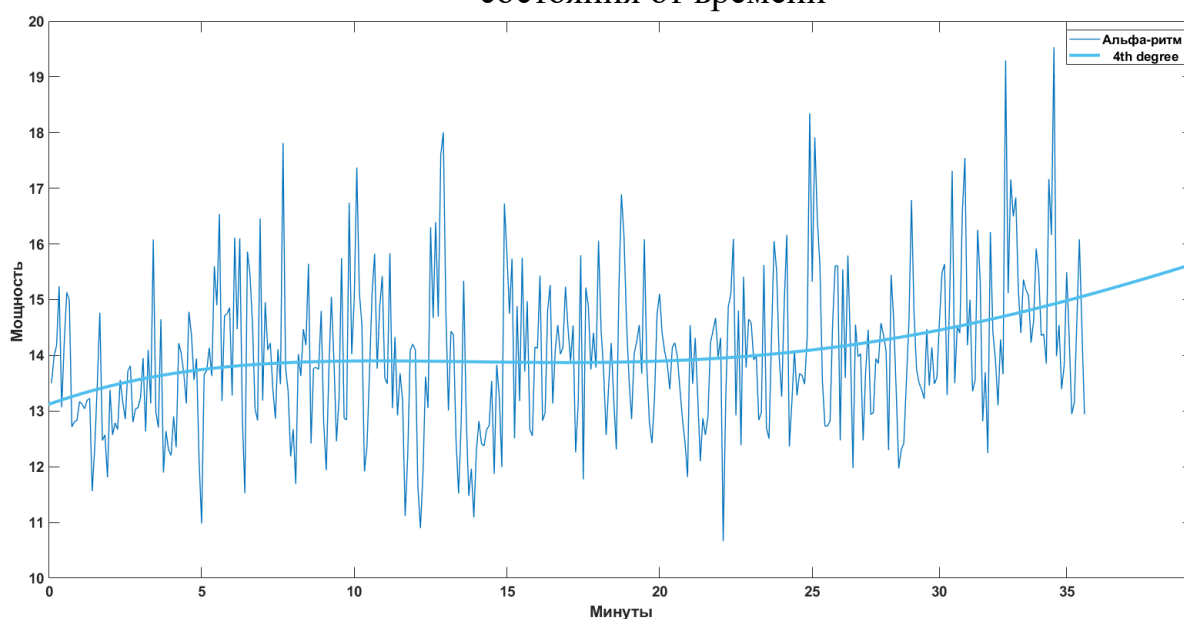


Рисунок 5. Изменение мощности альфа-ритма в течение времени

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА

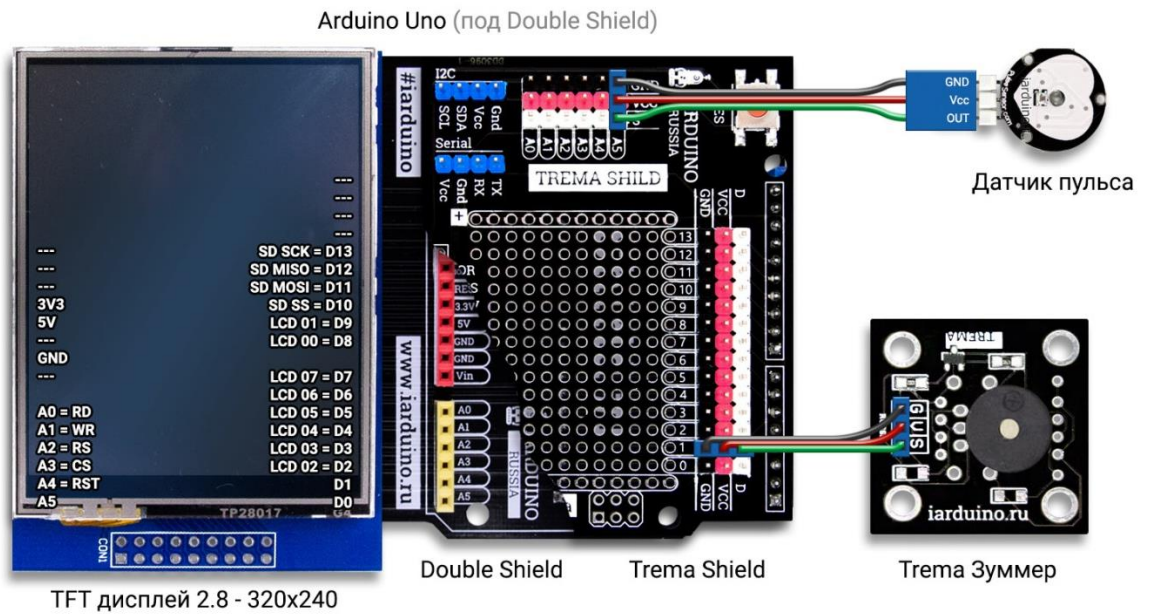
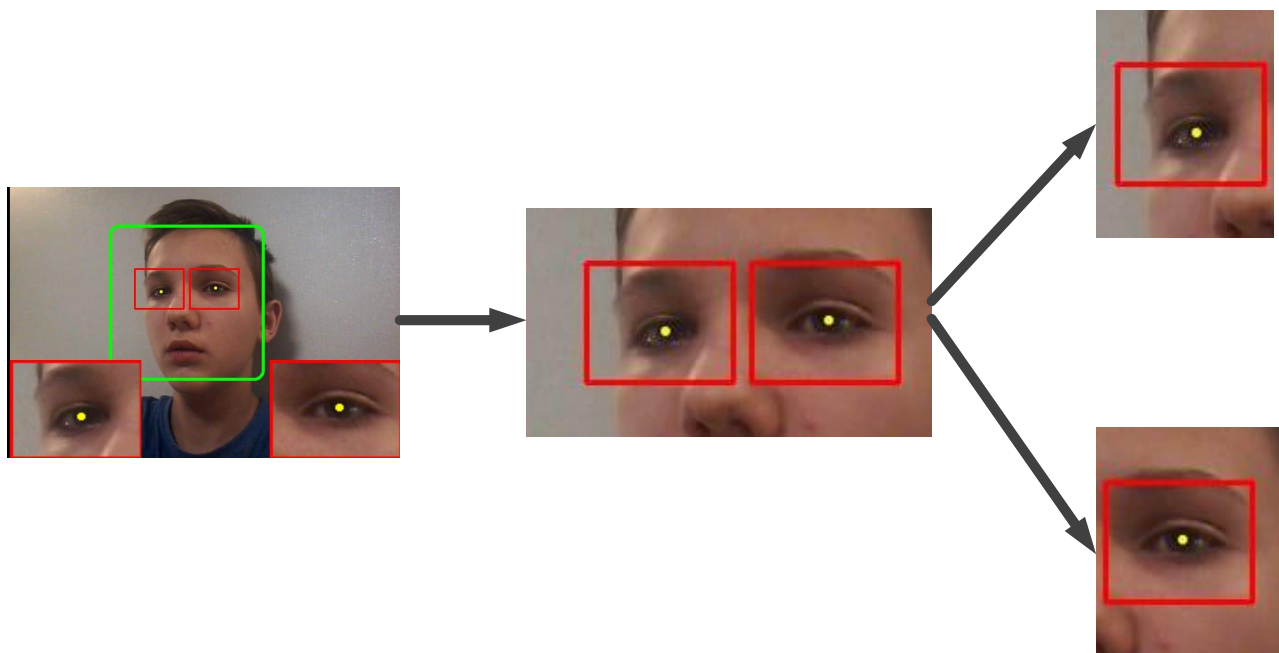
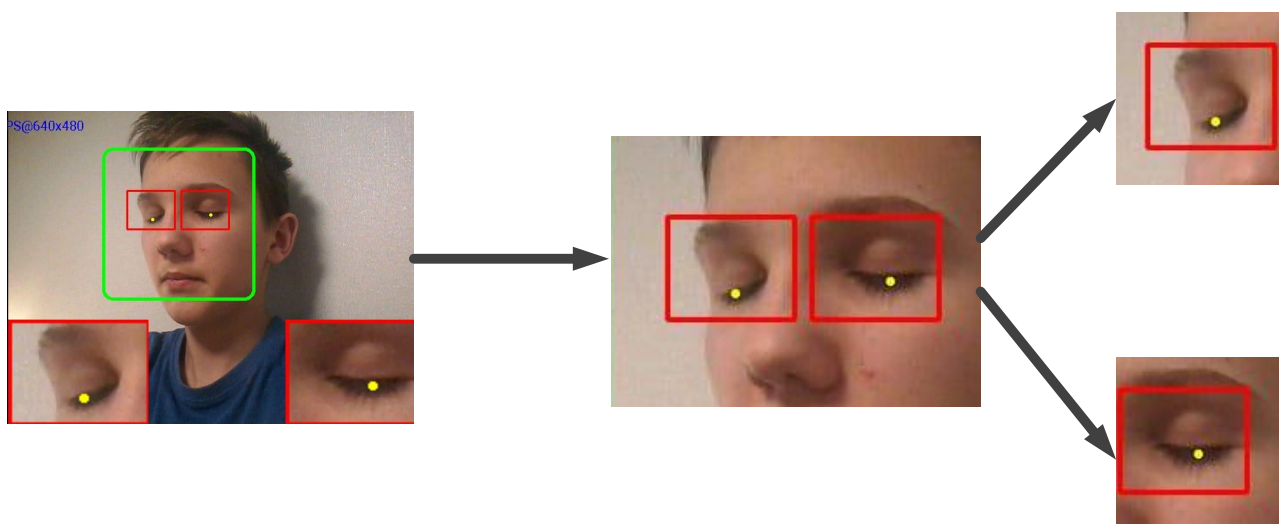


Рисунок 1. Схема подключения датчика пульса к Arduino

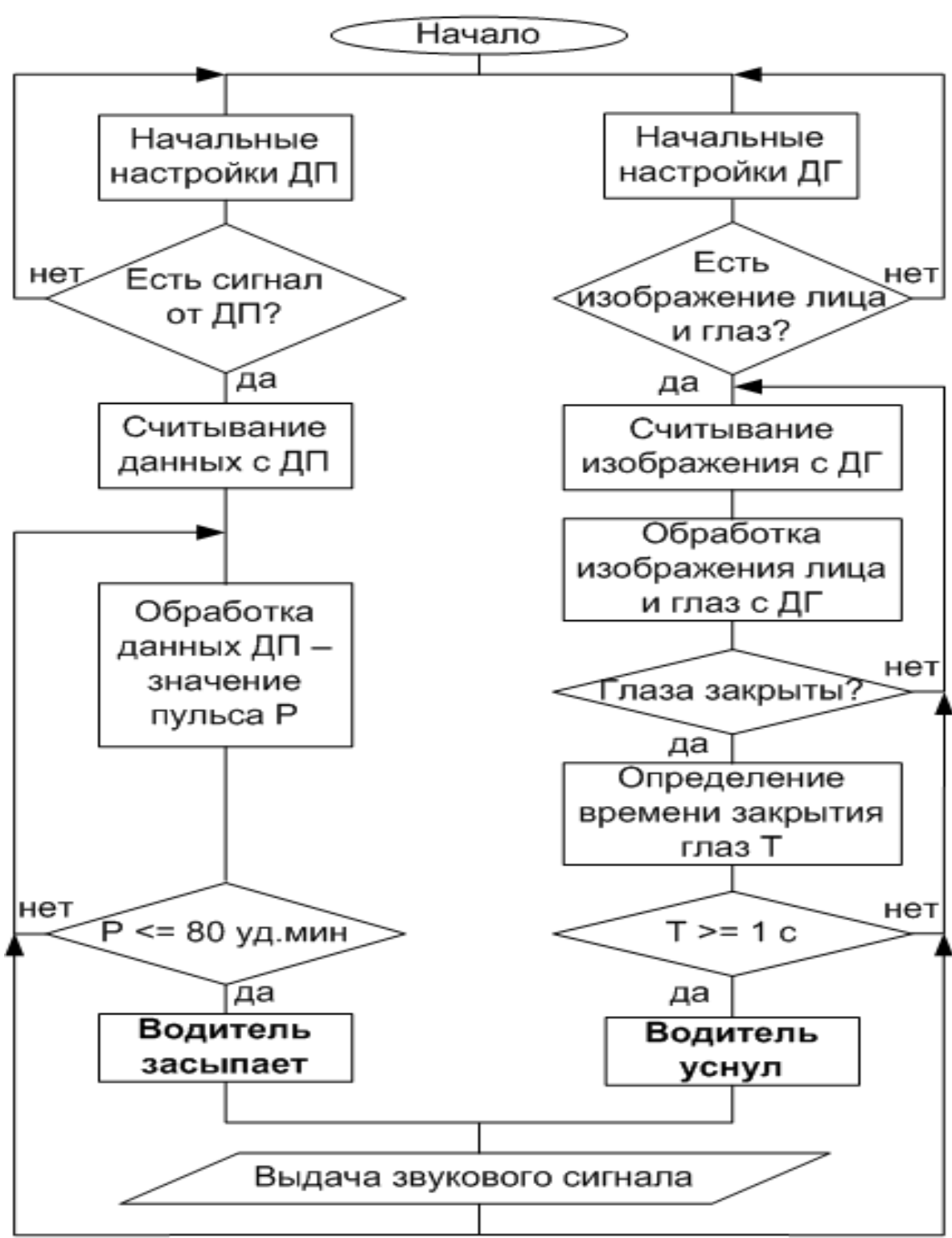


А) глаза открыты



Б) глаза закрыты

Рисунок 2. Алгоритм работы макета устройства контроля закрытия глаз



ДП- датчик пульса

ДГ- датчик глаз

Рисунок 3. Алгоритм работы устройства

Таблица. Результаты измерения пульса

Время, мин	Испытуемые									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	120	128	131	118	137	119	120	128	131	118
2	90	98	99	89	78	85	90	98	99	89
3	118	126	128	134	81	86	118	126	128	134
4	89	97	98	114	72	79	89	97	98	114
5	94	102	103	136	69	74	94	102	103	136
6	90	98	99	112	64	74	90	98	99	112
7	91	99	100	142	77	81	91	99	100	142
8	92	100	101	113	69	79	92	100	101	113
9	95	103	104	118	72	76	95	103	104	118
10	124	132	135	89	74	79	124	132	135	89
11	95	103	104	134	78	83	95	103	104	134
12	140	148	152	114	80	91	140	148	152	114
13	120	128	131	136	102	103	120	128	131	136
14	142	150	154	112	83	87	142	150	154	112
15	118	126	128	142	149	119	118	126	128	142
16	148	156	160	113	89	87	148	156	160	113
17	119	127	129	85	91	86	119	127	129	85
18	118	126	128	86	92	83	118	126	128	86
19	148	156	160	87	93	86	148	156	160	87
20	119	127	129	89	141	112	119	127	129	89
21	117	125	127	64	95	90	117	125	127	64
22	116	124	126	68	96	85	116	124	126	68
23	115	123	125	89	97	88	115	123	125	89
24	95	103	104	87	99	91	95	103	104	87
25	93	101	102	86	91	93	93	101	102	86
26	92	100	101	85	89	93	92	100	101	85
27	91	99	100	84	86	92	91	99	100	84
28	90	98	99	105	83	88	90	98	99	105
29	111	119	121	82	81	86	111	119	121	82
30	88	96	97	81	144	117	88	96	97	81
31	87	95	96	79	124	103	87	95	96	79
32	85	83	88	64	146	117	85	83	88	64
33	123	121	128	68	122	105	123	121	128	68
34	127	125	133	70	126	109	127	125	133	70
35	77	75	80	92	114	98	77	75	80	92
36	133	131	139	77	98	92	133	131	139	77
37	74	72	77	79	94	91	74	72	77	79
38	77	75	80	92	95	98	77	75	80	92
39	68	66	71	94	96	100	68	66	71	94
40	65	63	67	83	99	96	65	63	67	83
41	60	58	62	78	128	108	60	58	62	78

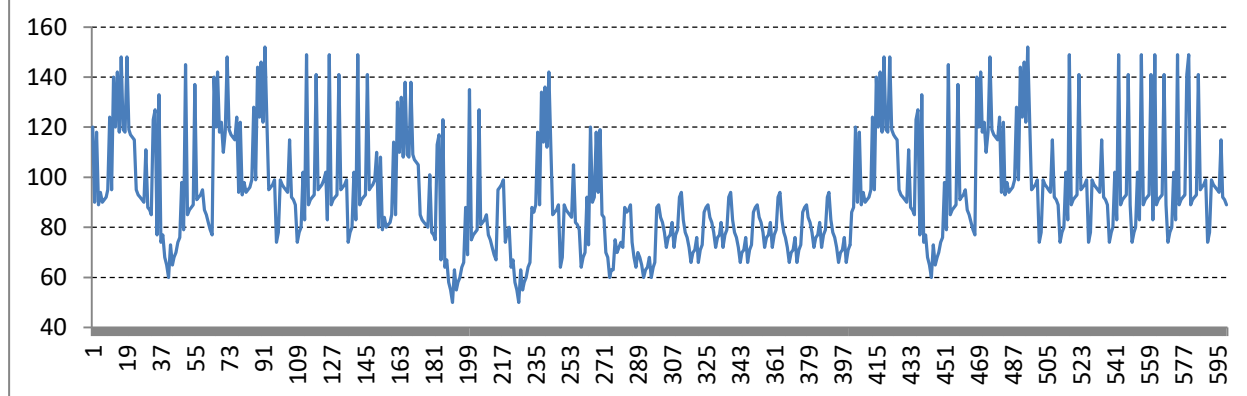


Рисунок 4. Пример графика измерения пульса (первый испытуемый)

<https://youtu.be/OBihVDZ1iI0>