

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

**Исследование аккомодационного аппарата глаза на основе анализа  
влияния визуальных стимулов на диаметр зрачка**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 4 курса 4021 группы  
направления 03.03.02 «Физика»  
профиль подготовки «Компьютерные технологии в медицинской физике»  
институт физики  
Полякова Игната Витальевича

Научный руководитель:

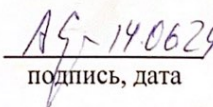
доцент, к.ф.-м.н.

  
подпись, дата

А.П. Рытик

Зав. Кафедрой  
медицинской физики,

д.ф.-м.н., доцент

  
подпись, дата

А.В. Скрипаль

Саратов 2024

## **Введение**

Настоящая бакалаврская работа посвящена изучению взаимосвязи между изменением диаметра зрачка и аккомодационным аппаратом глаза при оптическом воздействии.

Аккомодация отражает «изменение рефракции в ответ на изменение расстояния до фиксируемого объекта с целью его четкого видения» [1], то есть определяется как диоптрийное изменение оптической мощности глаза. Это изменение вызвано увеличением оптической силы хрусталика вследствие уменьшения диаметра хрусталика, увеличения осевой толщины хрусталика и увеличения кривизны передней и задней поверхностей хрусталика. Физическое изменение формы хрусталика и увеличение оптической мощности способствуют аккомодации, позволяя глазу фокусироваться на близких объектах [2].

**Актуальность** работы заключается в том, что изучение параметров аккомодации глаза имеет большое значение для понимания работы зрительной системы человека и разработки методов ее коррекции, так как нарушения аккомодации могут приводить к различным зрительным проблемам, таким как близорукость, дальновзоркость и пресбиопия [3]. Кроме того, современный образ жизни, связанный с продолжительной работой за компьютером, чтением на смартфонах и других устройствах, также оказывает негативное влияние на аккомодационную функцию глаза [4]. Изучение параметров аккомодации может помочь разработать эффективные методы профилактики и лечения зрительных проблем, связанных с длительной работой на компьютере.

**Целью** бакалаврской работы является изучение и оценка влияния различных визуальных стимулов на аккомодационный аппарат глаза, с помощью программной реализации метода измерения диаметра зрачка человека.

**Задачами** выполняемой работы являются:

1. Провести обзор актуальной научной литературы, на основе которой изучить теоретические основы механизма аккомодации глаза, рассмотреть его основные параметры и методы их измерения;

2. Разработать и провести эксперимент для исследования влияния визуальных стимулов на работу аккомодации путем фиксации изменений диаметра зрачка;

3. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы по проведенной работе.

**Структура и объем работы.** Бакалаврская работа состоит из введения, двух разделов, заключения, списка используемых источников. Работа изложена на 53 листах машинописного текста, содержит 13 рисунков и приложения с примерами кодов на языке программирования Python.

**Основное содержание работы.** Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, показана новизна и практическая значимость результатов.

**Первый раздел** состоит из двух подразделов и представляет собой обзор научной литературы, посвященный рассмотрению различных аспектов аккомодационного аппарата глаза, в том числе его структуры, функций, параметров, методов изучения и реакции на различные виды стимуляции. *Первый подраздел* посвящен научным работам, в которых приведены исследования, касающиеся основных параметров аккомодационного аппарата глаза, таких как амплитуда [4], скорость [5] и время реакции аккомодации [6], а также описываются различные методы и эксперименты, используемые для изучения данных параметров аккомодации. *Второй подраздел* посвящен реакции аккомодационного аппарата глаза на различные типы стимулов. Исследование этой темы позволяет получить более глубокое понимание процессов, включая исследования динамических изменений аккомодации под воздействием световых [7], цветовых [8] и кинематических раздражителей [9].

**Второй раздел** состоит из двух подразделов и представляет собой практическую часть исследования, направленную на анализ реакции аккомодации глаза на различные виды стимулов. Первый подраздел второго раздела включает в себя описания материалов и методики исследования.

**Материалы исследования** включают в себя окончательную выборку из десяти человек в возрасте от 19 до 22 лет, выбранных на добровольной основе из группы лиц с хорошими показателями зрения. Участникам были заданы определенные критерии, включающие отсутствие офтальмологических заболеваний, хорошую коррекцию зрения (при наличии ношения очков или контактных линз) и отсутствие предыдущих операций на глазах. Перед проведением эксперимента испытуемые получили подробный инструктаж. В инструкции были описаны цель исследования, процедура эксперимента, ожидаемые результаты и протокол действий. Эксперимент представлял собой изучение реакции аккомодационного аппарата глаза путем стимуляции его различными визуальными стимулами, а также последующей регистрацией изменений диаметра зрачка и анализом полученных результатов.

Перед началом эксперимента был установлен контрольный период: участникам предоставлено время для адаптации и установления базового состояния зрачка, также были обеспечены комфортные и стабильные условия, освещение в помещении устанавливалось однородное и нейтральное, чтобы избежать влияния внешних факторов на размер зрачка. Испытуемые были дополнительно проинструктированы по поводу необходимости поддержания спокойного и неподвижного состояния глаз во время фиксации базового состояния зрачка, а также избегания сильного фокусирования на определенные объекты или точки в пространстве. Для установления базового состояния зрачка использовались нейтральные стимулы, не вызывающие значительной реакции аккомодации, то есть изображения с однородным фоном.

**Методы исследования.** Используемые в ходе эксперимента визуальные стимулы представляли собой различные виды графических изображений: статичные объекты с отличающимся размером (имитацией нахождения на различном расстоянии от наблюдателя), анимацию смены печатных букв, движущиеся геометрические объекты, анимация смены цветов RGB и оптическая иллюзия Германа, а также световые вспышки и плавные переходы от низкой яркости к высокой. Все стимулы были реализованы с помощью языка программирования Python.

Стимуляции аккомодационного аппарата глаза проводились в течение 10-12 секунд для каждого вида стимула, поочередно и с предоставлением временных пауз в 15-30 секунд для возможности восстановления аккомодации после стимуляции, а также для исключения переходных эффектов. Для показа и реализации воздействия визуальных стимулов использовался встроенный дисплей ноутбука модели Honor MagicBook X 15. Данный дисплей, размером 15.6 дюймов, обладал достаточной разрешающей способностью и яркостью для отображения различных типов стимулов. Глаз испытуемых находился на расстоянии 50-70 сантиметров от дисплея. Фиксация изменений диаметра зрачка проводилась во время стимуляции, что позволяло получить более точные данные о реакции аккомодации на конкретные визуальные стимулы. Средством съемки глаза являлась задняя камера iPhone 11 (используемое разрешение съемки – 3840 x 2160 пикселей, частота кадров – 24 кадра/сек), закрепленного на штативе в 20-30 сантиметрах от лица участника эксперимента.

Исследование диаметра зрачка проводилось с использованием специальной программы на языке программирования Python, разработанной с целью анализа реакции аккомодации глаза на различные визуальные стимулы. Используемый код представляет собой пример программы для регистрации изменений диаметра зрачка на основе видео, а также может являться реализацией пупиллометрии — метода измерения диаметра зрачка с использованием видеозаписи и компьютерного зрения. В разработанном коде

используются библиотеки OpenCV, NumPy и Matplotlib, также он включает в себя чтение видеофайла, обработку всех кадров видеофайла, детектирование зрачка, измерение его диаметра, регистрацию значений диаметра зрачка и построение графика изменений диаметра со временем. Кроме того, программа предоставляет возможность сглаживания данных, удаления промахов и шума, что позволяет улучшить точность измерений диаметра зрачка.

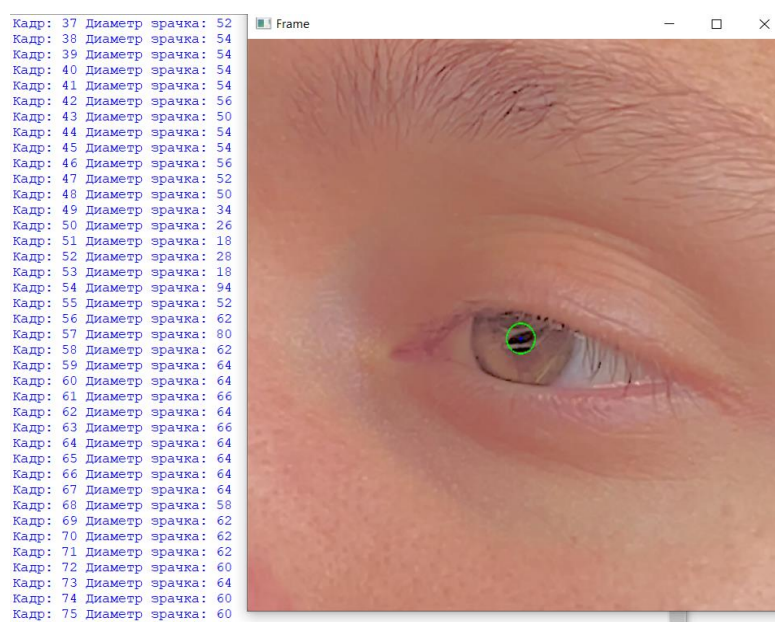


Рисунок 1 - Работа программы для фиксации изменений диаметра зрачка

Разработанный программный код позволил численно установить и вывести в текстовом формате изменения диаметра зрачка при предъявлении различных визуальных стимулов и оценить изменения некоторых параметров аккомодации глаза. После окончания расчета значений диаметра зрачка программа строит график зависимости диаметра зрачка (в пикселях) от времени (в кадрах), в соответствии с рисунком 2.

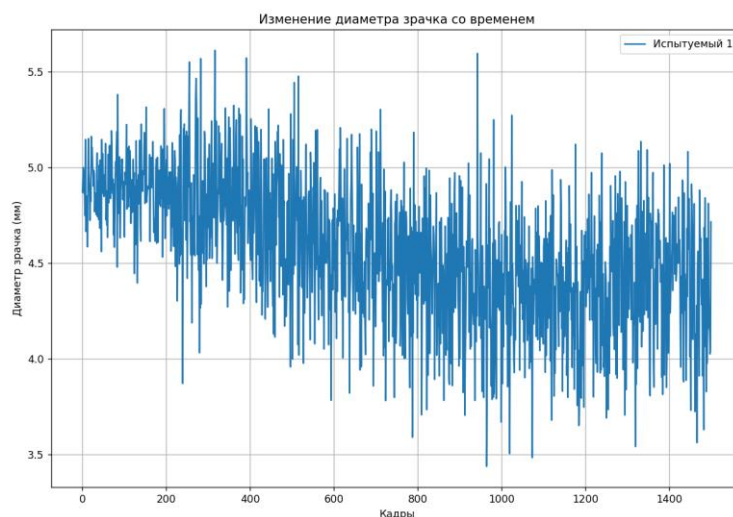


Рисунок 2 - Пример построения графика зависимости диаметра зрачка от времени на основе работы программы

Также была создана программа, которая позволяет анализировать данные, полученные в рамках проведенной пупиллометрии. Данная программа служит для чтения файлов со значениями изменений диаметра зрачка для каждого из испытуемых, сглаживания данных методов скользящего среднего, удаления аномалий во временном ряду, вычисления статистических параметров (среднее значение диаметра, стандартное отклонение и доверительный интервал), а также построение общего усредненного графика для выявления тенденций влияния конкретного стимула на аккомодационный аппарат глаза.

*Второй подраздел* представляет собой описание **результатов исследования**. После процедуры предъявления стимулов удалось изучить реакцию некоторых параметров аккомодации на каждый из выбранных типов визуальных стимулов. С помощью программной реализации метода пупиллометрии удалось построить графики зависимостей диаметра зрачка (мм) от времени (кадры), затем значения обработать, объединить для наглядной иллюстрации тенденций работы аккомодационного аппарата глаза.

Ниже представлены получившиеся графики зависимостей диаметра зрачка при предъявлении соответствующих стимулов, со средними значениями и выделенным доверительным интервалом.

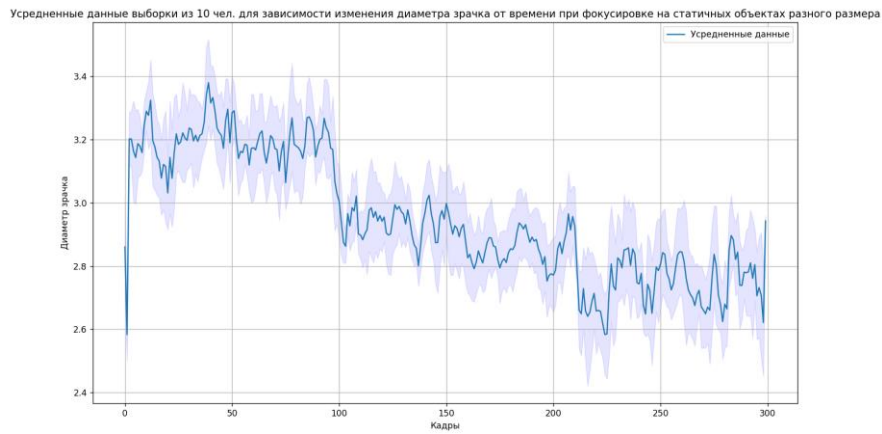


Рисунок 7 – График зависимости средних значений диаметра зрачка от времени при стимулах в виде статичных объектов разных размеров

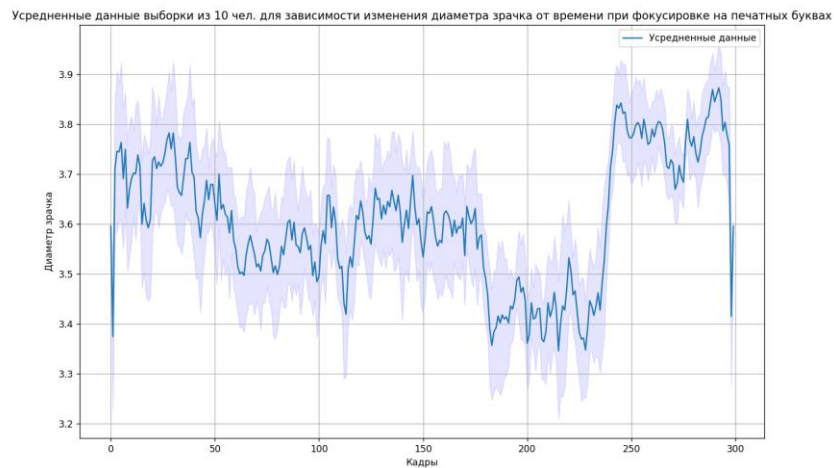


Рисунок 8 – График зависимости средних значений диаметра зрачка от времени при стимулах в виде смены печатных букв

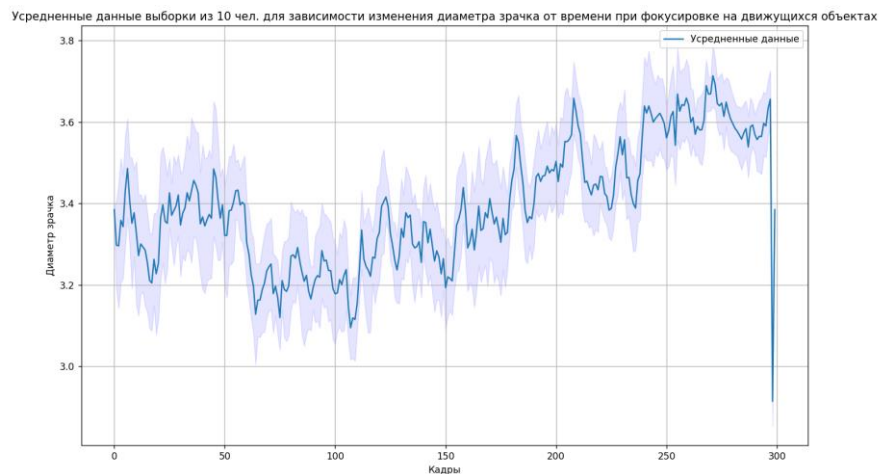


Рисунок 9 – График зависимости средних значений диаметра зрачка от времени при стимулах в виде движущихся объектов разных размеров



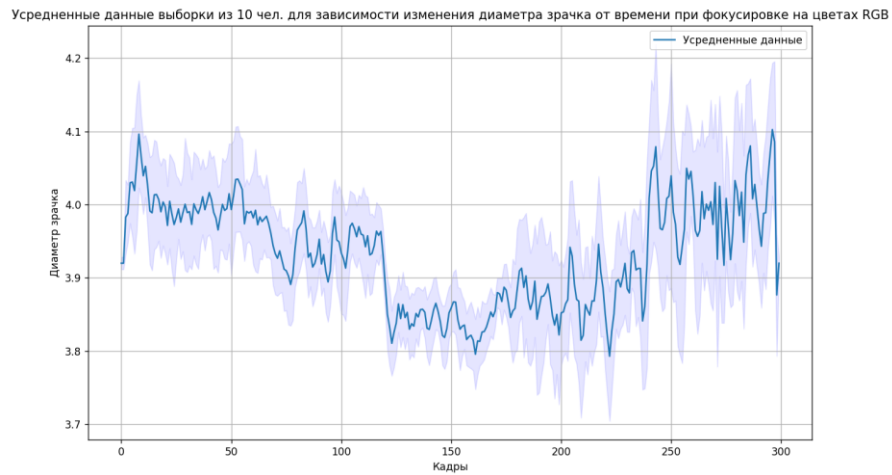


Рисунок 10 - График зависимости средних значений диаметра зрачка от времени при стимулах в виде смены цветов RGB

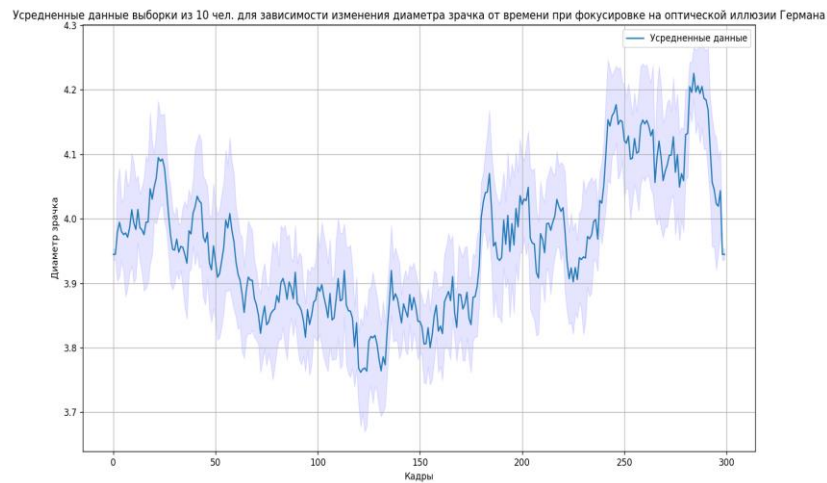


Рисунок 11 – График зависимости средних значений диаметра зрачка от времени при стимуле в виде оптической иллюзии Германа

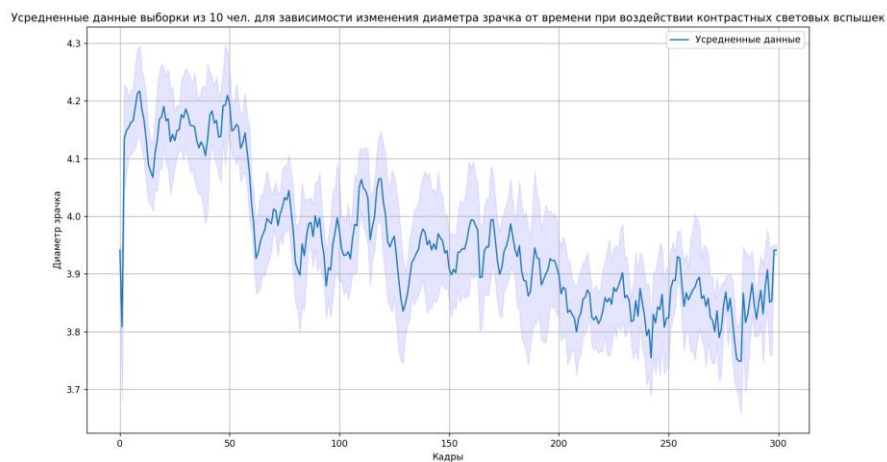


Рисунок 12 – График зависимости средних значений диаметра зрачка от времени при стимулах в виде частых контрастных световых вспышек

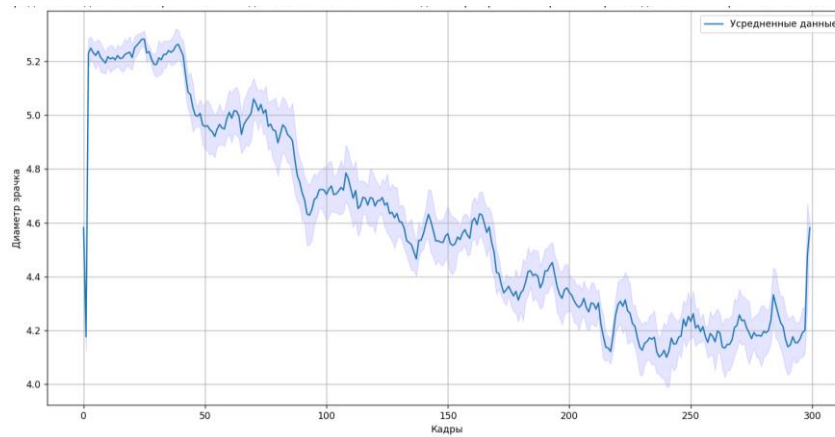


Рисунок 13 – График зависимости средних значений диаметра зрачка от времени при стимуле в виде плавного перехода уровня яркости (от низкого к высокому)

При анализе зависимостей диаметра зрачка от воздействия того или иного оптического стимула, была подтверждена взаимосвязь полученных результатов и работой аккомодационного аппарата, а также подробно описано изменение показателя диаметра зрачка, что может свидетельствовать о возможности применения пупиллометрии в областях диагностики и предупреждения глазных заболеваний, вызванных нарушениями аккомодации.

В результате исследования была получена следующая ключевая информация:

1. Зависимость от стимулов: Результаты исследования показывают, что различные виды стимулов, такие как световые модуляции, изменения яркости, динамическая смена цветов и фокусировка на объекты разных размеров, оказывают разное влияние на изменение диаметра зрачка и, тем самым, позволяют судить о работоспособности аккомодационного аппарата. Это может быть использовано в диагностической отрасли офтальмологии для прогнозирования образования миопии или в целях предупреждения о правильном функционировании зрительной системы.

2. Рефлекторные реакции: Результаты исследования подтверждают гипотезу о правилах рефлекторного изменения диаметра зрачка при

воздействии визуальных и оптический стимулов. Например, при ярких световых модуляциях зрачок сужается, чтобы ограничить проникновение света, а при переходе от темного к светлому освещению зрачок расширяется для пропуска большего количества света, что наглядно проиллюстрировано на соответствующих графиках. В дальнейшем, эти изменения и зависимости можно количественно описать в терминах световой интенсивности и скорости реакции зрачка, что может иметь важное значение для понимания фотометрических характеристик глаза.

3. Практическая применимость: Предложенная программная реализация способа пупиллометрии показала неплохие результаты в области динамического изменения значений диаметра зрачка под воздействием различных визуальных стимулов. Графики, построенные на основе полученных в ходе программ значений, были подвергнуты фильтрации, удалению зашумленности, методам статистического анализа и визуализации с помощью языка программирования Python, а также наглядно иллюстрировали реальные рефлекторные тенденции поведения аккомодационного аппарата глаза. Предложенный метод обладает неплохой точностью со статистической точки зрения, что позволяет говорить об относительно объективных результатах исследования и возможности практического применения. Средняя величина стандартного отклонения составила 0.15 мм, а средний доверительный интервал  $\pm 0.09$ . Результаты исследования, при качественной доработке методик, могут быть широко применены в медицине и науке. Например, выводы о влиянии различных оптических стимулов на аккомодационный аппарат могут быть полезны при разработке систем автоматического управления освещением и экранных технологий, адаптирующих яркость, цвет и контраст в зависимости от состояния зрачка. Это особенно актуально в условиях увеличивающейся заболеваемости близорукостью. Также результаты исследования могут способствовать созданию эргономичных условий труда и учебы,

учитывающих физиологические особенности аккомодационного аппарата глаза, что может снизить риск развития зрительных расстройств.

4. Перспективы улучшения исследования: Для повышения точности и объективности результатов в будущем следует провести исследования на более крупной выборке, а также задействовать более расширенный список визуальных стимулов. Улучшение методов съемки глаза, например, повышение частоты кадров камеры может также способствовать более детальному анализу и выявлению тонких зависимостей между визуальными стимулами и параметрами аккомодации. Важным улучшением будет разработка алгоритмы для учета индивидуальных физиологических особенностей участников исследования, в том числе с известными проблемами со зрением.

**В заключении** подводятся итоги бакалаврской работы, излагаются основные результаты. В ходе выполнения работы был проведен анализ зависимости диаметра зрачка и работы аккомодации от воздействия различных видов визуальных стимулов. Для достижения цели и выполнения задач исследования были выполнены следующие этапы: изучение научной литературы, проведение эксперимента с использованием разработанного метода пупиллометрии, анализ полученных данных и составление ключевых выводов.

Литературный обзор позволил ознакомиться с существующими исследованиями и теоретическими основами в области изучения аккомодационного аппарата глаза. Результаты обзора подтвердили наличие определенных закономерностей между визуальными стимулами и изменением диаметра зрачка, а также аккомодационной способностью глаза.

Также был проведен эксперимент и разработан программный метод реализации пупиллометрии, практическая значимость которых заключается в возможности применения в диагностике и оценке зрительных функций. Дальнейшее исследование и усовершенствование предложенной методики

открывает перспективы для ее использования в мониторинге прогрессирования глазных заболеваний, создания систем автоматического управления освещением и экранных технологий, адаптирующих яркость, цвет и контраст в зависимости от состояния зрачка. Например, мониторинг изменения диаметра зрачка, вкупе с внедрением адаптивных (с точки зрения параметров цвета и яркости) систем визуализации, может стать важным инструментом для раннего выявления или предупреждения зрительных недугов.

Таким образом, данное исследование демонстрирует значимость применения физических методов для решения биомедицинских задач и подчеркивает важность междисциплинарного подхода, объединяющего физику, биологию и медицину.

#### **Список использованных источников**

1. Шаповалов С.Л., Корнюшина Т.А. Аккомодационная способность глаза. Зрительные функции и их коррекции у детей. – Москва: Медицина, 2005.
2. Патент № 2154974 Российская Федерация. Способ определения работоспособности аккомодационного аппарата глаза у миопов / В. М. Шелудченко, М. Г. Колотов – Заявка № 97118862/14 от 21.11.1997; опублик. 27.08.2000, Бюл. № 13. Суяров, К. Т. Физика в офтальмологических исследованиях / К. Т. Суяров, Н. Р. Абдулхаликова, А. А. Исраилов // Экономика и социум. – 2022. – Т. 94, № 3. – С. 1211 – 1216.
3. Тарутта, Е.П. Новые методы объективной аккомодометрии / Е.П. Тарутта, О.Б. Филинова, Н.А. Тарасова // Российская педиатрическая офтальмология. – 2012. – № 1. – С. 45-48.
4. Особенности аккомодации глаза при чтении с экрана монитора / А.А. Андрианов [и др.] // Российский офтальмологический журнал. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 66-70.

5. Жаркова, Н. Г. Анализ изменений аккомодации и кривизны роговицы при работе на компьютере / Н. Г. Жаркова, Е. А. Шишкова // Медицинский вестник Башкортостана. – 2017. – Т. 12, № 2. – С. 69-72.

6. Патент № 2154974 Российская Федерация. Способ определения работоспособности аккомодационного аппарата глаза у миопов / В. М. Шелудченко, М. Г. Колотов – Заявка № 97118862/14 от 21.11.1997; опубл. 27.08.2000, Бюл. № 13.

7. Bharadwaj, S. R. Accommodative fluctuations, lens tension, and ciliary muscle tension / S. R. Bharadwaj, T. R. Candy, Z. Popovic // Journal of Vision. – 2011. – V. 11, № 14. – P. 3-3.

8. Косенкова, И. В. Влияние цветовой температуры и яркости светодиодных ламп на работу аккомодационного аппарата глаза / И. В. Косенкова, О. С. Иванова, О. А. Тучина // Офтальмология. – 2016. – Т. 13, № 2. – С. 41-46.

9. Ляшева, Т. А., Костин, В. В., Степанов, А. В. Анализ динамики реакции аккомодации глаза на визуальный стимул в условиях интеграции сигналов из разных сенсорных модальностей / Т. А. Ляшева, В. В. Костин, А. В. Степанов // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 3. – С. 5-14.