искусственный интеллект и принятие решении
## ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING

**УДК 004.588** **DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-6**

**Леонов А.С.**
**Осмулькевич Н.Е.**
**Самигулин Т.Р.**

# ВЫБОР ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Кронверкский пр., д. 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия**

*e-mail: alex.thunder@lut.by, chf700@yandex.ru, timursamigulin98@gmail.com*

**Аннотация**
Свет играет важную роль в жизни людей, поскольку человек вынужден находиться большую часть времени в условиях искусственного освещения. Поэтому освещение должно обеспечивать комфортные условия для работы и учебы. Многие производители светового оборудования, а также световые дизайнеры задумываются об оптимизации световой среды и функциях оборудования, которые могут повысить качество жизни человека. Для достижения этой цели проводятся исследования в области создания световых решений, отвечающих запросам различных групп населения, например, поддержка циркадных ритмов, влияние спектральных характеристик источников освещения на повышение продуктивности. Целью данной работы является рассмотрение аппаратных и программных средств, которые используются при перспективной разработке адаптивных систем освещения. В статье описаны аппаратные и программные средства, которые были использованы для определения психоэмоционального состояния пользователя при создании интеллектуальной многопользовательской адаптивной системы освещения.

**Ключевые слова**: освещение, адаптивные системы освещения, многопользовательские системы освещения, интерактивное освещение.

**Для цитирования:** Леонов А.С., Осмулькевич Н.Е., Самигулин Т.Р. Выбор программно-аппаратных средств определения психоэмоционального состояния пользователей при разработке адаптивной системы освещения // Научный результат. Информационные технологии. - Т.6, №3, 2021. - С. 40-50. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-6

**Leonov A.S.**
**Osmulkevich N.E.**
**Samigulin T.R.**

# THE CHOICE OF SOFTWARE AND HARDWARE FOR DETERMINING THE PSYCHOEMOTIONAL STATE OF USERS IN THE DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE LIGHTING SYSTEM

**Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, 49 Kronverkskiy prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia**

*e-mail: alex.thunder@tut.by, chf700@yandex.ru, timursamigulin98@gmail.com*

**Abstract**
Light plays an important role in people's lives, since a person is forced to be in artificial lighting conditions most of the time. Therefore, lighting should provide a comfortable environment for work and study. Many manufacturers of lighting equipment, and lighting designers are thinking about optimizing the lighting environment and equipment functions that can improve the quality of human life. To achieve this goal, research is being carried out in the field of creating lighting solutions that meet the needs of various groups of the population, for example, supporting circadian rhythms, the influence of the spectral characteristics of light sources on increasing

productivity. The purpose of this work is to review the hardware and software that are used in the future development of adaptive lighting systems. The article describes the hardware and software, which were used to determine the psycho-emotional state of the user when creating an intelligent multi-user adaptive lighting system.
**Keywords**: lighting, adaptive lighting systems, multi-user lighting systems, interactive lighting.
**For citation:** Leonov A.S., Osmulkevich N.E., Samigulin T.R. The choice of software and hardware for determining the psychoemotional state of users in the development of an adaptive lighting system // Research result. Information technologies. - T.6, №3, 2021. - P. 40-50. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-6

## *ВВЕДЕНИЕ*

Свет играет важную роль в жизни людей, поскольку человек вынужден находиться большую часть времени в условиях искусственного освещения. Доказано влияние света на циклы функционирования организма в разные периоды времени, начиная одним днем и заканчивая целыми сезонами, на уровни психофизиологической активности человека, его зрение и настроение [1-6]. Окружающее освещение должно обеспечивать комфортные условия для работы и учебы. Многие производители светового оборудования, а также световые дизайнеры задумываются об оптимизации световой среды и функциях оборудования, которые могут повысить качество жизни человека. Для достижения этой цели проводятся исследования в области создания световых решений, отвечающих запросам различных групп населения, например, поддержка циркадных ритмов, влияние спектральных характеристик источников освещения на повышение продуктивности. Удовлетворить данные требования возможно с помощью использования адаптивных систем освещения.

Адаптивные системы освещения (АСО) представляют собой системы, оснащенные датчиками и исполнительными механизмами, которые способны динамически адаптировать освещение к текущим условиям среды и потребностям людей. Подобные системы предвидят цели и намерения пользователя, которые могут быть определены из его действий (система видеонаблюдения, аудиозаписи) или из информации об окружающей среде (например, датчиков освещенности, давления, шума). Доступные на сегодняшний день АСО позволяют изменять настройки освещения либо в соответствии с неким сценарием, либо с настройками, заданными пользователем [10, 11].

Адаптивная система освещения осуществляет сбор многомодальной информации видео- и аудиоканалов, клавиатурного почерка, а также результатов психологических тестирований. В дальнейшем эти данные позволят сформировать базу данных для обучения системы с последующей адаптацией освещения под психоэмоциональное состояние каждого пользователя.

В результате анализа статей и патентов было выявлено, что вопрос управления АСО, которое учитывает пользовательские конфликты, остается открытым. Также нерешенной остается проблема считывания многомодальной информации о пользователях, данных о внешней среде и отслеживания динамики стрессового состояния как отдельных пользователей, так и группы людей.

В статье рассмотрена реализация экспериментального образца АСО, снятие и регистрация показателей изменения психоэмоционального состояния с помощью различных каналов многомодальной информации: аудио- и видеоканал, клавиатурный почерк, психологические тестирования.

## *МА ТЕРИ^Ы И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ*

Для реализации мониторинга влияния факторов окружающей среды и сбора данных в учебном и рабочем пространстве элементы системы должны обеспечивать сбор многомодальной информации, не отвлекая и не раздражая пользователя. На основе анализа статей были выделены следующие критерии для создания АСО [8, 9]:

1. Необходимый набор датчиков для энергоэффективного функционирования АСО;
2. Автономность функционирования системы (минимальное вмешательство пользователя для поддержания качественной работы системы);
3. Использование многомодальной информации о внешней и внутренней средах (для полной и точной оценки среды с дальнейшей адаптацией АСО);
4. Учет конфликтного поведения и стрессового состояния пользователей;
5. Интеллектуальность (самообучаемость на основе нейронных сетей) АСО;
6. Сочетание мониторинга и управления АСО (обработка и вывод многомодальной информации в адаптивных системах освещения для создания протоколов управления и самооптимизации многопользовательских систем);
7. Принятие решений на основе психоэмоционального состояния сотрудников с учетом их индивидуальных предпочтений;
8. Наличие механизмов воздействия, направленных на снижение уровня стрессового состояния сотрудников и обучающихся в процессе выполнения рабочих задач.

Последние 2 пункта возможно реализовать с помощью методов искусственного интеллекта - машинного обучения, компьютерного зрения, экспертных систем. Для определения стрессовых ситуаций среди пользователей предлагается проведение анализа данных замеров психологического состояния пользователей, тестирований акустического и визуального каналов коммуникации, а также клавиатурного почерка на основе:

1. Пакета диагностических методик психологических замеров - путем оценки статистических данных, личностных характеристик, замеров текущего психологического состояния по основным показателям;
2. Аудиоданных - путем оценки интенсивности, скорости речи, частоты основного тона, голосовой гармонизации и выявления невербальных звуков (цоканье, вздохи, паузы и т.д);
3. Видеоданных - использование алгоритмов поиска людей на изображении с последующим анализом невербальных характеристик (позы тела, движение);
4. Клавиатурного почерка - сбор данных о нажатии клавиш и движения мыши (динамика ввода, скорость ввода и т.д.).

Данный набор средств мониторинга и оценки психоэмоционального состояния пользователя позволит учесть все показатели состояния пользователя с минимальными погрешностями достоверности результатов, поскольку он учитывает как объективные, так и субъективные показатели оценки состояния человека.

## 1. Реализация АСО. Программный модуль управления системой

Текущая реализация системы с точки зрения аппаратных компонентов представлена на рисунке 1.

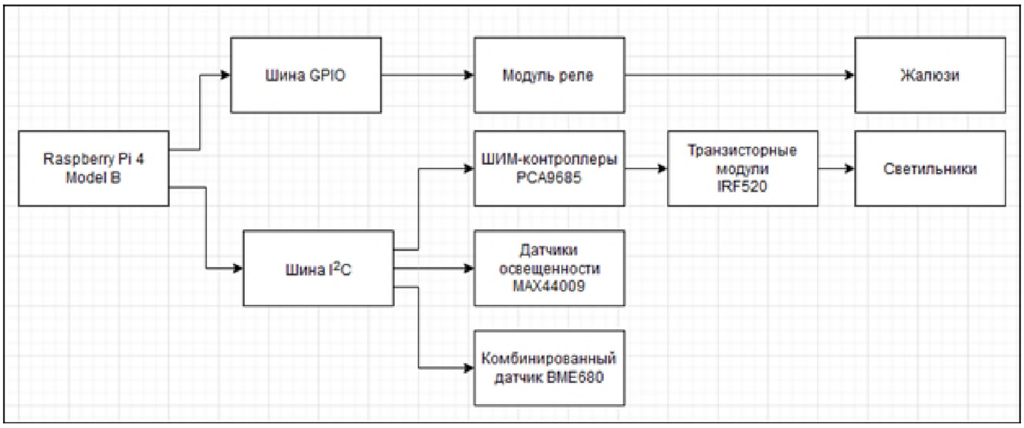


*Рис. 1.* Функциональная схема подключения оборудования
*Fig. 1.* Functional diagram of equipment connection

На основе описанных составляющих АСО для реализации системы был разработан программный модуль на языке Python, включающий в себя блоки:

1. Управление автоматическими жалюзи для создания комфортных условий освещения. В разрыв проводов питания жалюзи подключен релейный модуль, выводы которого, в свою очередь, подключены к разъемам GPIO на Raspberry. Программный модуль управления жалюзи управляет релейным модулем, который замыкает цепь, в результате чего жалюзи могут открываться и закрываться по команде. Управление осуществляется с помощью библиотеки RPi.GPIO, которая реализует взаимодействие с разъемами GPIO непосредственно из языка Python.

2. Управление уровнем освещенности и цветовой температурой светильников. Для решения задачи управления светильниками был разработан модуль управления, использующий ШИМ-сигнал для регулировки таких параметров светильников, как световой поток и цветовая температура [20].

Модуль управления состоит из двух плат ШИМ-контроллеров Adafruit PCA9685, каждая из которых имеет по 16 выходов для ШИМ-сигнала, и 24 транзисторных модулей MOSFET IRF520 - по 2 на драйвер каждого светильника, подключенных к микроконтроллеру.

Один модуль из пары отвечает за регулировку тока через светодиодные матрицы с цветовой температурой 2700 К, другой - за регулировку тока через светодиодные матрицы с цветовой температурой 6500 К. Таким образом, для каждого светильника требуется 2 выхода ШИМ-контроллера, а к каждому контроллеру можно подключить до 8 светильников. В полученной схеме к первой плате ШИМ-контроллера подключено 8 светильников, остальные 4 - ко второй.

Для регулирования параметров светильников применена схема типа «открытый коллектор». Ключ типа «открытый коллектор» подключается между -DIM и +DIM драйвера ламп, а выводы +DIM и +10V - замкнуты между собой. В такой схеме включения увеличение времени открытия транзистора приводит к снижению выходного тока.

Программное управление ШИМ-контроллерами осуществляется с помощью официальной библиотеки Adafruit_PCA9685 для Python. Параметры светильников, такие, как номера выходов ШИМ-контроллеров и номера самих контроллеров, а также информация о режимах работы, были вынесены в отдельный JSON-файл, что позволит легко добавлять новые режимы и светильники по мере необходимости.

3. Сбор данных с датчиков освещенности, газа, давления, температуры и влажности. К Raspberry Pi по интерфейсу I²C были подключены комбинированный датчик BME680 и два датчика освещенности MAX44009.

Для реализации программной составляющей процесса сбора данных на языке программирования Python были использованы примеры из открытых источников - официального GitHub-репозитория библиотеки Adafruit BME680 [6] и MAX44009 [7].

## *2. Программный модуль сбора клавиатурного почерка*

Для определения стрессовых ситуаций среди пользователей предлагается проведение анализа данных замеров психологического состояния пользователей и тестирований клавиатурного почерка на основе сбора данных о нажатии клавиш и движениях мыши (динамика ввода, скорость ввода и т.д.).

Программная часть для сбора и анализа информации клавиатурного почерка должна обеспечивать сбор данных о нажатии клавиш на клавиатуре (рисунок 2). На этой основе должны рассчитываться такие параметры, как:

1. Динамика ввода (время между нажатиями клавиш и временем их удержания);
2. Скорость ввода (результат деления количества символов на время печати);
3. Количество перекрытий между клавишами;
4. Использование клавиш для печати заглавных букв;
5. Частота возникновения ошибок при вводе.

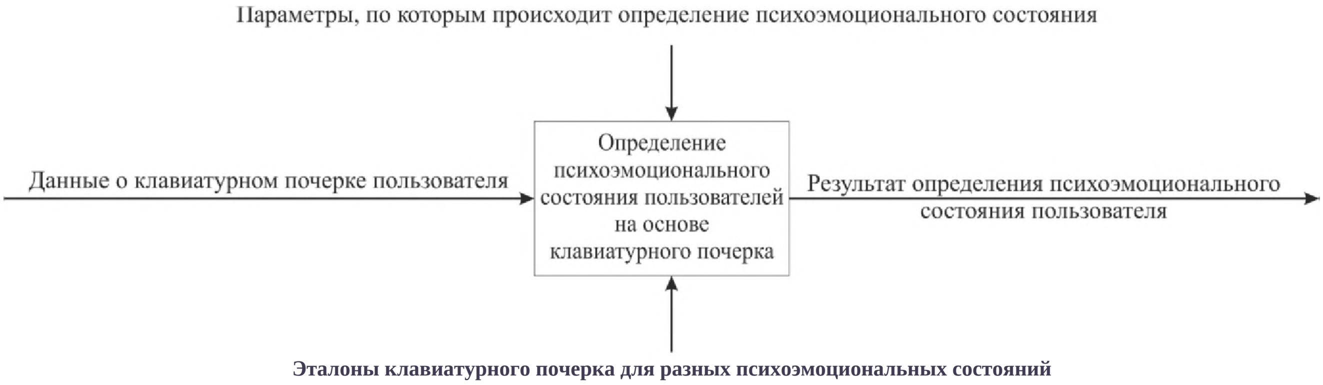


*Рис. 2.* Информационная модель определения психоэмоционального состояния пользователей на основе клавиатурного почерка
*Fig. 2.* Information model for determining the psychoemotional state of users based on keyboard handwriting

Для анализа психоэмоционального состояния пользователя необходимо определить эталонные значения (значения параметров клавиатурного почерка в спокойном (нормальном) состоянии пользователя), далее вычислить параметры клавиатурного почерка и сравнить полученные данные с эталонными значениями. Это позволит увидеть изменения в психоэмоциональном состоянии пользователя [21].

### *3. Программно-аппаратный модуль сбора аудиоданных*

Сбор аудиоданных производился с помощью четырех микрофонов которые преобразуют акустические колебания в электрический сигнал. Они имеют следующие характеристики: чувствительность -36 дБ +/- 3 дБ, 15,8 мВ/Па (10000 Гц), динамический диапазон 50-20000 Гц, соотношение сигнал/шум 73 дБ. Схема расположения микрофонов представлена на рисунке 3.

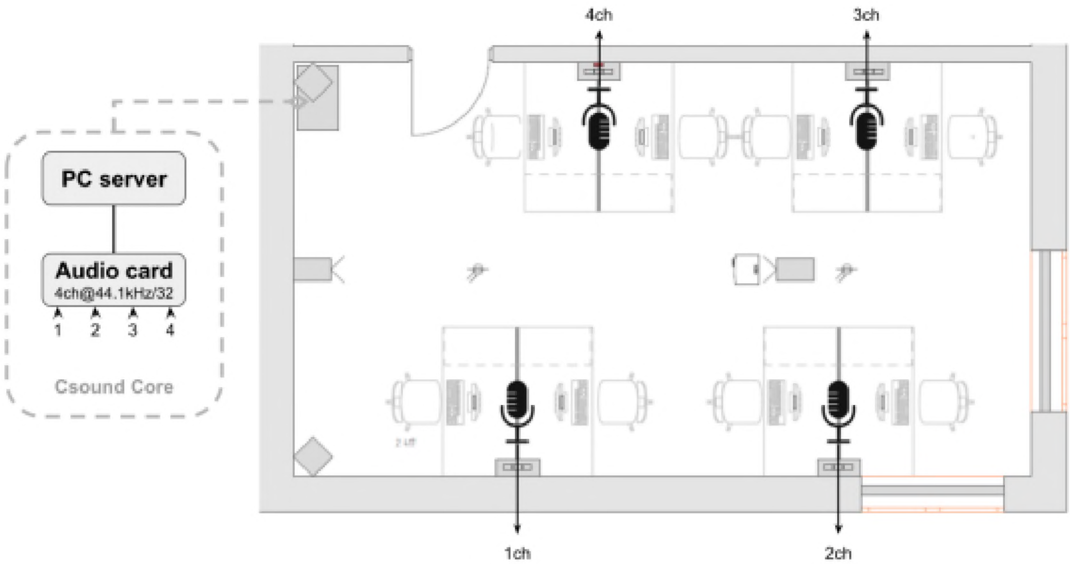


*Рис. 3.* Схема расположения микрофонов
*Fig. 3.* Microphone layout

Исходя из классификации методов, для анализа психоэмоциональной составляющей аудиопотока в данном исследовании был выбран комплекс на основе специализированного языка программирования Csound [17]. Для реализации данного комплекса предлагается использовать следующий набор методов обработки речевых аудиосигналов:

1. Мел-частотный анализ, который представляет частоты речи (в т.ч. невербальную составляющую) с позиции психоакустического параметра слуха - высоты тона. Высота тона определяет, насколько высоким или низким кажется тон слушателю.
2. Преобразование Гильберта с линейной фазой на базе дискретного преобразования Фурье. Результатом разложения сигнала по Гильберту является получение копии исходного сигнала, сдвинутой по фазе на 90 градусов. Это позволяет получить мгновенную огибающую, мгновенную частоту, мгновенную фазу или косинус фазы.

### *4. Программно-аппаратный модуль сбора видеоданных*

Сбор видеоданных производился на две купольные камеры видеокамеры для с разрешение 6 Мп, максимальное разрешение 3072 x 2048, динамический диапазон 120 дБ. РАсположение камер представлено на рисунке 4. Запись производилась в два независимых файла. Программный модуль для записи видео был реализован при помощи языка программирования Python с использованием библиотеки OpenCV.

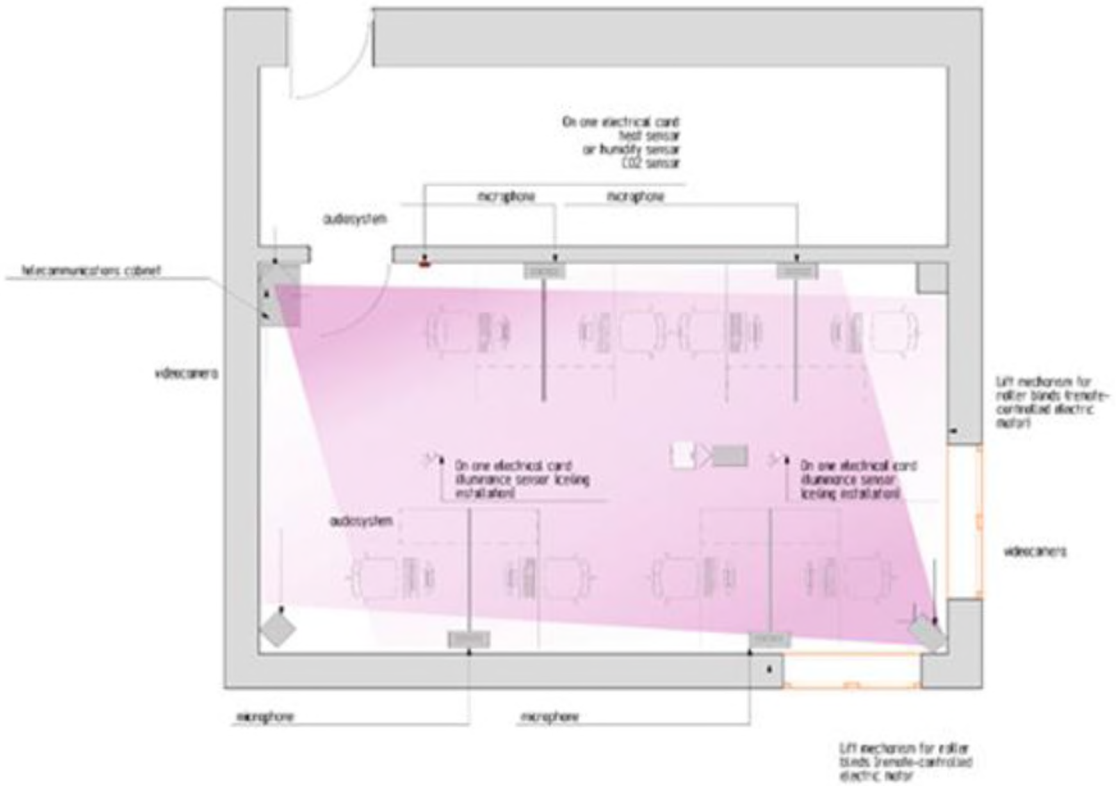


*Рис. 4.* Схема расположения камер
*Fig. 4.* The layout of the cameras

### *5. Сбор данных психологических тестирований*

Для определения психоэмоционального состояния пользователей было разработано web-приложение (рисунок 5), которое включает в себя:
1. Форму авторизации, где участник вводит в поле свои ФИО, а также выбирает свой род деятельности из выпадающего списка;
2. Возможность отображения опросов четырех различных категорий, где участнику предлагается выбрать различные варианты ответов из представленных.

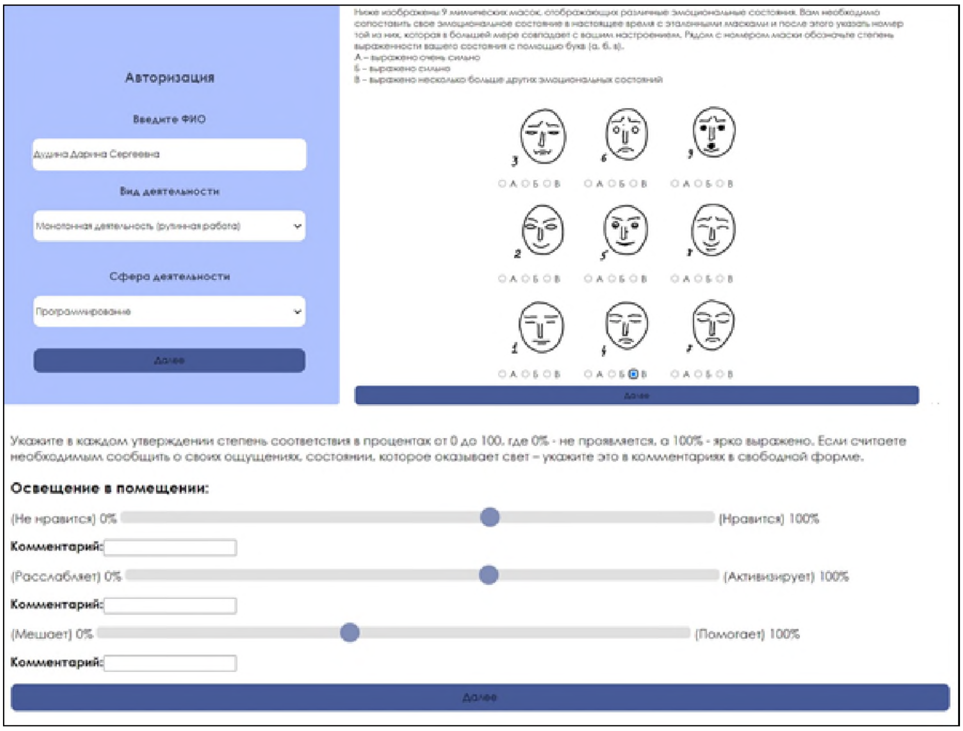


*Рис. 5.* Web-приложение для автоматизированного сбора данных о состоянии участников эксперимента
*Fig. 5.* Web application for automated collection of data on the state of the experiment participants

Web-приложение реализует так называемую клиент-серверную архитектуру, то есть имеет две части - клиентскую (фронтэнд), которая отвечает за реализацию пользовательского интерфейса, и серверную (бэкэнд), выполняющую обработку и дальнейшие операции с полученными данными. При разработке клиентской части был применен микрофреймворк Nuxt.js. Он объединяет в себе такие технологии, как Vue.js, Babel, Webpack и Bootstrap 4, что дает разработчику набор готовых решений, позволяя сосредоточиться непосредственно на разработке конечного продукта.

Бэкэнд web-приложения была разработана на языке программирования Python с применением фреймворка Flask. В качестве базы данных для хранения результатов опросов была выбрана система управления базами данных MongoDB, реализующая принципы NoSQL, что означает, что база данных состоит не из таблиц, а из коллекций.

Получая информацию о пройденных опросах от клиентской части приложения в формате JSON (JavaScript Object Notation), серверная часть реализует ее добавление в базу данных.

Для взаимодействия серверной части и базы данных использована библиотека Pymongo.

Обе части - и фронтэнд, и бэкэнд - работают на сервере в Docker-контейнерах, которые позволяют упаковать приложение со всеми его зависимостями и средой запуска в единый контейнер, давая возможность избежать проблем, связанных, например, с несоответствием версий библиотек на компьютере разработчика и конечном сервере.

## *РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ*

Был проведен эксперимент на базе научной лаборатории «Когнитивная невербалика» Национального центра когнитивных разработок Университета ИТМО, направленный на создание базы данных психоэмоционального состояния испытуемых. Группой испытуемых выступали как сотрудники и студенты Университета ИТМО, так и сторонние респонденты.

В результате данного эксперимента в рамках исследования были выявлены взаимосвязи между различными режимами освещения, психоэмоциональными состояниями пользователя и клавиатурным почерком [12-14].

Поскольку в рамках исследования клавиатурный почерк и психологическое тестирование были в приоритете, аудио- и видео каналы ушли в ограничения. Далее в статье будет рассмотрен их потенциал.

### *1. Психологическое тестирование*

После сбора данных о психоэмоциональном состоянии пользователей было произведено определение корреляции между психоэмоциональным состоянием пользователей и режимами освещения на основе результатов, полученных в ходе проведения эксперимента.

Было установлено, что что при режиме освещения с цветовой температурой 6100 К и освещенностью в 675 лк достигается максимальный уровень работоспособности и уровень активности. При режиме с цветовой температурой 2700 К и освещенностью в 275 лк выявлены минимальные значения по всем показателям в течение дня (низкий уровень оценки субъективного благополучия, работоспособности, эмоционального состояния). Режим освещения с цветовой температурой 3500 К и освещенностью в 325 лк и с цветовой температурой 4000 К и освещенностью в 300 лк был наиболее оптимальным режимом для испытуемых.

### *2. Клавиатурный почерк*

Для задач распознавания психоэмоционального состояния на основе клавиатурного почерка был выбран вероятностно-статистический подход, поскольку его преимущество состоит в возможности одновременного учета признаков различной физической природы или механизмов формирования, так как эти методы оперируют безразмерными величинами - вероятностями их появления при возникновении различных состояний системы. Для извлечения параметров клавиатурного почерка использовались программные средства распознавания нажатия клавиш, что обусловлено простотой разработки таких средств и их эффективностью для выполнения поставленных задач [15].

При сопоставлении данных клавиатурного почерка и статистически значимых данных психологических тестирований было выявлено следующее:

1. В контрольной неделе при режиме 4000 К 300 лк число ошибок и число символов за интервал времени имели максимальное значение при замере в 10:00, 13:00 и постепенно снижались к 18:00;
2. В первой экспериментальной неделе число ошибок и число символов за часовой интервал времени у пользователей был выше в дообеденное время;
3. Во второй экспериментальной неделе число ошибок и число символов за часовой интервал времени у пользователей был равномерно распределен в течение дня со снижением к вечеру;
4. В третью экспериментальную неделю число ошибок и число символов за часовой интервал времени у пользователей был выше в интервале с 11:00 до 15:00.

### *3. Потенциал аудио- и видеомодальности*

Анализируя видеомодальность, можно детектировать и отслеживать перемещение людей для сбора данных о рабочем графике пользователя с последующей адаптацией параметров освещения. Также возможен подсчёт количества человек у одного рабочего места для более гибкой настройки АСО. Расстояние, на котором возможна идентификация сотрудника, может быть ограничено радиальным искажением камеры. Данное искажение возникает из-за того, что выбрана камера широкоформатного типа. Но это можно устранить программными методами, например, повышения качества изображения при помощи технологии upscaling.

Главный интерес представляет возможность наблюдать человека в полный рост с двух ракурсов. На основе данных о положении рук, ног, наклоны тела и головы можно определить текущее психоэмоциональное состояние человека. Также можно производить оценку позы относительно другого человека. Всё это расширяет потенциал АСО [16-19].

Анализируя аудиомодальность, можно оценивать интенсивность и скорости речи, частоты основного тона, голосовой гармонизации, а также выявлять невербальные звуки (цоканье, вздохи, паузы и т.д). Также наличие нескольких микрофонов позволяет осуществить локализацию пользователя. Всё это позволит более гибко настраивать АСО.

## *ЗАКЛЮЧЕНИЕ*

В работе были рассмотрены подходы к аппаратно-программной реализации определения психоэмоционального состояния пользователей при разработке адаптивной системы освещения.

Для определения стрессовых ситуаций пользователей был предложены методы анализа данных акустического канала коммуникации, данных клавиатурного почерка, а также автоматизация пакета методик психологических тестирований.

В ходе проведения эксперимента с разработанной адаптивной системой освещения были собраны данные клавиатурного почерка и выявлена их связь с психоэмоциональными состояниями пользователя и его клавиатурным почерком, видео- и аудиоканал же ушли в ограничения в рамках данного исследования.

Дальнейшие исследования в данной предметной области можно проводить по следующим направлениям:

1. изучение влияния дополнительных характеристик и факторов окружающей среды, которые могут влиять на психоэмоциональное состояние человека;
2. изучение влияния естественного света на психоэмоциональное состояние человека;
3. проведение лонгитюдных исследований с учетом изменения сезонных характеристик естественного освещения;
4. изучение взаимосвязи аудио- и видеомодальностей;
5. изучение взаимосвязи психоэмоционального состояния и походки человека.

Данное исследование способно акцентировать внимание на взаимосвязи поведения человека, его психоэмоционального состояния и освещения. Это позволит интегрировать подобные системы с адаптивными сценариями освещения в многопользовательские пространства. АСО будут создавать комфортную и безопасную световую среду не только в образовательных учреждениях, общественных и жилых пространствах, но и, в перспективе, в городском пространстве.

## **Список литературы**

1. Павлов Д., Иванов Д., Петров В. Энергоэффективное биодинамическое освещение для использования в научных и образовательных учреждениях // Вторая Балканская молодежная конференция по освещению. 2019. С. 1-4.

2. Laushkina A.A., Roslyakova S.V., Smirnov A.V. Implementation of adaptive lighting systems to reduce stressful situations in multi-user spaces // Научный результат. Информационные технологии. - Т.5, №4, 2020. - С. 62-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-4-0-9.

3. Кузнецов Д.А., Дамм В.А., Кузнецов А.В., Басов О.О. Применение многомодальной аутентификации на объектах критической информационной инфраструктуры // Научный результат. Информационные технологии. - Т.4, №3, 2019. - С. 48-55. DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-7.

4. The impact of classroom design on pupils’ learning: Final results of a holistic, multi-level analysis / Barrett P., Davies F., Zhang Y., Barrett L. // Build. Environ. 2015. №89. C. 118-133.

5. Smolders K.C.H.J., de Kort Y.A.W. Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal // J. Environ. Psychol. 2014. №39. C. 77-91.

6. Adafruit/Adafruit_CircuitPython_BME680: CircuitPython driver for BME680 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://github.com/adafruit/Adafruit_CircuitPython_BME680, дата обращения: 10.08.2021.

7. ControlEverythingCommunity/MAX44009: Ambient Light Sensor URL: https://github.com/ControlEverythingCommunity/MAX44009 (дата обращения: 10.02.2021).

8. Roslyakova S. V. et al. Possibilities to integrate wearable biomonitoring sensors into adaptive lighting systems // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020.

9. Non Visual Effects of Light: An Overview and an Italian Experience / Fabio B., Chiara B., Ornella L.R., Laura B., Simonetta F. // Energy Procedia. 2015. №78. C. 723-728.

10. The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school / Wessolowski N., Koenig H., Schulte-Markwort M., Barkmann C. // Journal of Environmental Psychology. 2014. №39. C. 101-108.

11. Barkmann C., Wessolowski N., Schulte-Markwort // Applicability and efficacy of variable light in schools. Physiology & Behavior. 2012. №105(3). C. 621-627.

12. Choi K., Suk H.-J. Dynamic lighting system for the learning environment: Performance of elementary students // Opt. Express. 2016. №24.

13. Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort / Kompier M.E., Smolders K.C.H.J., Lichtenbelt W.D. van Marken, de Kort Y.A.W. // Physiology & Behavior. 2020.

14. Smart Lighting Market by Offering (Hardware: Lights & Luminaires, Lighting Controls; Software, and Services), Communication Technology (Wired and Wireless), Installation Type, End-use Application, and Geography - Global Forecast to 2025 [Feb 2020]. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-lighting-market-985.html?gclid=CjwKCAjwztL2BRATEiwAvnALcqOgHtzS5AmqLO3NDuyXJP5ZVjIH_4yMCZDuFa2Rd6IWwBV2Gj6QkBoC-KcQAvD_BwE (дата обращения 10.08.2021).

15. Patent Netherlands № 2017111815, 05.08.2015. Resolution of conflicts// Patent of the Netherlands № 10.10.2018 Bulletin № 28. / Nolan Julian Charles, Laurenson Matthew John [etc.].

16. US Patent № 2011145306/07, 29.03.2010 Smart Lighting Control System // US Patent № 20.05.2013 Bulletin № 14. // Klasmann Donald Louis, Murphy Michael Sean.

17. The patent of the Russian Federation № 2018145895, 21.12.2018 System of adaptive functioning of light emitting devices // The patent of Russia № 22.06.2020 Bul. № 18. // R.K. Gereikhanov // Patent of Russia № 22.06.2020 Bulletin № 18

18. Netherlands Patent № 2017110407, 31.08.2015 The way of management of the lighting system, computer software product, portable computing device and set of lighting system // Netherlands Patent № 03.10.2018 Bulletin № 28 / Mace-on Jonathan David, Shraibi Sanae [etc.].

19. Baoshi Sun, Qiaoli Zhang, Shi Cao. Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020.

20. Choi K., Shin C., Kim T. et al. Awakening effects of blue-enriched morning light exposure on university students' physiological and subjective responses // 2019. №9. C. 345.

21. Keystroke/mouse usage based emotion detection and user identification / Shikder R., Rahaman S., Afroze F. and A.B.M.A. Al Islam // 2017 International Conference on Networking, Systems and Security (NSysS). 2017.C. 96-104.

## References

1. Pavlov D., Ivanov D., Petrov V. Energy-efficient biodynamic lighting for use in scientific and educational institutions // The second Balkan Youth Conference on Lighting. 2019. P. 1-4.

2. Laushkina A.A., Roslyakova S.V., Smirnov A.V. Implementation of adaptive lighting systems to reduce stressful situations in multi-user spaces // Research Result. Information Technologies. T.5, №4, 2020. - P. 62-69. DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-4-0-9.

3. Kuznetsov D.A., Damm V.A., Kuznetsov A.V., Basov O.O. Application of multimodal authentication at critical information infrastructure facilities // Research Result. Information Technologies. - T.4, №3, 2019. - P. 48-55. DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-3-0-7.

4. The impact of classroom design on pupils' learning: Final results of a holistic, multi-level analysis / Barrett P., Davies F., Zhang Y., Barrett L. // Build. Environ. 2015. №89. P. 118-133.

5. Smolders K.C.H.J., de Kort Y.A.W. Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal // J. Environ. Psychol. 2014. №39. P. 77-91.

6. Adafruit/Adafruit_CircuitPython_BME680: CircuitPython driver for BME680 URL: https://github.com/adafruit/Adafruit_CircuitPython_BME680 (date access: 10.08.2021).

7. ControlEverythingCommunity/MAX44009: Ambient Light Sensor URL: https://github.com/ControlEverythingCommunity/MAX44009 (date access: 10.02.2021).

8. Roslyakova S. V. et al. Possibilities to integrate wearable biomonitoring sensors into adaptive lighting systems // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020.

9. Non Visual Effects of Light: An Overview and an Italian Experience / Fabio B., Chiara B., Ornella L.R., Laura B., Simonetta F. // Energy Procedia. 2015. №78. P. 723-728.

10. The effect of variable light on the fidgetiness and social behavior of pupils in school / Wessolowski N., Koenig H., Schulte-Markwort M., Barkmann C. // Journal of Environmental Psychology. 2014. №39. P. 101-108.

11. Barkmann C., Wessolowski N., Schulte-Markwort // Applicability and efficacy of variable light in schools. Physiology & Behavior. 2012. №105(3). P. 621-627.

12. Choi K., Suk H.-J. Dynamic lighting system for the learning environment: Performance of elementary students // Opt. Express. 2016. №24.

13. Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort / Kompier M.E., Smolders K.C.H.J., Lichtenbelt W.D. van Marken, de Kort Y.A.W. // Physiology & Behavior. 2020.

14. Smart Lighting Market by Offering (Hardware: Lights & Luminaires, Lighting Controls; Software, and Services), Communication Technology (Wired and Wireless), Installation Type, End-use Application, and Geography - Global Forecast to 2025 [Feb 2020]. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/smart-lighting-market-985.html?gclid=CjwKCAjwztL2BRATEiwAvnALcqOgHtzS5AmqLO3NDuyXJP5ZVjIH_4yMCZDuFa2Rd6IWwBV2Gj6QkBoC-KcQAvD_BwE (date access: 10.08.2021).

15. Patent Netherlands № 2017111815, 05.08.2015. Resolution of conflicts// Patent of the Netherlands № 10.10.2018 Bulletin № 28. / Nolan Julian Charles, Laurenson Matthew John [etc.].

16. US Patent № 2011145306/07, 29.03.2010 Smart Lighting Control System // US Patent № 20.05.2013 Bulletin № 14. // Klasmann Donald Louis, Murphy Michael Sean.

17. The patent of the Russian Federation № 2018145895, 21.12.2018 System of adaptive functioning of light emitting devices // The patent of Russia № 22.06.2020 Bul. № 18. // R.K. Gereikhanov // Patent of Russia № 22.06.2020 Bulletin № 18

18. Netherlands Patent № 2017110407, 31.08.2015 The way of management of the lighting system, computer software product, portable computing device and set of lighting system // Netherlands Patent № 03.10.2018 Bulletin № 28 / Mace-on Jonathan David, Shraibi Sanae [etc.].

19. Baoshi Sun, Qiaoli Zhang, Shi Cao. Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020.

20. Choi K., Shin C., Kim T. et al. Awakening effects of blue-enriched morning light exposure on university students' physiological and subjective responses // 2019. №9. P. 345.

21. Keystroke/mouse usage based emotion detection and user identification / Shikder R., Rahaman S., Afroze F. and A.B.M.A. Al Islam // 2017 International Conference on Networking, Systems and Security (NSysS). 2017. P. 96-104.

**Леонов Александр Сергеевич, инженер Национального центра когнитивных разработок, магистрант 2 курса программы Интеллектуальные технологии в телекоммуникациях**

**Осмулькевич Никита Евгеньевич, инженер Национального центра когнитивных разработок, магистрант 1 курса программы Интеллектуальные технологии в телекоммуникациях**

**Самигулин Тимур Русланович, инженер Национального центра когнитивных разработок, магистрант 2 курса программы Финансовых технологий больших данных Факультета цифровых трансформаций**

**Leonov Aleksandr Sergeevich, engineer, National Center for Cognitive Development, 2-year master's student of the Intelligent Technologies in Telecommunications program**

**Osmulkevich Nikita Evgenievich, engineer, National Center for Cognitive Development, 1-year master's student of the Intelligent Technologies in Telecommunications program**

**Samigulin Timur Ruslanovich, engineer, National Center for Cognitive Development, 2-year master's student of the Big Data Financial Technologies program of the Faculty of Digital Transformation**