

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С УЧЕТОМ КОГНИТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Е. Р. Зяблова^[0000-0002-1321-883X]

Южный федеральный университет, г. Таганрог, Россия

ermuntyan@sfedu.ru

Аннотация

Рассмотрен подход к разработке интеллектуальной системы управления освещенностью рабочего пространства, корректирующей интенсивность света на основе анализа когнитивного состояния пользователя. Адаптация освещения осуществляется в реальном времени с использованием данных нейроинтерфейса BrainBit EEG Waves для регистрации электроэнцефалографии (ЭЭГ). С помощью спектрального анализа ЭЭГ устанавливаются показатели концентрации внимания и эмоционального расслабления, которые используются как управляющие параметры для умной лампы. В качестве умной выбрана лампа Yeelight LED Bulb W3. Управление освещением осуществляется локально, по протоколу LAN Control без передачи данных в облачные сервисы. Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность системы, низкую задержку реакции и повышение субъективного комфорта пользователя. Разработанная система может быть использована для повышения эффективности образовательного процесса студентов.

Ключевые слова: интеллектуальное освещение, когнитивные характеристики, информационные потоки, нейроинтерфейс BrainBit EEG Waves, адаптивная среда, умный дом.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе цифровой трансформации инженерное образование сопровождается активным внедрением интеллектуальных информационных технологий, направленных на повышение эффективности учебного процесса и формирование профессиональных компетенций обучающихся.

Современное образование требует от студентов длительной концентрации внимания, работы с выполнением сложных аналитических и проектных задач.

При таких условиях особое значение приобретают характеристики образовательной среды, в частности параметров освещения в рабочих зонах.

Было установлено, что характеристики искусственного освещения оказывают существенное влияние на психофизиологическое состояние человека, уровень утомляемости и когнитивную продуктивность [1].

Цветовая температура и интенсивность света способны изменять функциональное состояние центральной нервной системы, воздействуя на циркадные ритмы и механизмы регуляции бодрствования [2, 3].

Большинство существующих систем управления освещением использует статические сценарии или ориентируется на внешние параметры среды, без учета особенностей пользователя [4, 5]. Задача учета персональных характеристик пользователей при проектировании систем управления освещением позволяет открыть перспективы создания нейроадаптивных решений, предназначенных для управления элементами образовательной и трудовой обстановки.

Интересно исследовательское направление, связанное с использованием графовых подходов для решения поставленной задачи. Так, например, в работе [6] предложено использование графового подхода для моделирования различных сценариев освещенности в заданном уличном пространстве, что позволяет уменьшить сложность алгоритмов управления. Авторы представили результаты, показывающие, что использование данного подхода значительно упрощает построение алгоритмов, основанных на задании правил для управления искусственным освещением с использованием технологий искусственного интеллекта.

В статье [7] предложена интеграция метода излучательности в архитектуру кадрового орграфа с целью оптимизации потребления памяти графического процессора. Однако предложенные графовые модели не допускают разнотипность связей и/или вершин графа. В работе [8] дано описание нечеткого графа с разнотипными вершинами и множественными разнотипными связями, показаны преимущества его использования, в частности снижение времени анализа системы.

Необходимость использования таких моделей возникает при решении практических задач в сложных организационно-технических системах (см.

например, [9, 10]). Следует отметить, что применение таких графов для разработки интеллектуальной системы управления освещенностью пока является перспективным направлением и лежит за рамками настоящей работы.

Анализ опубликованных результатов исследований в области решения задачи управления освещенностью показал, что известные разработки не позволяют учесть когнитивные особенности пользователей.

Настоящее исследование направлено на создание адаптивной системы регулирования уровня освещения, опирающейся на анализ познавательных особенностей конкретного пользователя, и подтверждение ее пригодности для внедрения в учебные программы инженерной подготовки.

Учет когнитивных особенностей пользователя при реализации интеллектуальной системы управления освещенностью рабочего пространства составляет новизну предложенного подхода [5].

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА КОГНИТИВНЫЕ СОСТОЯНИЯ

Этапы эволюции систем управления освещением представлены на рис. 1. На этапе механического контроля использовались выключатели с ручным управлением.

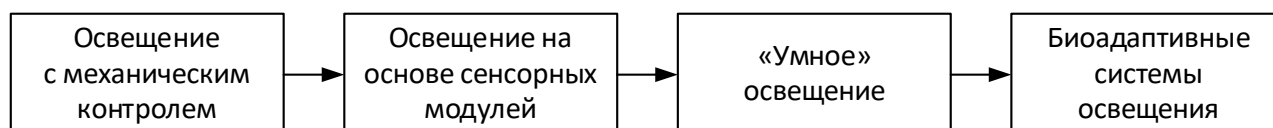


Рис. 1. Эволюция систем управления освещением: от автоматизации к персонализации.

Внедрение сенсорных модулей, фиксировавших перемещение людей и интенсивность естественного света, обеспечило возможность самодействующего управления освещением, свет запускался при регистрации присутствия и прекращался, когда внешний поток света достигал требуемой яркости. В описанный период такие решения начали функционировать без постоянного вмешательства оператора, однако их архитектура и набор функций оставались достаточно элементарными.

Использование сетевых IoT-систем и распространение протоколов Wi-Fi, Zigbee и Bluetooth привели к появлению «умного» освещения. Устройства объ-

единили в сети, управляемые через мобильные приложения или голосовых ассистентов, что позволило создавать сложные сценарии и расписания. Процесс освещения перестал относиться только к эксплуатационным задачам. В настоящее время свет представляет собой средство дистанционной модуляции нервных процессов.

Новый этап развития освещения ориентирован на внедрение биоадаптивных решений с применением биологических петель обратной связи. В подобных разработках функция управляющего сигнала возлагается на физиологические маркеры самого человека. В качестве таких маркеров могут выступать простые индикаторы, например пульс или изменения электрической проводимости кожи, а также более сложные и содержательные показатели, регистрируемые при записи электроэнцефалограммы (ЭЭГ). ЭЭГ обеспечивает непосредственный доступ к динамике мозговых ритмов и позволяет с большой точностью определять актуальную степень умственной активности [3].

Эмпирические данные свидетельствуют о том, что световые импульсы прицельно трансформируют психофизиологический профиль человека, отражаясь на эмоциональном тоне, устойчивости внимания и циркадных ритмах. Наблюдение о том, что оптические стимулы воздействуют не только на органы зрения, но и на мозговые сети, стало катализатором междисциплинарных работ, объединяющих разработки в области светотехники и нейронауки [1].

На физиологическом уровне наивысшая чувствительность нервной регуляторной системы человека проявляется в реакции на два базовых параметра освещенности:

- температуру цветового восприятия (измеряется в единицах Кельвина, К);
- распределение мощности по длинам волн.

Эти свойства света влияют не только на зрительную обработку информации, но и активируют незрительные биологические процессы, которые изменяют физиологическое состояние человека.

Параметры искусственного освещения выступают в роли определяющего фактора, модифицирующего показатели умственной активности человека. При сочетании повышенной световой интенсивности с более холодным цветовым

спектром (4000–6500 К) наблюдаются рост уровня бдительности, ускорение ответов и улучшение способности к сосредоточению. Для обстановки, ориентированной на расслабление и уменьшение уровня эмоциональной напряженности, оптимальными считаются теплые оттенки в диапазоне 2700–3500 К [3, 11].

Все выше отмеченное приобретает особую значимость в сфере подготовки инженеров, обучающимся часто приходится выполнять задания, связанные с большой интеллектуальной нагрузкой, такие как разработка программного обеспечения, построение моделей в CAD-пакетах, изучение документации по техническим вопросам и задачи оптимизации и др. Обеспечение должного уровня фокусировки и снижение вероятности ранней утомляемости являются определяющими условиями повышения эффективности учебного процесса.

Записи ЭЭГ принимают за объективный ориентир при индивидуальной подстройке параметров световой среды. Спектральное распределение мощности в этих записях отражает степень текущей познавательной активности. Доминирование бета-ритмов в интервале 13–30 Гц обычно сопряжено с интенсивной мыслительной работой и усиленной концентрацией внимания. При снижении когнитивной нагрузки и переходе к расслаблению увеличивается энергия в альфа- (8–13 Гц) и тета-диапазонах (4–8 Гц) [4, 12].

Применение показателей ЭЭГ в системах контроля микросреды открывает возможность внедрения подходов, обеспечивающих объективность и персональную адаптацию при корректировке параметров освещения [13, 14]. В противоположность принятым статичным стандартам яркости, характерным для многих учебных помещений, рассматриваемая технология ориентируется на текущую степень когнитивной активности отдельного обучающегося в режиме онлайн.

Разработанная адаптивная система регулирования освещения выполняет роль целенаправленного обучающего ресурса. Она нацелена на сохранение стабильной концентрации при решении сложных инженерных задач и уменьшение вероятности умственной усталости во время продолжительной работы за компьютером. Система помогает обучающимся развивать когнитивные навыки, включая осознание собственного состояния и понимание того, как окружение влияет на их продуктивность. Она также способствует становлению профессиональных

компетенций в сфере человеко-компьютерных интерфейсов и нейроадаптивных решений.

Внедрение таких технологий в систему обучения согласуется с положениями метода, ориентированного на когнитивные процессы при формировании учебной среды. При этом возникают дополнительные возможности для повышения уровня подготовки инженеров в условиях цифровых преобразований.

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Развернутое решение действует в единственном процессе на отдельном вычислительном узле, например на настольном персональном компьютере или плате Raspberry Pi. Все вычисления и управляющие процедуры выполняются непосредственно на самом устройстве и не зависят от удаленных серверов или облачных решений; такой выбор повышает независимость и устойчивость работы. Предложенный комплекс организует замкнутый цикл адаптивного регулирования световой среды, ее характеристики корректируются с учетом моментальной картины когнитивной активности пользователя.

Сбор нейрофизиологических входных данных осуществляется с помощью аппаратного нейроинтерфейса BrainBit (фирма "Нейротех", Россия) с программным обеспечением EEG Waves (далее BrainBit EEG Waves), который выполняет непрерывную потоковую регистрацию мозговых электрических потенциалов в онлайн-режиме. Подробные технические спецификации и описание принципов функционирования содержатся в официальных документах производителя [16].

На рис. 2 представлена структурная схема интеллектуальной системы управления освещенностью. Архитектурно система разделена на связанные между собой модули, которые обмениваются данными через внутреннюю беспроводную инфраструктуру на базе протокола Wi-Fi.

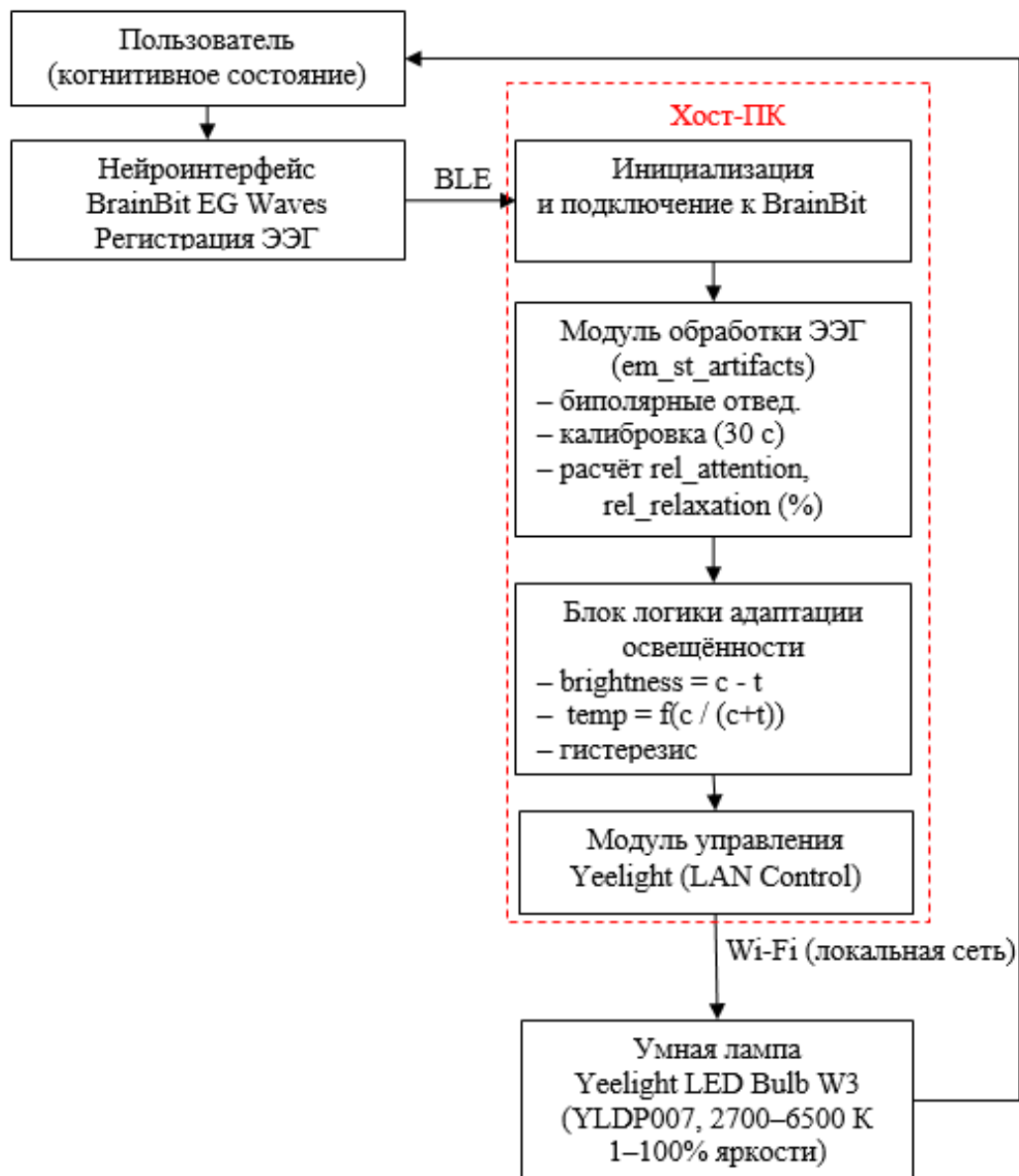


Рис. 2. Структурная схема интеллектуальной системы управления освещенностью.

Структурная схема содержит модуль регистрации ЭЭГ-сигналов, программный модуль обработки данных, включая блок принятия решений и исполнительное устройство.

Передача измерительных данных организована по стандарту BLE – энергоэффективной модификации Bluetooth; это обеспечивает ровный поток отсчетов при частоте выборки 250 Гц. Роль источника электроэнцефалографической

информации выполняет нейроинтерфейс BrainBit EEG Waves. Благодаря применению сухих контактных элементов и миниатюрному корпусу устройство не нуждается в длительной подготовке и надевается самим пользователем всего за несколько секунд, что делает его пригодным для ежедневного использования в домашних или офисных условиях [14].

На этапе обработки выполняются фильтрация сигналов, подавление артефактов и спектральный анализ с целью вычисления нормализованных показателей концентрации внимания и уровня расслабления [4, 13].

Основной обработкой занимается библиотека `em_st_artifacts`, специально разработанная для системы BrainBit EEG Waves [7, 15]. Перечислим ее ключевые особенности:

- поддержка биполярных отведений (T3–O1, T4–O2) – уменьшает влияние артефактов движения;
- встроенная автоматическая калибровка – собирает «норму» за первые 20–30 с;
- выдача нормализованных показателей `rel_attention` и `rel_relaxation` в процентах.

Логика управления включает непрерывную плавную интерполяцию параметров освещения на основе соотношения уровней внимания (`rel_attention`) и расслабления (`rel_relaxation`), получаемых от библиотеки `em_st_artifacts`.

Система вычисляет нормализованную разность $d \in [-1, 1]$:

$$d = \frac{\text{rel_attention} - \text{rel_relaxation}}{100},$$

где численное значение разности $d = -1$ соответствует глубокому расслаблению, а $d = +1$ – максимальной концентрации. На основе этого значения линейно интерполируются:

- яркость: от 10% (при $d = -1$) до 100% (при $d = +1$);
- цветовая температура: от 2700 К (теплый) до 6500 К (холодный).

Такой подход позволяет создавать естественный, динамический световой фон, который плавно реагирует на малейшие изменения когнитивного состояния, избегая резких скачков и дискомфорта.

В качестве исполнительного модуля системы выбрана светодиодная лампа

модели W3 от Yeelight; ее контроль реализован локально, посредством протокола LAN Control. Минимизация времени отклика и предотвращение передачи персональных данных в сторонние облачные сервисы достигаются за счет применения локального режима управления [16].

Ключевым архитектурным решением стал отказ от облачных зависимостей в пользу полностью локальной коммуникации. Такая схема исключает необходимость участия облачных платформ, учетной записи Mi-Home или промежуточных шлюзов сторонних производителей, поэтому управляющие команды поступают на прибор с задержкой ниже 50 мс.

Система работает на одном ПК, обрабатывает ЭЭГ через специализированную библиотеку `em_st_artifacts` (с поддержкой биполярной обработки и автоматической калибровки), а управление лампой осуществляется напрямую по открытому протоколу Yeelight LAN Control с использованием легковесной библиотеки `python-yeelight` [16].

Все взаимодействия модулей ограничены рамками локального сетевого сегмента. Записи ЭЭГ физически сохраняются на вычислительном узле, здесь они считываются, локально анализируются и интерпретируются, затем полученные результаты напрямую переводятся в команды управления освещением. В результате исключается отправка чувствительной нейрофизиологической информации во внешнюю сеть, что обеспечивает высокий уровень конфиденциальности и соответствие этическим стандартам в области нейротехнологий [18]. Кроме того, отсутствие зависимости от внешних API и облачной инфраструктуры делает систему устойчивой к сбоям в работе Интернета, обновлениям стороннего программного обеспечения или изменениям в политике производителей умных устройств. В результате пользователь получает надежную, приватную и отзывчивую систему, способную ненавязчиво адаптировать световую среду под его внутреннее состояние в реальном времени.

АЛГОРИТМ АДАПТАЦИИ ОСВЕЩЕННОСТИ

Система управления освещением базируется на постоянном мониторинге когнитивных параметров оператора и выполняет синтез управляющих сигналов, адаптируя их к актуальному функциональному статусу. Алгоритм адаптации освещенности может быть представлен в виде последовательности ряда шагов.

Шаг 1. Начало работы алгоритма.

Шаг 2. Выбор временного интервала $t = 0$.

Шаг 3. Загрузка нормализованных значений индексов концентрации внимания и расслабления, вычисленных на основе спектральных характеристик ЭЭГ-сигнала.

Шаг 4. Если индекс концентрации внимания (численное значение разности d) переходит установленный порог, система управления усиливает освещение и переводит цветовой тон в более прохладную гамму, в результате сохраняется высокая умственная работоспособность. Иначе, если доминируют индикаторы расслабленности, управляющая логика снижает интенсивность свечения и формирует теплые цветовые оттенки, обеспечивая атмосферу, способствующую восстановлению.

Шаг 5. Временной интервал t завершен?

Шаг 6. Если – да, то переход к шагу 7, иначе – переход к шагу 4.

Шаг 7. $t = t + 1$.

Шаг 8. $t = \max$?

Шаг 9. Если – да, то переход к шагу 10, иначе – переход к шагу 3.

Шаг 9. Окончание работы алгоритма.

Чтобы исключить резкие скачки интенсивности освещения, применяют прием постепенной аппроксимации команд управления. Сохранение стабильного функционирования и уменьшение вероятности того, что человек, взаимодействующий с системой, ощутит дискомфорт, являются прямым следствием использования этой техники. Аналогичные подходы адаптивного регулирования интегрированы во многих нейроадаптационных решениях, обеспечивающих взаимодействие человека с машиной [5, 14].

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Разработанная интеллектуальная система управления освещенностью может быть использована в учебных аудиториях, компьютерных классах и лабораториях инженерных специальностей. В процессе выполнения расчетных и проектных заданий система обеспечит автоматическую адаптацию световой среды в зависимости от когнитивного состояния обучающегося.

Исследования показали, что внедрение освещения, адаптирующегося к нейросигналам пользователя, снижает проявления усталости при продолжительной работе на персональном компьютере и повышает способность длительно удерживать внимание [17].

Параллельно интеграция подобных решений в учебную практику предоставит обучающимся практический опыт взаимодействия с интеллектуально ориентированными ИТ-системами в соответствии с современными требованиями к подготовке инженерных кадров в условиях цифровой трансформации экономики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пилотные испытания разработанной системы были проведены в компьютерном классе кафедры вычислительной техники Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета. Эксперимент был организован во время выполнения лабораторных и расчетно-графических работ, в таких условиях студенты сталкиваются с задачами, требующими устойчивой концентрации внимания.

В исследовании приняли участие 12 добровольцев (студенты магистратуры направления 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»). Участники выполняли типичные для их учебной программы задания: решение алгоритмических задач на языке Python; анализ ЭЭГ-сигналов в среде MATLAB; разработка пользовательских интерфейсов и отладка программного кода.

Все сессии проходили индивидуально за персональными компьютерами при стандартных условиях освещенности помещения (без естественного света, базовое общее освещение было отключено). Адаптивная система управляла умной лампой Yeelight W3, расположенной на рабочем столе пользователя. Такая организация позволила изолировать эффект нейроадаптивного управления и исключить влияние внешних световых факторов.

В качестве оценочных показателей регистрировались точность выявления состояний когнитивной активности, латентность отклика системы и личные субъективные рейтинги комфортности.

Анализ полученных данных выявил, что доля корректных распознаваний режимов «фокус внимания» и «расслабленное состояние» превысила 85%.

Среднее время задержки реакции системы составило 420 мс. Это критически важно для обеспечения плавной и ненавязчивой адаптации световой среды, не отвлекающей пользователя и не вызывающей дискомфорта из-за резких или запаздывающих изменений.

В режиме автоматической адаптации были зафиксированы снижение субъективной утомляемости на 33% и повышение самооценки концентрации на 30% по сравнению с фиксированным освещением. При этом 92% участников эксперимента оценили реакцию света как естественную и соответствующую их внутреннему состоянию.

Переход на адаптивную схему подсветки вызвал сокращение субъективного ощущения усталости у пользователей и способствовал более положительной оценке рабочих условий в отличие от фиксированных сценариев освещения [14, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен новый подход к разработке интеллектуальной системы управления освещенностью рабочего пространства с учетом когнитивных особенностей пользователя.

Создан практически применимый, полностью автономный, локальный и приватный контур нейроадаптивной обратной связи «мозг → свет → мозг» (без зависимости от облачных сервисов), основанный на доступных потребительских устройствах.

В качестве источника нейроданных использован отечественный нейроинтерфейс BrainBit EEG Waves с четырьмя сухими электродами, расположенными по международной системе 10–20, что обеспечивает высокую достоверность регистрации альфа- и бета-ритмов.

В качестве исполнительного устройства выбрана умная лампа Yeelight LED Bulb W3 (модель YLDP007), поддерживающая широкий диапазон регулировки цветовой температуры (2700–6500 К) и яркости (1–100 %).

Проведенные эксперименты подтвердили эффективность предложенного решения. Точность распознавания ключевых состояний составила 86.2%, а типичное время отклика системы не превышает 0.5 с. По сравнению с ручным управлением, в автоматическом режиме субъективная утомляемость снизилась на

33%, а уровень концентрации повысился на 30%. Более 90% участников оценили реакцию света как естественную и соответствующую их внутреннему состоянию.

Работа демонстрирует практическую реализуемость нейроуправляемых систем на основе доступных потребительских устройств, а также их потенциал в повышении когнитивной эффективности и комфортности рабочей среды.

Полученные результаты открывают перспективы для дальнейшего применения подобных систем в образовании, удаленной работе, wellness-средах и немедикаментозной поддержке когнитивного здоровья.

Благодарности

Выражаем искреннюю благодарность компании «Нейротех» (г. Таганрог), в том числе директору компании В. Л. Сахарову и сотруднику Д. М. Алексееву. Деятельность компании направлена на разработку и внедрение в здравоохранение портативных, надежных и доступных систем для электрофизиологических исследований. Благодаря поддержке компании «Нейротех» стало возможным реализовать практическую часть исследования и продемонстрировать работоспособность разработанной интеллектуальной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boyce P.R. Human Factors in Lighting. CRC Press. 2014. 667 p.
2. Knez I. Effects of colour of light on nonvisual psychological processes // Journal of Environmental Psychology. 2001. Vol. 21, No. 2. P. 201–208.
<https://doi.org/10.1006/jevp.2000.0198>
3. Münch M. et al. Blue-enriched morning light as a countermeasure to light at the wrong time: effects on cognition, sleepiness, sleep, and circadian phase // Neuropsychobiology. 2017. Vol. 74, No 4. P. 207–218.
<https://doi.org/10.1159/000477093>
4. Cohen M.X. Analyzing Neural Time Series Data. Theory and Practice. MIT Press. 2014. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9609.001.0001>
5. Emotiv: EEG-Based Cognitive State Detection.
URL: <https://www.emotiv.com/> (дата обращения: 14.04.2026).
6. Кузьменко Ю.П., Софронов А.А., Кузьменко В.П. Использование гра-

фового подхода для описания алгоритмов интеллектуального управления освещением // Наука и бизнес: пути развития. 2021. №12 (126). С. 82–84.

7. Щербаков А.С. Адаптация методов вычисления глобального освещения на основе алгоритма излучательности к архитектуре кадрового графа // Вычислительные методы и программирование. 2025. № 26(2). С. 99–110.

<https://doi.org/10.26089/NumMet.v26r207>

8. Ereemeev A.P., Muntyan E.R. Developing an ontology on the basis of graphs with multiple and heterotypic connections // Scientific and Technical Information Processing. 2022. Vol. 49, No. 6. P. 427–438.

<https://doi.org/10.3103/s0147688222060041>

9. Мунтян Е.Р. Формирование цифрового портрета субъекта на основе парсинга сети для построения карьерной траектории // Информатизация и связь. 2023. №2. С. 36–41. <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2023-14-2-36-41>

10. Зяблова Е.Р. Моделирование социальных взаимодействий на основе графовых подходов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2024. №6 (242). С. 131–142. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2024-6-131-142>

11. Yu Ch., Huang X. Attention level monitoring based on EEG measurement // Applied and Computation Engineering. 2024. Vol. 38, No 1. P. 151–155.

<https://doi.org/10.54254/2755-2721/38/20230546>

12. Niedermeyer E., da Silva F.L. Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields. 5th Edition. Lippincott Williams & Wilkins. 2005. 1309 p.

13. Иванов А.А. Обзор методов математического анализа ЭЭГ. Количественная ЭЭГ // Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2023. № 2 (15). С. 171–192. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.154>

14. Дедков А.Е., Андриков Д.А., Храмов А.Е. Обзор способов измерения когнитивной нагрузки мозга и методов машинного обучения для их идентификации на основе данных ЭЭГ // Врач и информационные технологии. 2024. № 3. С. 20–31. https://doi.org/10.25881/18110193_2024_3_20

15. BrainBit EEG Waves: Technical Documentation.

URL: <https://mederia.ru/upload/iblock/e35/e35fe74dbbdea1e0a72a68bf17738c38.pdf> (дата обращения: 14.04.2026).

16. Yeelight Smart Bulb Control with mPython. URL: <https://github.com/labplus-cn/mpython-docs/blob/master/docs/en/tutorials/advance/iot/yeelight.rst> (дата обращения: 14.04.2026).

17. Кустикова Ю.О., Умрилов Р.Р., Румянцева А.С., Мусеева А.А. Влияние освещенности на создание комфортных условий труда // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14, Вып. 1. С. 149–158.
<http://doi.org/10.22227/2305-5502.2024.1.10>

18. Babiloni C. et al. Human cortical electroencephalography (EEG) rhythms during the observation of simple aimless movements: a high-resolution EEG study // Neuroimage. 2002. Vol. 17, No. 2. P. 559–572.
<http://doi.org/10.1006/nimg.2002.1192>

19. Зяблова Е.Р., Егорова К.А. Интеллектуальная система управления освещенностью на основе анализа когнитивных особенностей пользователя // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования». М.: Издательский дом МЭИ, 2026. С. 47–51.

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT LIGHTING SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT THE COGNITIVE CHARACTERISTICS OF THE USER

E. R. Zyablova ^[0000-0002-1321-883X]

Southern Federal University, Taganrog, Russia

ermuntyan@sfedu.ru

Abstract

The article considers an approach to the development of an intelligent control system for the illumination of a workspace that corrects the intensity of light based on the analysis of the user's cognitive state. Illumination adaptation is performed in real time using data from the BrainBit EEG Waves neurointerface for electroencephalography (EEG) registration. Based on the spectral analysis of the EEG, indicators of concentration and emotional relaxation are calculated, which are used as control parameters for a smart lamp. The Yeelight LED Bulb W3 has been selected as a smart

lamp. Lighting is controlled locally via LAN Control protocol without data transfer to cloud services. Experimental studies have confirmed the operability of the system, low reaction delay and increased subjective comfort of the user. The developed system can be used to increase the effectiveness of the educational process of students.

Keywords: *intelligent lighting, cognitive characteristics, electroencephalography, BrainBit EEG Waves neural interface, adaptive environment, smart home.*

REFERENCES

1. Boyce P.R. Human Factors in Lighting (3rd ed.). CRC Press. 2014. 667 p.
2. Knez I. Effects of colour of light on nonvisual psychological processes // Journal of Environmental Psychology. 2001. Vol. 21, No. 2. P. 201–208.
<https://doi.org/10.1006/jevp.2000.0198>
3. Münch M. et al. Blue-enriched morning light as a countermeasure to light at the wrong time: effects on cognition, sleepiness, sleep, and circadian phase // Neuropsychobiology. 2017. Vol. 74, No. 4. P. 207–218.
<https://doi.org/10.1159/000477093>
4. Cohen M.X. Analyzing Neural Time Series Data. Theory and Practice. MIT Press. 2014. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9609.001.0001>
5. Emotiv: EEG-Based Cognitive State Detection.
URL: <https://www.emotiv.com/> (date accessed: 14.04.2026).
6. Kuzmenko Yu.P., Sofronov A.A., Kuzmenko V.P. Ispol'zovanie grafovogo podhoda dlya opisaniya algoritmov intellektual'nogo upravleniya osveshcheniem // Nauka i biznes: puti razvitiya. 2021. No. 12 (126). P. 82–84.
7. Shcherbakov A.S. Adaptaciya metodov vychisleniya global'nogo osveshcheniya na osnove algoritma izluchatel'nosti k arhitekture kadrovogo grafa // Vychislitel'nye metody i programmirovaniye. 2025. No. 26 (2). P. 99–110.
<https://doi.org/10.26089/NumMet.v26r207>
8. Ereemeev A.P., Muntyan E.R. Developing an ontology on the basis of graphs with multiple and heterotypic connections. Scientific and Technical Information Processing. 2022. Vol. 49, No. 6, P. 427–438.
<https://doi.org/10.3103/s0147688222060041>
9. Muntyan E.R. Formirovaniye cifrovogo portreta sub"ekta na osnove

parsinga seti dlya postroeniya kar'ernoj traektorii // Informatizaciya i svyaz'. 2023. No. 2. P. 36–41. <https://doi.org/10.34219/2078-8320-2023-14-2-36-41>

10. *Zyablova E.R.* Modelirovanie social'nyh vzaimodejstvij na osnove grafovych podhodov // Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2024. No. 6 (242). P. 131–142. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2024-6-131-142>

11. *Yu Ch., Huang X.* Attention level monitoring based on EEG measurement // Applied and Computation Engineering. 2024. Vol. 38, No 1. P. 151–155. <https://doi.org/10.54254/2755-2721/38/20230546>

12. *Niedermeyer E., da Silva F.L.* Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications and Related Fields. 5th Edition. Lippincott Williams & Wilkins. 2005. 1309 p.

13. *Ivanov A.A.* Obzor metodov matematicheskogo analiza EEG. Kolichestvennaya EEG // Epilepsiya i paroksizmal'nye sostoyaniya. 2023. No. 2 (15). P. 171–192. <https://doi.org/10.17749/2077-8333/epi.par.con.2023.154>

14. *Dedkov A.E., Andrikov D.A., Khramov A.E.* Obzor sposobov izmere-niya kognitivnoj nagruzki mozga i metodov mashinnogo obucheniya dlya ih iden-tifikacii na osnove dannyh EEG // Vrach i informacionnye tekhnologii. 2024. No. 3. P. 20–31. https://doi.org/10.25881/18110193_2024_3_20

15. BrainBit EEG Waves: Technical Documentation. URL: <https://mederia.ru/upload/iblock/e35/e35fe74dbbdea1e0a72a68bf17738c38.pdf> (date accessed: 14.04.2026).

16. Yeelight Smart Bulb Control with mPython. URL: <https://github.com/labplus-cn/mpython-docs/blob/master/docs/en/tutorials/advance/iot/yeelight.rst> (date accessed: 14.04.2026).

17. *Kustikova Yu.O., Umrilov R.R., Rumyantseva A.S., Moiseeva A.A.* Vliyanie osveshchennosti na sozdanie komfortnyh uslovij truda // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. 2024. Vol. 14, No. 1. P. 149–158. <http://doi.org/10.22227/2305-5502.2024.1.10>

18. *Babiloni C. et al.* Human cortical electroencephalography (EEG) rhythms during the observation of simple aimless movements: a high-resolution EEG study // Neuroimage. 2002. Vol. 17, No. 2. P. 559–572. <http://doi.org/10.1006/nimg.2002.1192>

19. Zyablova E.R., Egorova K.A. Intel'ktual'naya sistema upravleniya osveshchennost'yu na osnove analiza ko-gnitivnykh osobennostej pol'zovatelya // Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Informatizaciya inzhernogo obrazova-niya». M.: Izdatel'skij dom MEI, 2026. S. 47–51.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ЗЯБЛОВА Евгения Ростиславна – доцент кафедры вычислительной техники Южного федерального университета, член Российской ассоциации искусственного интеллекта, к.т.н. Область научных интересов: информатизация образования, искусственный интеллект, интеллектуальный анализ данных, нечеткие системы.

Evgenia Rostislavna ZYABLOVA – associate professor of the Department at Computer Engineering, Southern Federal University, member of the Russian Association of Artificial Intelligence, Ph.D. Research interests: informatization of education, artificial intelligence, data mining, fuzzy systems.

email: ermuntyan@sfedu.ru

ORCID: 0000-0002-1321-883X

Материал поступил в редакцию 29 мая 2026 года