

УДК 004.89

DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-7

Рослякова С.В.
Брагина Т.В.
Землянова Е.И.
Короткова Д.В.
Меркулова П.А.
Лаушкина А.А.
Филиппов И.М.

**О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ
В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ**

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: svetlana.roslyakova@itmo.ru, bragina.arch@yandex.ru, katya-zemlyanova95@yandex.ru, dvkorotkova@itmo.ru, merkulowapolina@gmail.com, nastasjalausckina@mail.ru, imphilippov@itmo.ru

Аннотация

Системы управления освещения развиваются и совершенствуются в последние 10-20 лет. Отмечено, что рынок умного освещения будет только расти в ближайшее время. Традиционные алгоритмы управления (расписание, астрографик, датчики движения и присутствия) не в состоянии обеспечить ни требуемые уровни зрительного комфорта, ни оптимальное энергопотребление системы освещения. Кроме того, стоит отметить о тенденции повышения со стороны современных пользователей требований к персонализации условий освещения и гибкости их изменения. Отмечено, что есть несколько направлений для развития систем управления освещением: биодинамическое освещение, снижение энергопотребления, ориентация на зрительный комфорт. В материале предложено рассмотреть машинное обучение как перспективный и новый подход в системах управления освещением. Проанализированы существующие системы управления освещением и научные исследования в этой области по их ориентированности. Машинное обучение обладает рядом достоинств и недостатков, первоначальное его внедрение достаточно сложное, но при его дальнейшем использовании возможно значительно упростить настройку и эксплуатацию систем управления освещением.

Ключевые слова: машинное обучение; адаптивное освещение; системы управления; обучение модели; биодинамическое освещение; энергоэффективность; зрительный комфорт; искусственное освещение.

Для цитирования: Рослякова С.В., Брагина Т.В., Землянова Е.И., Короткова Д.В., Меркулова П.А., Лаушкина А.А., Филиппов И.М. О возможностях применения машинного обучения в системах управления освещением // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №4, 2021. – С. 48-63. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-7

**Roslyakova S.V.
Bragina T.V.
Zemlyanova E.I.
Korotkova D.V.
Merkulova P.A.
Laushkina A.A.
Filippov I.M.**

**ON THE POSSIBILITIES OF APPLYING MACHINE LEARNING
IN LIGHTING CONTROL SYSTEMS**

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

e-mail: svetlana.roslyakova@itmo.ru, bragina.arch@yandex.ru, katya-zemlyanova95@yandex.ru, dvkorotkova@itmo.ru, merkulowapolina@gmail.com, nastasjalausckina@mail.ru, imphilippov@itmo.ru

Abstract

Lighting control systems have been developing and improving in the last 10-20 years. The smart lighting market will only grow shortly. Traditional control algorithms (schedule, astronomical schedule, motion and presence sensors) cannot provide either the required levels of visual comfort or the optimal energy consumption of the lighting system. In addition, it should be noted that there is a tendency for modern users to increase the requirements for personalizing lighting conditions and flexibility in changing them. There are several directions for developing lighting control systems: biodynamic lighting, reducing energy consumption, focusing on visual comfort. The article proposes to consider machine learning as a promising and new approach in lighting control systems. The existing lighting control systems and scientific research in this area are analyzed in terms of their orientation. Machine learning has several advantages and disadvantages. Its initial implementation is quite complicated, but it is possible to simplify the setup and operation of lighting control systems significantly with its further use.

Keywords: machine learning; adaptive lighting; control systems; model training; personalization; energy efficiency; visual comfort; artificial lighting.

For citation: Roslyakova S.V., Bragina T.V., Zemlyanova E.I., Korotkova D.V., Merkulova P.A., Laushkina A.A., Filippov I.M. On the possibilities of applying machine learning in lighting control systems // Research result. Information technologies. – Т.6, №4, 2021. – P. 48-63. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-4-0-7

ВВЕДЕНИЕ

Современное искусственное освещение больше не ограничивается только его базовыми возможностями, такими как продление светового дня и увеличение продолжительности работы человека в вечернее и ночное время. Развитие информационных технологий позволяет проектировать сложные системы управления способные регулировать фотометрические и спектральные параметры световых приборов на основании большого количества собираемых данных. Рынок систем управления освещением растет, несмотря на негативные тенденции в общемировой экономике [33]. Это связано с постоянным увеличением стоимости энергоносителей и удешевлением систем управления освещением.

Сейчас в системах управления освещением используются несколько подходов к изменению или адаптации фотометрических и спектральных характеристик световых приборов. Можно выделить следующие подходы к изменению или адаптации освещения:

1. Расписание. Перед монтажом системы управления создается расписание (статическое или с возможностью добавления изменений в процессе работы осветительной установки);
2. Астрономическое расписание. Включение/выключение и регулирование светового потока происходит по графику, который связан со временем рассвета и заката. Таким образом, изменение светового потока светильников происходит только два раза в день;

3. Учёт естественного освещения. В таких системах применяются датчики освещённости для того, чтобы регулировать или включать/выключать освещение в зависимости от естественного света;

4. Датчики движения и присутствия. Система управления освещением через датчики фиксирует перемещение или присутствие людей, а затем автоматически включает/выключает/регулирует освещение;

5. Индивидуальное изменение освещения. Также существует возможность индивидуальных изменений освещения через программы и приложения с использованием светодиодных ламп с интегрированными устройствами управления.

Основные производители светотехники и умных гаджетов (Philips, Osram, Xiaomi и т. д.) [8,9] давно занимаются развитием систем управления с индивидуальными настройками в сегменте домашнего освещения. В таких системах управление полностью принадлежит пользователю, и он может изменять уровень освещенности и спектральный состав освещения.

Алгоритмы управления освещением претерпевают значительные изменения, так как изменяются запросы от пользователей. Это связано с тем, что, современные пользователи, окруженные цифровыми гаджетами, выдвигают повышенные требования к гибкости и степени персонализации освещения. Одновременно с этим исследования в области физиологии и медицины доказывают, что биодинамическое освещение благотворно сказывается на психофизиологическом состоянии человека [18].

Описанные выше подходы к изменению или адаптации освещения сейчас активно применяются в системах управления. Важно отметить, что при увеличении функциональности систем управления освещением [19], усложняется программирование и настройка таких систем, что приводит к удорожанию всей системы освещения в целом. Системы освещения уже сейчас интегрируются в автоматизированные инженерные системы зданий [36] и в дальнейшем будут постоянно усложняться. Именно поэтому предлагается рассмотреть возможность внедрения такого метода анализа данных, как машинное обучение для управления освещением.

Машинное обучение, как раздел искусственного интеллекта, применимо к большому спектру задач, основной целью которых является классификация и прогнозирование на основе показателей предметной области [5]. Интеллектуальные системы освещения также могут стать сегментом с машинным обучением. Для того, чтобы создать оптимальные условия освещения, такие системы должны учитывать разнообразные факторы - поведение, предпочтения, состояние пользователя, наличие естественного освещения, особенности пространства, а также изменение этих факторов в реальном времени.

Учитывая гибкость и автоматизированность машинного обучения, оно может составить конкуренцию “классическим” подходам (расписание, астрографик, датчики движения/присутствия) в системах управления освещением [24]. Можно выделить несколько трендов в системах управления освещением: биодинамическое освещение; снижение энергопотребления; ориентация на зрительный комфорт и распределение яркости.

Цель данной работы - рассмотреть возможности использования машинного обучения в системах управления освещением по трем главным трендам. Основной задачей является анализ предлагаемых подходов к управлению освещением, которые существуют на рынке и предлагаются научными исследованиями. Данная работа предполагает определить необходимость машинного обучения в системах освещения с выявлением достоинств и недостатков такого метода управления.

1. Биодинамическое освещение

Текущие предложения на рынке умных технологий показывают заинтересованность пользователей в таких аспектах как здоровье, экология, гигиена труда, внимание к психологическому состоянию и персонализация систем освещения [22]. Важно понимать, что искусственное освещение влияет на физиологическое и психологическое состояние пользователя.

Поэтому необходимо разрабатывать такие световые системы, которые способны оптимизировать баланс между здоровьем, личным комфортом пользователей и технологически и эксплуатационными свойствами осветительной установки.

Есть три значительных преимущества применения динамического освещения для пользователей: визуальное, эмоциональное и биологическое. Визуальное преимущество позволяет более точно подстраиваться под масштаб и сложность деталей, вид деятельности пользователя и объекта взаимодействия. Эмоциональное предполагает адаптацию под психологические особенности пользователя, обеспечивая чувство безопасности, комфорта и персонализации. Биологическое одно из наиболее интересных преимуществ, так как касается популярной темы в научном сообществе начиная с 2002 года - циркадных ритмов [18]. Исследователи обнаружили в глазах новый тип фоторецепторов - фоточувствительные ганглиозные клетки сетчатки (ipRGC - intrinsically photosensitive retinal ganglion cell), регулирующие цикл сна и бодрствования. Таким образом, свет влияет на многие аспекты нашего физического и эмоционального состояния, а также на когнитивные способности человека. Неправильное освещение может вызвать у пользователей визуальный и психологический дискомфорт, а также снизить производительность труда [29,31].

Согласно отчету, опубликованному Глобальной ассоциацией освещения (GLA), технологии освещения достигли больших успехов благодаря улучшению качества светодиодов и появлению интеллектуальных систем освещения [16]. В докладе содержится призыв к тому, что на основе этих технологических достижений световая среда должна эволюционировать от отдельных источников статичного освещения до систем освещения, ориентированного на человека. В области проектирования освещения широко известна, но до конца не изучена, система человеко-ориентированного освещения (human-centric lighting), которая частично покрывает текущие запросы пользователей световых пространств [17, 32]. Данный тип системы освещения должен учитывать не только факторы окружающей среды, такие как дневной свет, время и погода, но и личные факторы, такие как поведение, здоровье и эмоции пользователей [23]. Несмотря на то, что необходимы дополнительные исследования влияния данной системы на здоровье, согласно BIS Research, ожидается, что к 2024 году мировой рынок этой технологии достигнет 3,91 миллиарда долларов [15].

Адаптация под человека в условиях многопользовательских пространств — это не просто дополнительная опция - она дает очевидные, поддающиеся количественной оценке, выгоды. Исследования показали, что сотрудники, находящиеся в эмоционально стабильном состоянии и комфорте, могут эффективнее работать и пропускать на 20 процентов меньше рабочих дней [35].

До настоящего времени на рынке интеллектуальных продуктов не было предложено персонализированной среды освещения, потому что на данном этапе методы для сбора и классификации необходимых данных, а также платформа для синтеза данных недоступны широкому кругу пользователей. Однако с появлением машинного обучения и искусственного интеллекта стало разрабатываться все больше различных устройств, включая носимые, сенсорные устройства, динамики и смартфоны, которые можно использовать для быстрого и простого сбора информации о состоянии пользователей [33]. Полученные данные возможно обработать с помощью алгоритмов машинного обучения для оптимизации и адаптации светового режима в соответствии с активностью и эмоциональным состоянием пользователя.

2. Снижение энергопотребления – стремление к энергоэффективности

По оценкам специалистов на освещение тратится около 20-25% от вырабатываемой электроэнергии (если рассматривать распределение электроэнергии в домах и офисных пространствах). Одним из требований к современным системам освещения является энергоэффективность. Энергоэффективность зависит времени использования осветительных приборов, уровню освещенности.

Для экономии электроэнергии важно ее целесообразное использование. Иногда нет необходимости в использовании большого количества искусственного освещения в течение дня. Зачастую в офисных пространствах и домах создается чрезмерная освещенность, превышающая требуемые нормы освещения. Порой происходит так, что освещение функционирует даже когда нет людей в помещении, а это значительно увеличивает затраты на электроэнергию [6]. Экономия электроэнергии на освещении зданий и помещений созвучно общемировому тренду по стремлению к снижению экологического следа от человечества. Машинное обучение может упростить и реализовать экономию электроэнергии, в случаях большого количества осветительных приборов (крупная сеть наружного освещения в городе или многоэтажное офисное здание). Успешные энерго-проекты использовали машинное обучение для дальнейшего прогнозирования временных рядов потребления энергии. Необходимые данные о фактическом состоянии объектов собирались в режиме реального времени с помощью интеллектуальной сети, которая была установлена в здании и использовалась для оценки эффективности и результативности статистических методов и методов машинного обучения [13].

3. Зрительный комфорт и системы управления на основе яркости

Распределение яркости в помещении влияет на видимость объектов и визуальный комфорт. Многие исследования показывают, что управление распределением яркости освещения значительно влияет на визуальный комфорт человека.

Анализ и классификация критериев для оценки визуального комфорта является основным элементом для определения эффективности освещения в помещениях. Учет данных критериев при разработке алгоритмов управления освещением позволит разрабатывать более энергоэффективные системы освещения, в то же время обеспечивающие высокие качественные показатели освещения [11].

Зрительный комфорт определяется в европейском стандарте EN 12665 как «субъективное состояние визуального благополучия, вызванное визуальной средой» [11]. Зрительный комфорт зависит от следующих показателей: физиология человеческого глаза, физические величины, описывающие количество света и его распределение в пространстве, спектральное излучение источника света. Чтобы получить представление о том, каким образом различные параметры освещения влияют на аспект визуального комфорта, часто используются методы с субъективной оценкой, где оценивают: равномерность, блики, количество света и цветопередачу.

Таким образом, для разработки адаптивных систем управления освещением необходимо работать с большим объемом данных, учитывать индивидуальный подход к каждому отдельному пользователю и обладать определенной гибкостью для исправления погрешностей реального мира. Именно для исполнения данных задач внедряется машинное обучение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По анализу существующих требований пользователей ясно, что потенциал систем управления освещением значительно расширяется. Машинное обучение позволит комбинировать разные аспекты управления освещением, например, сочетать в одной системе управления освещением адаптацию по психологическим параметрам пользователей и регулирование относительно естественного освещения. Система управления освещением теоретически может работать с разными данными одновременно: с данными психологических тестирований, с данными от датчиков освещенности, с изображениями видеокамер в помещении, с биологическими данными с фитнес-трекеров пользователей. Ниже рассмотрены основные принципы работы систем управления освещением в зависимости от ориентированности систем управления освещением.

1. Биодинамическое освещение

Было проведено несколько исследований в области разработки интеллектуальных систем управления освещением, которые определяют вид деятельности и состояние человека, настраивая режимы освещения соответственно потребностям пользователя. Большинство работ сосредоточили свое внимание на системах управления освещением, которые определяют уровень освещенности в зависимости от вида занятий и взаимодействия с объектом или местоположением человека в пространстве [30,34]. К данному числу работ относится система управления освещенностью, которая объединила технологию общего освещения и диммирования с технологией распознавания местоположения пользователей в пространстве [26]. Вышеупомянутые исследования предложили способы, которые автоматически управляют освещением и обеспечивают равномерный уровень освещенности на основе информации о местонахождении людей в пространстве. Подобные системы управления освещением могут повысить удобство и визуальный комфорт, но индивидуальное управление освещением в таких системах не реализовано.

Невозможность использования персонализации заключается в отсутствии данных о состоянии каждого пользователя в многопользовательских пространствах. Дизайн платформы для интеллектуального управления освещением на основе Lifelog [14] предлагает использовать контроллер для освещения, который может регулировать параметры управления системой путем обучения с подкреплением данных, касающихся эмоционального состояния, активности и информации об окружающей среде, количества взаимодействий с освещением, уровня освещенности и цветовой температуры.

Чтобы реализовать платформу для управления персонализированным освещением на основе Lifelog, использовались технологии машинного обучения с подкреплением, которые представляют собой метод получения обратной связи (рисунок 1) [14]. Данные, которые существуют в разных форматах, стандартизируются и преобразуются в формат, подходящий для машинного обучения. На этапе анализа из данных выбираются те, которые относятся к текущему состоянию пользователя и окружающей среды. Затем информация классифицируется, сравнивается и анализируется, чтобы выявить поведенческие модели, эмоциональные состояния и модели использования световых приборов. Далее устанавливаются шаблоны настроек освещения (изменение цветовой температуры, освещенности, включение или отключение источников света). После внедрения нового режима собираются реакции пользователей - например, принятие рекомендуемой среды освещения, изменения освещенности или цветовой температуры. Данные обратной связи изучаются с помощью машинного обучения, а после отражаются в существующей модели для оптимизации и адаптации под человека. Этот процесс повторяется непрерывно, чтобы повысить качество системы.

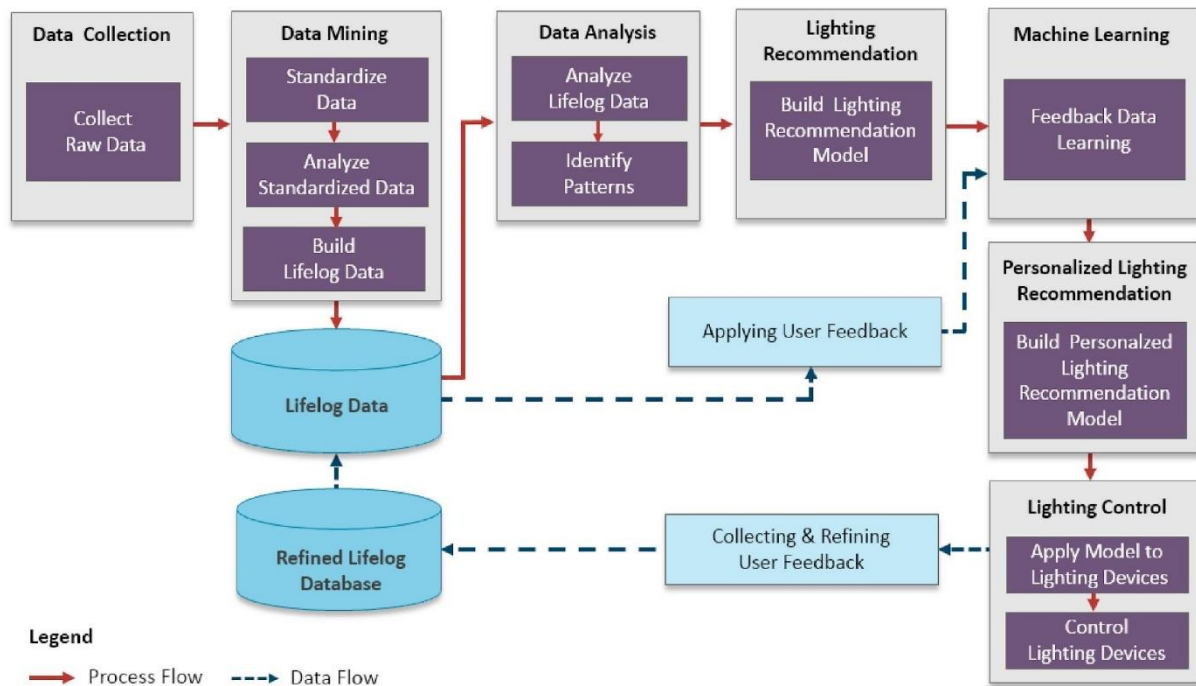


Рис. 1. Процесс управления интеллектуальным освещением и конфигурация платформы на основе Lifelog [14]

Fig. 1. Smart lighting control process and platform configuration based on Lifelog [14]

Существуют значительные пробелы в оптимальном интегрировании полученных знаний в адаптивные системы, подстраивающиеся под психоэмоциональное состояние пользователя. На данном этапе системы не обладают достаточными данными, чтобы гибко адаптироваться к ожидаемой деятельности пользователя и его психоэмоциональному состоянию. Изучению фотометрических характеристик в адаптивных системах и способов получения, данных о состоянии пользователей посвящен ряд работ исследовательской группы Университета ИТМО [1, 25]. В научном проекте было реализовано изменение цветовой температуры и уровня освещенности рабочего пространства в течение дня. Для улучшения общего эмоционального фона и качества работы сотрудников в многопользовательских пространствах был использован постоянный неинвазивный сбор данных о пользователе - клавиатурный почерк. Также кроме опросов о психоэмоциональном состоянии были собраны, такие данные как след клавиатурного почерка и аудиоданные. Эти данные станут важным дополнением при составлении алгоритма работы будущей системы интеллектуального освещения.

В будущем подобные технологии будут способствовать обучению систем освещения и составлению профиля пользователя без его непосредственного взаимодействия с системой. Использование техники машинного обучения позволит работать с большим массивом данных о задачах, активности и психоэмоциональном состоянии человека и предлагать наиболее оптимальную световую среду для каждого пользователя в многопользовательском пространстве.

2. Снижение энергопотребления

В современных условиях заботы об экологии, все больше предприятий и руководителей стараются уделять внимание энергосбережению и экологичности в производстве для его устойчивого развития.

Снижения энергопотребления освещения и повышение энергоэффективности помещений может развиваться в двух направлениях. Первое направление — это замена самих осветительных приборов, смена ламп накаливания на энергосберегающие или преимущественно на светодиодные источники света. У светодиодных источников света есть ряд преимуществ перед остальными

источниками освещения, а именно это высокая светоотдача, низкое энергопотребление, долгий срок службы и другие преимущества [6, 7].

Второе направление – это применение адаптивных систем освещения. Исследователи пытаются реализовывать адаптивные системы, которые будут не только снижать потребление электроэнергии за счет определения присутствия людей, а также обеспечивать подходящим режимом освещения с учетом воздействия на настроение, самочувствие, активность работников компаний. Установка системы управления освещением в офисных пространствах, выгодна с точки зрения экономии энергоресурсов и сокращения затрат на электроэнергию. По мнению исследователей адаптивные системы освещения могут увеличить экономию энергии. Что значительно может помочь организациям, стремящимся к экономии энергии и энергоэффективности, заботиться не только об экологичности, но и о здоровье своих работников [6].

Исследователи Самарского государственного технического университета рассматривают вопрос о повышении энергоэффективности и экономии энергоресурсов. В частности, они рассматривали энергосбережение осветительных приборов внутреннего и наружного освещения городских электрических сетей. Авторы исследования [6] получили самый высокий экономический результат при применении системы освещения, которая постоянно поддерживала уровень освещения регулируя силу света с помощью автоматического контроллера, датчика освещенности и датчика движения в системе общедомового пользования – это около 70-80%, в квартирах составило до 50%, а самый меньший эффект был получен в управлении уличным освещением – это 30-40%. В системе управления такой системой использовались датчики движения и датчики освещенности. Применение таких систем выгодно не только энергетически и экономически, но и повышает комфорт при эксплуатации помещений. В среднем окупаемость таких систем составляет до 2 лет. При росте цен на электроэнергию, сроки окупаемости инвестиций будут постепенно снижаться [6].

Не так давно искусственная нейронная сеть (artificial neural network - ANN) и машинное обучение стали использоваться в качестве инструментов по экономии энергии в зданиях [19]. Для оптимального управления энергопотреблением умных домов температура в помещении была спрогнозирована с использованием технологии ANN и было выполнено планирование для снижения энергопотребления кондиционеров при поддержании комнатной температуры, предпочитаемой жильцами дома [20, 27]. Для подготовки модели построения машинного обучения, которую в свою очередь можно использовать для прогнозов потребления электроэнергии, может опираться на два фактора прогноза погодных условий и истории потребления электроэнергии в разные сезоны года, дни недели. [4].

Исследователи из Малайзии в своей статье предлагают интеллектуальное управление системой освещения с использованием искусственной нейронной сети (ANN) [21]. Минимизация затемнения уровней светильников рассматривается как главная функция ANN контроллера. Так же они учитывали и поле зрения датчика освещенности. Предлагаемый ANN контроллер был протестирован на базе института в Малайзии. По результатам предложенный контроллер показал отличные результаты. Уровни затемнения соответствуют европейскому стандарту EN12464-1. Кроме того, он может сэкономить до 34% энергии [21].

3. Зрительный комфорт и системы управления на основе яркости

Зрительное восприятие человека является сложным механизмом, состоящим из множества нелинейных процессов. Создавая математические модели управления, основанные на ощущении зрительного комфорта, мы сталкиваемся с субъективностью критериев [11]. Анализ литературных источников последних лет показывает, что для решения подобных задач лучше использовать мягкие вычисления (soft computing), включающие в себя технологии машинного обучения, нечеткой логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов.

Мягкие вычисления, в отличие от жёстких вычислений, направлены на приспособление к неточностям реального мира, и для описания данной системы не требуется математическая модель [12]. Если сравнивать мягкие вычисления с традиционным искусственным интеллектом, система Soft Computing ориентируется на обработку неточной, неопределённой, частично истинной информации и базируется на аналогиях из реального мира, в то время как система AI моделирует рассуждения на основе логического вывода (дедукция, индукция, аргументация, рассуждения по аналогии и т.д.).

В настоящее время разрабатывается множество передовых систем управления освещением, основанных на различных параметрах, характеризующих зрительный комфорт. Одним из таких параметров является яркость. Современные системы управления освещением, основанные на измерении или анализе распределения яркости в пространстве, представляют из себя системы анализа измерений яркости по данным, снятым с изображений, зафиксированных камерой, в качестве входного сигнала для контроллера.

При разработке контроллеров производители опираются на три принципа:

1. Зрительный комфорт.

Визуальный комфорт пользователей является основной задачей для систем управления искусственным освещением. Диммирование и регулировка яркости, а также других параметров, должны проводиться относительно потребности пользователя.

2. Использование естественного освещения

Основной вклад в уровень освещенности вносит естественное освещение, а искусственное освещение является лишь дополнением.

3. Гибкость и надежность.

Система управления должна оставаться простой и гибкой, чтобы сделать её максимально доступной для внедрения в офисные и жилые помещения. Система должна функционировать в соответствии с заданным автономным алгоритмом. Именно на этапе разработки и внедрения данных систем управления и используется машинное обучение.

Одним из примеров системы управления освещением, основанной на яркости, может быть исследование Али Мотамеда, Лоран Дешам, Жан-Луи Скартезини [10].

Первый тестовый алгоритм системы (рис.1. Reference Controller) получает данные уровня яркости на рабочей поверхности с помощью установленных камер. После этого система определяет уровень яркости и сравнивает его с указанным стандартом (субъективная оценка визуального комфорта в данном помещении). Далее алгоритм направляет сигнал на диммирование осветительных приборов.

Второй тестовый алгоритм системы (рис.1. Advanced Controller) использует мягкие вычисления (нечеткую логику). Данный алгоритм, построенный на методах машинного обучения, направлен на устранение вероятности появления бликов от дневного света (Daylight Glare Probability (DGP)), а также на улучшение энергоэффективности системы. Результаты показывают, что потребность в электроэнергии второй системы на 32% ниже первой, и алгоритм системы управления, основанной на нечеткой логике, успешно предотвращает дискомфортные ощущения от бликов, предотвращая вероятность их появления.

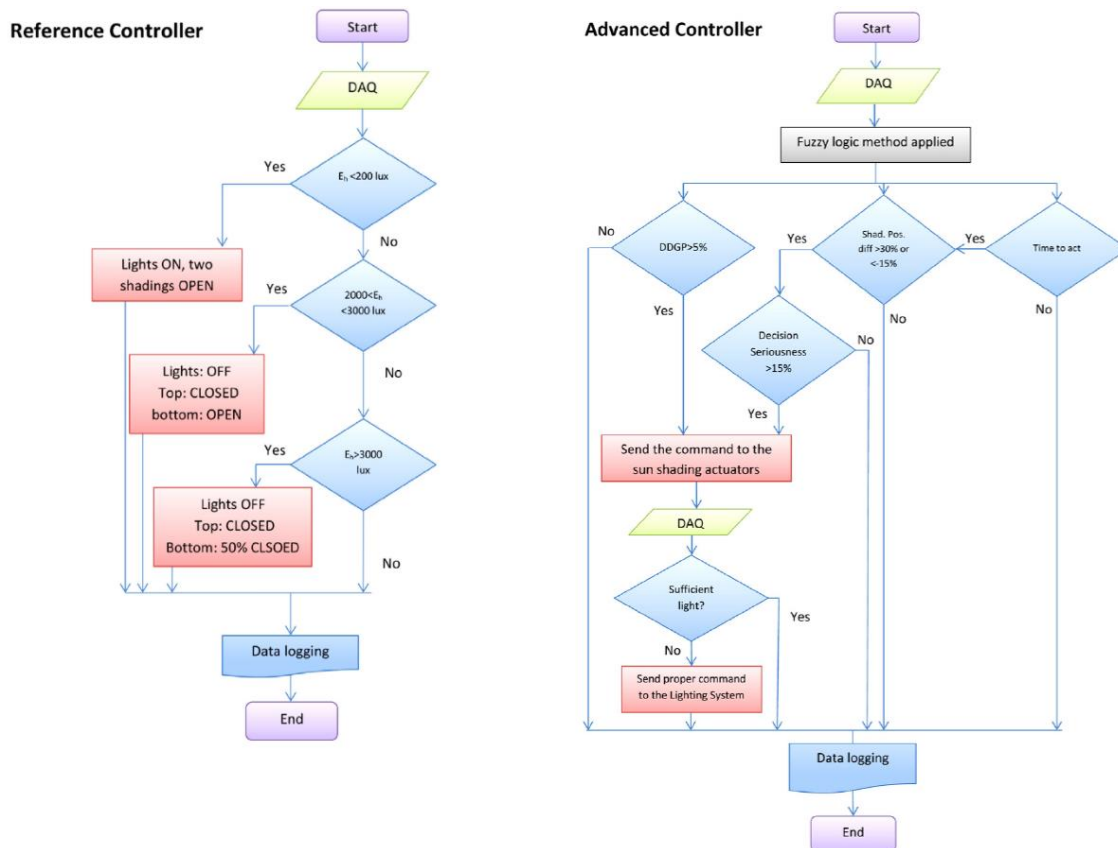


Рис. 2. Блок-схемы контроллеров, используемых в тестировании стратегии [10]
 Fig. 2. The block diagram of the best-practice controller used as reference strategy and the block diagram of the advanced controller used as test strategy [10]

Результаты практической работы данного исследования наглядно показывают возможность использования машинного обучения в разработке систем управления освещением в помещении.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенного исследования было установлено, что применение машинного обучения в системах управления возможно и разнообразно. Уже сейчас есть системы, которые реализуют потенциал машинного обучения в освещении. Основная особенность машинного обучения заключается в том, что этой технологии присущи не только достоинства при использовании в системах освещения, но и существует ряд проблем, которые могут снизить качество систем управления освещением и повысить стоимость. Возможные проблемы использования машинного обучения для систем управления освещением:

- Сложность выявления ключевых факторов, которые влияют на оценку качества освещения.
- Необходим сбор и формирование качественных наборов данных, что может занять продолжительное время.
- Сложность алгоритма и оптимизация модели при большом количестве факторов. Например, если нужно учитывать психоэмоциональные параметры человека и естественное освещение.

Так как данные, с которыми работает система управления, сильно зависят от задач систем в целом далее описаны особенности, достоинства и недостатки по ориентированности систем управления освещением.

1. Биодинамическое освещение

Несомненным плюсом является то, что машинное обучение играет ключевую роль в повышении точности рекомендаций по освещению за счет анализа и изучения данных о психоэмоциональном состоянии пользователей и обратной связи. Однако для оптимизированной работы адаптивные системы освещения должны быть сосредоточены на установлении конкретного процесса и метода машинного обучения для обеспечения персонализированной среды и создания рекомендаций для изменения режима освещения [14].

Несомненно, нужна объемная система для сбора, хранения, управления, анализа и изучения данных эмоционального состояния с использованием облачного пространства и сервера машинного обучения, чтобы обеспечить оптимальную смену режимов освещения. На основе всестороннего анализа эмоционального состояния, активности и вида деятельности предполагается получать огромный пакет данных, являющийся сложной информацией для обработки.

Достоинством таких систем является фундаментальный характер платформ интеллектуального освещения. Предполагается, что можно интегрировать несколько интеллектуальных алгоритмов в единую, хорошо спроектированную структуру посредством реализации на интегрированном микроконтроллере [28]. Кроме того, интеграция умных устройств в системы освещения имеет огромный потенциал в непрерывном обеспечении объективными данными о состоянии человека, что говорит о междисциплинарной области исследований.

Также важно отметить, что при взаимодействии системы управления освещением с медицинскими портативными устройствами, следует уделять внимание сохранности персональных данных. Программное обеспечение и системы передачи данных должны защищать персональные данные, а портативные медицинские устройства должны быть защищены от хакерских атак и возможных сбоев. В случае проблем с безопасностью любой части адаптивной системы освещения возможны негативные кратковременные последствия для здоровья пользователей и утечка информации.

2. Снижение энергопотребления

К плюсам энергосбережения интеллектуальных систем освещения можно отнести диммирование освещения посредством датчиков освещенности и датчиков движения, что сможет экономить электроэнергию. По словам владельцев компаний, которые уже смогли применить системы интеллектуального освещения у себя в офисных пространствах, окупаемость происходит до пяти лет [2].

Минусами систем освещения, реализованных с применением технологий машинного обучения, является то, что существенного снижения энергопотребления можно добиться только при массовом внедрении таких систем на производстве, в офисных пространствах, коворкингах и т.д. [3]. Было отмечено, что при изменчивости погодных условий датчики освещенности могут работать некорректно - постоянно изменять освещенность в помещении, что некомфортно для работников [2].

С одной стороны, если рассматривать системы управления освещением для снижения энергопотребления в городском освещении, то для качественного сбора данных о любом городе потребуется не менее года. Так как требования к показателям любого городского освещения (функциональное или в парковых зонах) зависят от погодных и сезонных условий. Это несомненный недостаток систем управления с машинным обучением. С другой же стороны, достоинством является то, что единообразно разработанный узкоспециализированный алгоритм городского освещения можно в перспективе использовать для тех же задач в похожих городах или пространствах.

3. Зрительный комфорт и системы управления на основе яркости

Зрительный комфорт пользователя формируется исходя из разнообразных факторов, как и внешней среды, так и субъективных оценок и восприятия пространства пользователем. Эта область исследований требует внедрения достаточно сложных алгоритмов машинного обучения, поскольку для настройки системы адаптивного освещения должны быть учтены данные в разнообразных форматах и разного происхождения. Для такого рода задач классическое машинное обучение с подкреплением не будет эффективным, поскольку предсказать какой-либо правильный результат и задать эталонные значения в алгоритме достаточно проблематично. Основная причина невозможности использования обучения с подкреплением заключается в том, что конечным результатом в данном случае являются параметры качественного освещения, подходящие конкретному пользователю, которые заранее неизвестны. Поэтому наибольшую эффективность показывают сложные алгоритмы машинного обучения, относящиеся к категории глубокого обучения, которые могут спрогнозировать необходимые параметры освещения на основе полученных данных. С использованием этого инструмента можно добиться лучших показателей качества освещения, ориентированных на субъективное восприятие отдельных пользователей. Кроме того, алгоритмы глубокого обучения позволяют соотнести параметры освещения и яркости во внешней среде и адаптировать прогноз с учетом этих факторов.

Преимущества данного подхода — это возможность учета фактора субъективной оценки при прогнозировании параметров освещения и достаточная эффективность алгоритма при работе с данными в формате изображений и видео. Тем не менее существуют определенные риски и проблемы при использовании такого подхода. В первую очередь — это необходимость в высокотехнологичном оборудовании для осуществления вычислений на большом объеме данных. Кроме того, существуют риски некачественного выбора, разработки и обучения модели и, как следствие, получения неточных прогнозов.

Использование алгоритмов глубокого обучения в области зрительного комфорта обладает достаточными преимуществами и при учете минимизации перечисленных рисков может быть успешно внедрено в современные адаптивные системы освещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе анализа существующих исследований, направленных на разработку интеллектуальных систем освещения на основе машинного обучения, было установлено следующее:

1. Существует потребность в реализации алгоритма на основе мультимодальных данных, позволяющих адаптировать освещение под психоэмоциональное состояние пользователей;
2. Необходимо сочетание мониторинга и управления освещением для корректировки фотометрических характеристик при динамическом изменении параметров окружающей среды;
3. Достичь минимального вмешательства пользователя для поддержания качественной работы системы.

Используя преимущества больших данных и машинного обучения, можно оптимизировать и обучить систему управления освещением, которые впоследствии могут автоматизировать весь процесс взаимодействия между пользователем и световой средой. Благодаря этому можно достигнуть высоких показателей энергоэффективности, а также реализовать комфортную и безопасную световую среду. На сегодняшний момент авторы продолжают работу над обучением системы освещения, решая задачу автоматического управления освещением и наращивания функций системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Это исследование было реализовано с помощью международной образовательной программы “Световой дизайн” и Национального центра когнитивных разработок Университета ИТМО. Авторы хотели бы выразить особую благодарность руководителю лаборатории “Когнитивная невербалика” Олегу Олеговичу Басову, доктору технических наук, профессору факультета цифровых трансформаций Университета ИТМО.

Список литературы

1. Исследование и подбор спектральных характеристик светильников в адаптивных системах освещения / Рослякова С.В., Лаушкина А.А., Брагина Т.В., Землянова Е.И., Балаев А.Ф. // Сборник тезисов докладов X конгресса молодых ученых: электронное издание 2021 г. URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/5812> (дата обращения: 09.09.2021)
2. Как мы делали умную систему освещения для офиса: сравниваем два этажа // Хабр, 2013 г. URL: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/178425/> (дата обращения 11.09.2021)
3. Козлов И.М. Результаты апробации алгоритма управления освещением квартиры // Архитектура и современные информационные технологии 2011. № 1(38). С.1-10.
4. Машинное обучение в энергетике, или не только лишь все могут смотреть в завтрашний день // Хабр, 2020 г. URL: <https://habr.com/ru/company/lanit/blog/487944/> (дата обращения 09.09.2021)
5. Наумов Р.К., Железков Н.Э. Сравнительный анализ форматов хранения текстовых данных для дальнейшей обработки методами машинного обучения // Научный результат. Информационные технологии. – Т.6, №1, 2021. – С. 40-47.
6. Обухова Ю.В., Ключкова Н.Н., Обухова А.В. Интеллектуальная система управления освещением // Труды VI международной научно-технической конференции: Электроэнергетика глазами молодежи. 2015. С. 338-339.
7. Преимущества и недостатки светодиодных светильников, срок службы светодиодов, 2014 г. URL: <http://www.diy.ru/post/6240/> (дата обращения 10.09.2021).
8. Умные лампы и еще более умные средства управления, 2021 г. URL: <https://www.philips-hue.com/ru-ru> (дата обращения 09.09.2021)
9. Умные устройства, 2021 г. URL: <https://www.mi.com/ru/list/#4> (дата обращения 09.09.2021)
10. Ali M., Laurent D., Jean-Louis S. On-site monitoring and subjective comfort assessment of a sunhadings and electric lighting controller based on novel High Dynamicange vision sensors // Lausanne, Switzerland. 2017. С. 171.
11. A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design / Salvatore C., Francesco C., Francesco D. R., Lorenzo P. // NTNU Norwegian University of Science and Technology. 2015. (2015). С. 42.
12. Choudhury, B., Jha R. M. Soft Computing in Electromagnetics: Methods and Applications //Cambridge: Cambridge University Press. 2016. С. 9–44.
13. Chou J.S., Tran D.S. Forecasting Energy Consumption Time Series using Machine Learning Techniques based on Usage Patterns of Residential Householders // Energy. 2018. № 165. С. 709-726.
14. Cho Y. et al. Platform design for lifelog-based smart lighting control // Building and Environment. 2020. № 185.
15. Global Human Centric Lighting Market to Reach \$3.91 Billion by 2024, BIS Research Reports, 2018 г. URL: <https://bisresearch.com/industry-report/> (дата обращения 09.09.2021)
16. Global Lighting Association Strategic roadmap of the global lighting industry, 2014г. URL: <http://www.globallightingassociation.org/> (дата обращения 09.09.2021)
17. Houser K. W. et al. Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process // Frontiers in neurology. 2021. № 12. С. 1-13.
18. Huang W. et al. Circadian rhythms, sleep, and metabolism // The Journal of clinical investigation. 2011. № 121. С. 21-41.
19. Indoor positioning for superior customer service at Carrefour, 2021 г. URL: <https://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/food-and-large-retailers/carrefour-lille/> (дата обращения 09.09.2021)
20. Jiyoung S., Anseop C., Minki S. Recommendation of indoor luminous environment for occupants using big data analysis based on machine learning // Building and Environment/ 2021. № 198.

21. Khairul R. W., Mohd N. A. Intelligent Lighting Control System for Energy Savings in Office Building // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2018. № 11. С. 195-202.
22. Khoshmanesh F. et al. Wearable sensors: At the frontier of personalised health monitoring, smart prosthetics and assistive technologies // Biosensors & bioelectronics. 2021. № 176. С. 112.
23. Kompier, M. E. et al. Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort // Physiology & behavior. 2020. № 223 С. 84-94.
24. Kumar P., Rai P., Yadav H. B. Smart lighting and switching using Internet of Things // 2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering. 2021. С. 536-539.
25. 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. 2020. № 5. С. 62-69.
26. Lee H. et al. Development of a Dimming Lighting Control System Using General Illumination and Location-Awareness Technology // Energies 2018. № 11. С. 2999.
27. Lee, S., Choi D. Reinforcement learning-based energy management of smart home with rooftop solar photovoltaic system, energy storage system, and home appliances // Sensors. 2019. № 19 С. 3937.
28. LightLearn: an adaptive and occupant centered controller for lighting based on reinforcement learning / Park J.Y., Dougherty T., Fritz H., Nagy Z. // Build. Environ. 2019. № 147. С. 397-414.
29. Lunn R. M. et al. Health consequences of electric lighting practices in the modern world: A report on the National Toxicology Program's workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption // The Science of the total environment. 2017. № 607-608. С. 1073-1084.
30. On the application of wireless sensors and actuators network in existing buildings for occupancy detection and occupancy-driven lighting control / Labeodan T., Bakker C.D., Rosemann A., Zeiler W. // Energy Build 2016. № 127. С. 75-83.
31. Pachito D. V. et al. Workplace lighting for improving alertness and mood in daytime workers // The Cochrane database of systematic reviews. 2018. № 3,3 С. 61.
32. Papatsimpa, Charikleia et al. "Personalized Office Lighting for Circadian Health and Improved Sleep." Sensors (Basel, Switzerland). 2020. № 20. С. 2-17.
33. Roslyakova S., Chirimisina D. Lyubakova Y. Possibilities to integrate wearable biomonitors sensors into adaptive lighting systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 944.
34. WinLight: A WiFi-based occupancy-driven lighting control system for smart building / Zou H., Yuxun Z., Hao J., Chien S., Xie L. //Energy and Buildings. 2018. № 158. С. 924-938.
35. Work Flexibility, Job Satisfaction, and Job Performance among Romanian Employees -Implications for Sustainable Human Resource Management / Davidescu, A.A.; Apostu, S.-A.; Paul, A.; Casuneanu, I. // Sustainability. 2020. № 12. С. 6086.
36. Zhaoyang, Luo et al An innovative shading controller for blinds in an open-plan office using machine learning // Building and Environment. 2021. № 189.

References

1. Roslyakova S.V., Laushkina A.A., Bragina T.V., Zemlyanova E.I., Balaev A.F. Research and selection of spectral characteristics of lamps in adaptive lighting systems. Collection of abstracts of the X Congress of Young Scientists. (2021) URL: <https://kmu.itmo.ru/digests/article/5812> (accessed: 09.09.2021)
2. How we made a smart lighting system for the office: we compare two floors.Habr. (2013) URL: <https://habr.com/ru/company/croc/blog/178425/> (accessed 09.09.2021)
3. Kozlov I.M. Results of approbation of the apartment lighting control algorithm. No. 1 (2011): pp.1-10.
4. Machine learning in energy, or not just everyone can look into tomorrow. Habr. (2020) URL: <https://habr.com/ru/company/lanit/blog/487944/> (accessed 09.09.2021)
5. Naumov R.K., Zhelezkov N.E. Comparative analysis of text data storage formats for further processing by methods of machine learning // Research result. Information technologies. – Т.6, №1, 2021. – P. 40-47.
6. Obukhova Y.V., Klochkova N.N., Obukhova A.V. Intelligent lighting control system. Proceedings of the VI International Scientific and Technical Conference: Electricity through the eyes of youth. (2015): pp. 338-339.
7. Advantages and disadvantages of LED lamps. LED service life. (2014) URL: <http://www.diy.ru/post/6240/> (accessed 09.10.2021).

8. Smart bulbs and even smarter controls. (2021) URL: <https://www.philips-hue.com/en-ru> (accessed 09.09.2021)
9. Smart devices. (2021) URL: <https://www.mi.com/ru/list/#4> (accessed 09.09.2021)
10. Ali Motamed, Laurent Deschamps, Jean-Louis Scartezini, "On-site monitoring and subjective comfort assessment of a sunhadings and electric lighting controller based on novel High Dynamicange vision sensors" Lausanne, Switzerland (2017): 171.
11. Salvatore Carlucci, Francesco Causone, Francesco De Rosa, Lorenzo Pagliano "A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design", NTNU Norwegian University of Science and Technology (2015): 42.
12. Choudhury, Balamati; Jha, Rakesh Mohan "Soft Computing in Electromagnetics: Methods and Applications" Cambridge: Cambridge University Press (2016): 9–44.
13. Chou, Jui-Sheng, Tran, Duc-Son. "Forecasting Energy Consumption Time Series using Machine Learning Techniques based on Usage Patterns of Residential Householders." Energy 165. (2018): 709-726.
14. Cho, Younjoo et al. "Platform design for lifelog-based smart lighting control." Building and Environment 185 (2020): 107267.
15. Global Human Centric Lighting Market to Reach \$3.91 Billion by 2024, BIS Research Reports (2018): URL: <https://bisresearch.com/industry-report/> (accessed 09.10.2021)
16. Global Lighting Association Strategic roadmap of the global lighting industry (2014) URL: <http://www.globallightingassociation.org/> (accessed 09.10.2021)
17. Houser, Kevin W. et al. "Human-Centric Lighting: Foundational Considerations and a Five-Step Design Process." Frontiers in neurology vol. 12 (2021): 1-13.
18. Huang, Wenyu et al. "Circadian rhythms, sleep, and metabolism." The Journal of clinical investigation vol. 121,6 (2011): 21-41.
19. Indoor positioning for superior customer service at Carrefour. URL: <https://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/food-and-large-retailers/carrefour-lille/> (accessed 09.09.2021)
20. Jiyoung Seo, Anseop Choi, Minki Sung "Recommendation of indoor luminous environment for occupants using big data analysis based on machine learning" Building and Environment 198 (2021): 107835.
21. Khairul Rijal Wagiman, Mohd Noor Abdullah "Intelligent Lighting Control System for Energy Savings in Office Building" Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science 11 (2018): 195-202.
22. Khoshmanesh, Farnaz et al. "Wearable sensors: At the frontier of personalised health monitoring, smart prosthetics and assistive technologies." Biosensors & bioelectronics 176 (2021): 112946.
23. Kompier, M. et al. "Effects of light transitions on measures of alertness, arousal and comfort." Physiology & behavior vol. 223 (2020): 84-94.
24. Kumar P., Rai P., Yadav H. B. "Smart lighting and switching using Internet of Things." 2021 11th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (2021): 536-539.
25. Laushkina A.A., Roslyakova S.V., Smirnov A.V. "Implementation of adaptive lighting systems to reduce stressful situations in multi-user spaces." Scientific result. Information Technology 5 (2020): 62-69.
26. Lee, Heangwoo et al. "Development of a Dimming Lighting Control System Using General Illumination and Location-Awareness Technology." Energies 11 (2018): 2999.
27. Lee, S., Choi D. "Reinforcement learning-based energy management of smart home with rooftop solar photovoltaic system, energy storage system, and home appliances" Sensors, 19 (2019): 3937.
28. Park J.Y., Dougherty T., Fritz H., Nagy Z. "LightLearn: an adaptive and occupant centered controller for lighting based on reinforcement learning." Build. Environ 147 (2019): 397-414.
29. Lunn, Ruth M et al. "Health consequences of electric lighting practices in the modern world: A report on the National Toxicology Program's workshop on shift work at night, artificial light at night, and circadian disruption." The Science of the total environment 607-608 (2017): 1073-1084.
30. Labeodan T., Bakker C.D., Rosemann A., Zeiler W. "On the application of wireless sensors and actuators network in existing buildings for occupancy detection and occupancy-driven lighting control." Energy Build 127 (2016): 75-83.
31. Pachito, Daniela V et al. "Workplace lighting for improving alertness and mood in daytime workers." The Cochrane database of systematic reviews vol. 3,3 (2018): 61.
32. Papatsimpa, Charikleia et al. "Personalized Office Lighting for Circadian Health and Improved Sleep." Sensors (Basel, Switzerland) 20 (2020): 2-17.
33. Roslyakova, S. et al. "Possibilities to integrate wearable biomonitring sensors into adaptive lighting systems" IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 944. 012029. (2020).

34. Zou, Han, Yuxun Zhou, Hao Jiang, S. Chien, L. Xie and C. Spanos. “WinLight: A WiFi-based occupancy-driven lighting control system for smart building.” *Energy and Buildings* 158 (2018): 924-938.
35. Davidescu, A.A.; Apostu, S.-A.; Paul, A.; Casuneanu, I. “Work Flexibility, Job Satisfaction, and Job Performance among Romanian Employees—Implications for Sustainable Human Resource Management.” *Sustainability* 12 (2020): 6086.
36. Zhaoyang, Luo et al “An innovative shading controller for blinds in an open-plan office using machine learning.” *Building and Environment* 189 (2021).

Рослякова Светлана Витальевна, ассистент Института дизайна и урбанистики, аспирант Факультета цифровых трансформаций

Брагина Татьяна Владимировна, студент Института дизайна и урбанистики

Землянова Екатерина Игоревна, студент Института дизайна и урбанистики

Короткова Дарья Валерьевна, студент Института дизайна и урбанистики

Меркулова Полина Алексеевна, студент Института дизайна и урбанистики

Лаушкина Анастасия Александровна аспирант, инженер Национального центра когнитивных разработок

Филиппов Илья Михайлович, инженер Института дизайна и урбанистики

Roslyakova Svetlana Vitalievna, Assistant at the Institute of Design and Urban Studies, postgraduate student at the Faculty of Digital Transformation

Bragina Tatiana Vladimirovna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Zemlyanova Ekaterina Igorevna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Korotkova Daria Valerievna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Merkulova Polina Alekseevna, student at the Institute of Design and Urban Studies

Laushkina Anastasia Alexandrovna postgraduate student, engineer, National Center for Cognitive Development

Filippov Ilya Mikhailovich, engineer at the Institute of Design and Urban Studies