

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТРАТЕГИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОМИССИИ ПО ОСВЕЩЕНИЮ НА 2023-2027 ГГ.

Введение

Международная комиссия по освещению (МКО) — глобальная некоммерческая организация, занимающаяся распространением знаний и обеспечением стандартизации для улучшения световой среды. Свет и тьма формируют основы ритма повседневной жизни планеты, и свет раскрывает детали окружающего нас мира. МКО стремится к справедливому и ответственному удовлетворению потребности в надлежащем свете там и тогда, где он необходим. Это стремление является критически важной составляющей ответа человечества на глобальные экологические кризисы, в том числе изменение климата.

Более тысячи экспертов участвуют в комитетах МКО, чтобы добиться мирового научного консенсуса по фундаментальным и практическим вопросам света и освещения. Результаты этой работы публикуются в форме технических заметок, технических отчетов и международных стандартов МКО. Постоянный прогресс в области научных знаний обеспечивает основу для создания новых и актуализации уже опубликованных документов МКО. *Исследовательская стратегия МКО* определяет темы, которые исследователям необходимо изучать сегодня, чтобы знания были доступны для формирования следующего поколения отчетов и стандартов МКО. Впервые опубликованная в 2015 г. *Исследовательская стратегия МКО* получила небольшие обновления в 2019 и 2020 годах. Издание 2023 года было существенно переработано и отражает стремление МКО внести вклад в достижение *целей устойчивого развития (ЦУР)*, установленных Организацией Объединенных Наций на период до 2030 года, и, в частности, следующих:



Рис. 1. ЦУР: 2 – ликвидация голода; 3 – хорошее здоровье и благополучие; 4 – качественное образование; 6 – чистая вода и санитария; 8 – достойная работа и экономический рост; 9 – индустриализация, инновации и инфраструктура; 10 – уменьшение неравенства; 11 – устойчивые города и населенные пункты; 12 – ответственное потребление и производство; 13 – борьба с изменением климата; 14 – сохранение морских экосистем; 15 – сохранение экосистем на суше

Стратегия организована по тематическому принципу и включает в себя два общих принципа, относящихся ко всем исследовательским направлениям, а также шесть актуальных тем, характеризующих конкретные направления исследований. Там, где

это возможно, в тексте далее в скобках указаны ЦУР, достижению которых будет способствовать работа в соответствующем направлении.

1. **Общие принципы**
 - 1.1 **Цифровая трансформация метрологии, науки и промышленности**
 - 1.2 **Достижение инклюзивного и справедливого освещения;**
2. **Актуальные темы**
 - 2.1 **Достижения в области измерений и калибровки**
 - 2.2 **Интегративное освещение для людей**
 - 2.3 **Высококачественное наружное освещение, отвечающее экологическим требованиям**
 - 2.4 **Основы фотобиологии для сельского хозяйства и аквакультуры**
 - 2.5 **Обеспечение возможности применения безопасного и полезного оптического излучения**
 - 2.6 **Измерение, моделирование, восприятие и воспроизведение цвета**

Исследователи из всех областей науки, техники, медицины, психологии, дизайна, информационных технологий, промышленности и смежных областей могут черпать вдохновение в этих темах. МКО призывает всех и каждого, кто финансирует исследования, поощрять исследования в этих направлениях. Свет и освещение касаются всех аспектов жизни на Земле, и успешное преодоление современных вызовов потребует знаний, полученных при изучении указанных направлений. Участие исследователей в соответствующих Технических комитетах (ТК) МКО на любом этапе исследовательского процесса должно быть частью планов по накоплению и передаче исследовательских знаний.

1. Общие принципы

Вне зависимости от темы успешное достижение ЦУР потребует внимания:

- к обеспечению разнообразия, справедливости и инклюзивности;
- к разработке передовых цифровых инструментов для обмена информацией и знаниями.

Эти две темы должны стать основой для исследований по всем актуальным ЦУР, представленным ниже.

1.1. Цифровая трансформация метрологии, науки и промышленности



XXI век ознаменован цифровизацией процессов, машинным обучением и искусственным интеллектом. При правильном использовании цифровые технологии могут способствовать созданию устойчивой инфраструктуры и совершенствованию общества (ЦУР 8, ЦУР 9). Освещение играет важную роль в энергетической инфра-

структуре городов (ЦУР 11). Например, вдумчивое проектирование систем дневного освещения может снизить потребление энергии и ресурсов (ЦУР 12, ЦУР 13). МКО подписала «Совместное заявление о намерениях по цифровой трансформации международной научной инфраструктуры и инфраструктуры качества»¹. Заявление подчеркивает важность поддержки новых разработок, внедряемых МКО как членом Международного комитета мер и весов (CIPM) и Целевой группы по Цифровой СИ (CIPM-TG-DSI). Целевая группа по цифровой СИ планирует разработать и внедрить единый и безопасный формат обмена данными во всем мире, основанный на международной системе единиц (ЦУР 10). Возможными примерами деятельности являются:

- определение новых форматов данных;
- методы, обеспечивающие соответствие терминов, определений и стандартов в целом;
- доступность стандартов и технических отчетов для машинной обработки;
- предоставление наборов справочных данных и показателей оценки.

Для поддержки цифровой трансформации МКО призывает исследователей:

- собирать свои данные в соответствии с признанными на международном уровне моделями данных;
- представлять отчеты в соответствии с признанными на международном уровне методическими рекомендациями, включая принципы *FAIR* (*Findability, Accessibility, Interoperability, Reusability* – «находимость, доступность, совместимость и переиспользование»), для обеспечения отслеживаемости, сопоставимости и повторного использования результатов научных исследований.

Для достижения максимальной эффективности цифровой трансформации необходимо понимать потребности заинтересованных сторон, и цифровизацию осуществлять в сотрудничестве с ними.

1.2. На пути к инклюзивному и справедливому освещению



Исследовательская практика развивалась с начала и до середины XX в., когда МКО разработала свои первые согласованные документы, в том числе публикацию «Относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения $V(\lambda)$ ». При невысоком уровне глобализации обобщение данных для среднестатистического наблюдателя делались на основе относительно небольшой выборки, состоящей в основном из мужчин европеоидной расы из Северной Америки или Европы.

¹ См.: <https://www.bipm.org/en/-/2022-08-25-cie-digital-statement>

Однако, теперь мы понимаем, что этот подход исключает большую часть населения Земли. Ограниченная выборка не может в полной мере охарактеризовать целую популяцию, а определение по ней среднего значения может привести к искажению центральной тенденции всей совокупности на неопределённую величину. Как результат – рекомендации по освещению, основанные на такой ограниченной выборке, могут оказаться неподходящими для части населения, которая не участвовала в исследовании. Это приводит к непреднамеренному, но систематическому неравенству, которое может спровоцировать негативные последствия для здоровья и качества жизни людей.

Чтобы предотвратить сохранение подобной практики, МКО рекомендует следующее:

- МКО призывает исследовательское сообщество практиковать инклюзивную науку, а именно, стараться включать разнообразную выборку: по возрасту, гендеру, зрительным способностям, культурной идентичности, личностным, медицинским и другим особенностям (**ЦУР 10**). Следует:
 - Проводить повторные исследования в других лабораториях в другом географическом регионе с другими культурными особенностями населения. Например, привлекать к участию исследователей из стран южного полушария, а также стран, которые исторически игнорировались или в которых отсутствует исследовательская инфраструктура. Для этого могут потребоваться новые механизмы финансирования.
 - Изучать непредставленные ранее группы для пополнения глобальной базы знаний данными по разнообразным индивидуумам, людям с различными зрительными способностями и чувствительностью.

Большее разнообразие требуется и при планировании исследований на этапах постановки задачи, определения условий проведения исследования и представления результатов. Например, для работ по естественному освещению важными факторами являются разнообразие географического положения, сезона и времени суток. Притом фиксация результатов, описывающих различные модели поведения (например, физиологические показатели в сочетании с когнитивными показателями и самоотчётами об эмоциональном состоянии) поможет существенно расширить базу знаний (**ЦУР 3, 8, 9**). Таким образом, возможно повысить уровень обобщаемости выводов для их последующего мирового применения.

Исследовательским группам также может не хватать разнообразия несмотря на то, что более разнообразные команды приводят к большему количеству интересных результатов (**ЦУР 10**).

- МКО рекомендует всем исследовательским группам, независимо от темы, помнить о равенстве и разнообразии в своем составе, активно стремясь включить в него самых разных членов, включая пожилых и молодых исследователей, людей разного пола и культурной идентичности, а также отличных друг от друга по другим характеристикам.

2. Актуальные темы

2.1. Достижения в области измерений и калибровки



Для соответствия правилам системы международной торговли необходимы отслеживаемые и откалиброванные измерения характеристик светотехнического оборудования и систем. По мере развития оборудования и систем должны совершенствоваться и измерительные системы. Стоит заметить, что исследователи в области метрологии могут найти вдохновение во всех актуальных темах, рассматриваемых в данном документе.

Актуальными пробелами в метрологических исследованиях являются следующие:

1. На протяжении последних ста или более лет фотометры (люксметры) и спектрометры (колориметры) калибруются с использованием ламп накаливания, которые долгое время были дешевыми, легкодоступными и надежными. Однако, в последние десятилетия светодиодные источники света и световые приборы стали доминировать на рынке из-за хорошей энергоэффективности и длительного срока службы. В то же время производство и использование ламп накаливания сократилось до такой степени, что затрудняет их использование для научных целей.

Существует потребность в новых эталонных светодиодных источниках света, которые могут заменить лампы накаливания в качестве стандартных источников. МКО недавно опубликовала эталонный спектр светодиодов для калибровки фотометра (МКО 251:2023) и приветствует разработку эталонных источников, обеспечивающие этот спектр.

Однако, не закрыта потребность в светодиодных источниках непрерывного излучения, охватывающих УФ и ИК области спектра, для калибровки спектрометров.

Это поможет обеспечить высокое качество калибровки и поверки испытательного и измерительного оборудования, чтобы испытательные лаборатории могли осуществлять проверку представленной на рынке продукции (ЦУР 8), на соответствие ожиданий потребителей и выполнение задач, для решения которых она предназначена (ЦУР 12).

2. Для обеспечения правильной и безопасной работы новой светотехнической продукции (ЦУР 12) необходимо проведение качественных измерений их характеристик. Например, требуются исследования характеристик индикаторов на лобовом стекле, гарнитур дополненной и виртуальной реальности, а также дозиметров для измерения индивидуального воздействия оптического излу-

чения и устройств для точного измерения временной модуляции света (*TLM – Temporal Light Modulation*) (ЦУР 3).

3. Мир становится все более взаимосвязанным благодаря датчикам, которые отслеживают освещение на месте и передают данные в центральные системы управления для регулировки уровня освещённости и, в некоторых случаях, характера освещения (например, настраиваемое освещение с регулируемой коррелированной цветовой температурой). Некоторые из этих датчиков также активно измеряют комбинированное освещение от искусственных источников и естественного света, чтобы оптимизировать освещение в соответствии с задачами, индивидуальными пожеланиями или временем суток (ЦУР 12). Специализированные приложения могут также включать оптические системы для телекоммуникационных и медицинских целей (ЦУР 3). Как датчики, так и системы управления являются активными областями исследований и разработок в области общественной инфраструктуры.
4. Для обеспечения надлежащей работы этих систем требуются откалиброванные датчики, что в цифровом мире означает машиночитаемые сертификаты калибровки. Исследования и разработки, направленные на разработку подходящих цифровых компонентов для измерения и калибровки и их внедрение в сложные системы управления и автоматизации зданий, будут иметь основополагающее значение для обеспечения разумной эксплуатации домов, сооружений и общественной инфраструктуры, избегая при этом чрезмерного использования ресурсов (ЦУР 12).

2.2. Интегративное освещение для людей



Последние достижения в понимании работы фоторецепторов глаза человека показали, что свет влияет на многие физиологические и психологические процессы. *Интегративное освещение*, термин, добавленный в *Международный светотехнический словарь* в 2020 году, отражает это понимание: «Освещение, объединяющее как визуальные, так и не визуальные эффекты и оказывающее физиологическое и/или психологическое воздействие на людей»². Современные рекомендации по освещению рабочих мест являются хорошим подспорьем для поддержания здоровья и хорошего самочувствия, но многое еще предстоит узнать о влиянии света на процессы, выходящие за рамки визуального восприятия, прежде чем можно будет разработать всеобъемлющие рекомендации и стандарты.

В качестве примеров приоритетных тем исследований можно привести следующие:

² Определение цитируется по ГОСТ Р МЭК 60050-845-2023 «Освещение. Термины и определения» (прим. ред.)

1. Свет имеет основополагающее значение для функционирования и благополучия человека, что делает это направление исследований ключевым фактором достижения хороших результатов в области здравоохранения (ЦУР 3). Тема этого исследования охватывает весь спектр психологических и физиологических эффектов света: от определения необходимого суточного соотношения интенсивности, спектрального распределения, продолжительности света и тьмы для циркадной регуляции – до понимания того, как световая среда может вызывать дискомфорт и нарушения зрения, а также важности эстетики в повседневной жизни и её влиянии на самочувствие. Новые темы в этой области включают невизуальное воздействие оптического излучения в ближнем инфракрасном диапазоне на физиологию, здоровье и поведение человека, а также влияние временной модуляции света на когнитивные способности и нейрофизиологию. Фактические данные из этой области могут служить основой для рекомендаций по созданию благоприятных условий труда, способствующих благополучию работников и повышению их производительности труда (ЦУР 8, ЦУР 9).
2. Существуют пробелы в понимании потребностей различных людей вне умеренных широт северного полушария.
3. Для обеспечения полностью интегративного освещения будет востребовано проектирование освещения с учётом как индивидуальных, так и групповых потребностей (ЦУР 3, 10), что станет фундаментальным изменением в философии дизайна и серьёзной задачей исследований в области дизайна освещения.
4. Более эффективное использование естественного света в зданиях требует компромиссов с другими строительными требованиями (например, с требованиями по отоплению/кондиционированию и вентиляции), и создание баланса между поддержанием подходящих условий для человека и экономией электроэнергии. Для реализации концепции жизнеспособных, безопасных, инклюзивных и устойчивых зданий, городов и сообществ (ЦУР 11), которые также ответственно используют ресурсы (ЦУР 12), потребуются междисциплинарные исследования.
5. Достижения в области светодиодных технологий и технологий управления освещением сделали возможными установки динамического электрического освещения – например, системы электрического освещения, которые обеспечивают различные спектры и уровни освещённости либо по расписанию, либо по требованию, – но остается открытым вопрос, достаточны ли преимущества использования этих технологий, чтобы оправдать их стоимость и сложность. Преимущества могут быть разными для работников ночной смены и для тех, кто работает в дневную смену. Фундаментальные исследования могут дать нам информацию о необходимости определённых комбинаций спектра, интенсивности, продолжительности и времени для достижения желаемых результатов, а прикладные исследования освещения необходимы, чтобы дать нам информацию об устойчивости этих технологий.

2.3. Высококачественное наружное освещение, отвечающее экологическим требованиям



Архитектурное и утилитарное наружное освещение может быть эстетичным и при этом повышать безопасность, но оно требует затрат и может отрицательно влиять на окружающую среду и излишне засвечивать ночное небо.

Освещение дорог и общественных городских пространств обеспечивает безопасное передвижение после наступления темноты и создание приятной атмосферы для ночных мероприятий на открытом воздухе. Среди положительных эффектов – сокращение дорожно-транспортных происшествий, повышение личной безопасности и содействие активному передвижению — в частности, пешим прогулкам и велосезде. Содействие активным передвижениям, в свою очередь, вносит вклад в более здоровый образ жизни (**ЦУР 3**) и снижает количество дорожных заторов и уровень загрязнений, связанных с моторизованными транспортными средствами (**ЦУР 11**).

Соблюдение баланса между потребностями различных наблюдателей и экологическими соображениями требует знаний по следующим темам:

1. Свет – это понятие, применяемое, прежде всего, с учётом особенностей человеческого зрения, но использовать $V(\lambda)$ к растениям и животным некорректно. Чтобы должным образом сбалансировать потребности природы и человека, нам требуется больше информации о воздействии оптического излучения на растения и животных, а также новые величины и единицы измерения, соответствующие стандарту СИ, для обеспечения основ экологически безопасного освещения (**ЦУР 14, 15**).
2. Необходимо понять, как должны измениться критерии проектирования освещения, чтобы улучшить качество освещения с точки зрения высокой визуальной эффективности, хорошего визуального комфорта и, где это применимо, эстетической ценности. Исследования в этой области должны включать изучение положения наблюдателя, угла наблюдения, типов визуальных задач, отражающих свойств освещенной среды, других источников освещения поблизости (включая светящиеся вывески), погодных условий, а также – для утилитарного наружного освещения – количества и относительной скорости участников дорожного движения (**ЦУР 3, 11**).
3. Освещение, адаптированное к реальным внешним условиям (например, дорожным ситуациям, а также требованиям и предпочтениям различных участников), немислимо без использования сложных технологий управления освещением для оптимальной адаптации параметров освещения и использования средств коммуникации для обеспечения взаимодействия освещения с другими службами в рамках концепции «умного города». Внедрение новых передовых технологий, таких как *Li-Fi (Light Fidelity)*, беспилотных автомобилей и летательных аппаратов, умных колонок или искусственного интеллекта,

являются многообещающей основой для разработки инновационных высокотехнологичных осветительных приборов и создания прочных и надежных сетей для устойчивой инфраструктуры (ЦУР 9, 11). Доступность, экономия энергии, смягчение воздействия на окружающую среду, обеспечение безопасной и здоровой городской среды являются основными целями (ЦУР 3, 8, 13). Высококачественное освещение должно удовлетворять особые потребности людей всех возрастов и способностей (ЦУР 10).

4. Качество освещения является проблемой для рабочих мест на открытом воздухе в ночное время, когда темный фон (близкая к нулю фоновая яркость) увеличивает риск появления бликов, особенно в сочетании с требованиями к высокому уровню освещённости на относительно больших площадях. Точное регулирование освещённости, адаптивное управление освещением и предотвращение попадания посторонней засветки — вот возможные общие решения, требующие специальных исследований с учётом различных задач, настроек и местоположений.

5. Нежелательные последствия навязчивого света включают снижение качества астрономических наблюдений из-за засветки неба, воздействие на здоровье людей и нарушение сред обитания флоры и фауны на уровне как отдельных видов, так и экосистем. Электрическое освещение изменяет циклы размножения и опыления, поведенческие модели и ритмы, уязвимость перед хищниками и уровень гормонов у широкого набора видов растений и животных. Из-за огромного разнообразия видов проблема сложна и потребует проведения исследований во многих местах с привлечением многих специалистов-биологов. Как и во всех актуальных темах, ключевыми параметрами, которые необходимо изучить, являются спектр, интенсивность, продолжительность, время и характер воздействия света (ЦУР 3, 14, 15).

2.4 Основы фотобиологии для сельского хозяйства и аквакультуры



«Внутреннее фермерство», включая аквакультуру, является одновременно средством смягчения последствий изменения климата и адаптации к нему, предоставляя возможность выращивать продукты питания и разводить животных в чистых условиях, часто недалеко от места их потребления. Это может привести к улучшению питания местного населения, особенно в местах, удалённых от регионов с более умеренным климатом (например, арктических районов, пустынь), а также в зимние месяцы в регионах с умеренным климатом, и может снизить потребность в транспортировке на большие расстояния из районов производства продовольствия в места потребления продуктов питания (ЦУР 2, 10). Строительство сельскохозяйственных объектов закрытого типа на заброшенных землях или на бывших промышленных объектах может снизить необходимость разрушения существующих

экосистем для расширения обрабатываемых земель (ЦУР 12). Успех этих работ будет в значительной степени зависеть от успешного создания энергоэффективных условий для соответствующих видов растений или животных.

Примерами конкретных исследовательских тем являются:

1. Независимо от того, находятся ли животные в помещении постоянно или только некоторое время, условия световой среды в большинстве животноводческих помещений значительно отличаются от естественной среды, в которой эволюционировали различные виды животных (домашняя птица, свиньи, коровы, овцы, рыбы, насекомые и т.д.). Это может негативно сказаться на благополучии животных³. Правильная спецификация и оценка осветительных установок могут обеспечить светотехнические характеристики, комфорт и обеспечение благополучия в таких помещениях, сбалансировав потребности как животных, так и людей, которые за ними ухаживают. Поскольку о требованиях к освещению для различных видов растений известно немного, получение этих знаний требует значительных исследовательских усилий (ЦУР 14, 15).
2. Ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучение используются в сельском хозяйстве для содействия быстрому и эффективному росту растений и грибов. Характеристики используемого оптического излучения изменяются на разных этапах цикла роста растений, поскольку им может потребоваться разное время для роста корней, листьев, цветов и плодов. Оптическое излучение также можно использовать для защиты растений (отпугивания вредителей) или облегчения их опыления (привлечения насекомых). Производственные мощности также могут быть использованы для выращивания растений от семян до стадии, на которой их можно будет высаживать в дикой природе для восстановления популяций растений и борьбы с опустыниванием и утратой биоразнообразия. Что касается растений и животных, мы находимся на начальной стадии понимания того, какое оптическое излучение требуется для каждого конкретного вида (ЦУР 14, 15).
3. По мере расширения наших знаний в этих областях нам будет необходимо разрабатывать подходящие термины, величины, протоколы измерений и стандарты калибровки, соответствующие стандартам СИ, для поддержки сельского хозяйства и аквакультуры (ЦУР 9).

2.5. Обеспечение возможности применения безопасного и полезного оптического излучения



³ Благополучие животных (Animal welfare) — термин, обозначающий заботу об условиях жизни животных с учётом их физических, этологических и других естественные потребности (*прим. ред.*)

Влияние оптического излучения на биологические – помимо зрительных – процессы является одним из факторов, определяющими здоровье и благополучие (ЦУР 3), и ожидается, что будут разработаны новые стандарты в средне- и долгосрочной перспективе.

1. В дневное время высокий уровень освещённости помогает нам сохранять бдительность и «синхронизировать» наши внутренние часы с солнечным днём и сезонными изменениями. Более низкий уровень освещённости вечером «сигнализирует» об окончании рабочего дня, а ночная темнота способствует хорошему сну, во время которого происходит восстановление организма. Всё это известно, но остается большая неопределённость в отношении того, какое количество света, какого спектрального состава, как долго и в какое время требуется, а также в отношении правильного способа обеспечения такого воздействия с наименьшими затратами энергии.

2. В последние годы заболеваемость миопией (близорукостью) заметно возросла. Миопия, как правило, возникает в школьные годы и прогрессирует в раннем взрослом возрасте, что увеличивает риск слепоты и других осложнений со стороны органов зрения в дальнейшей жизни. Учитывая возможные пожизненные последствия неадекватного воздействия света в детстве, знания по этой теме необходимы в срочном порядке (ЦУР 3).

3. Источники света с изменяющейся во времени мощностью могут негативно влиять на зрительное восприятие, когнитивные способности, движения глаз и мозговую активность. Некоторые люди более чувствительны к этим воздействиям, чем другие, но остается неопределённость в отношении того, кто наиболее чувствителен, и многое предстоит узнать о точных характеристиках *временной модуляции света*, которые вызывают наибольшие проблемы (ЦУР 3, ЦУР 8).

4. Современные источники света исключают излучение как в коротковолновом, так и в длинноволновом диапазоне оптического излучения, главным образом для экономии энергии и частично для уменьшения рисков. Ультрафиолетовое излучение и очень интенсивное коротковолновое излучение могут привести к неблагоприятным актиническим эффектам: канцерогенезу, кожной эритеме (солнечный ожог) и повреждению глаз в результате фотокератита и воздействия синего света⁴. Однако регулярные низкие дозы УФ излучения благотворно влияют на выработку витамина D в коже, и есть некоторые доказательства благотворного воздействия УФ излучения на психическое состояние и контроль кровяного давления. Правильное воздействие, позволяющее сбалансировать преимущества и риски актиничной радиации, пока не-

⁴ Для более полного понимания феномена «синего света» рекомендуем ознакомиться с Официальной позицией МКО по опасности синего света, выпущенной в апреле 2019 года и суммирующей международный научный опыт по изучению этой проблемы. Текст (в том числе и официальный перевод на русский язык) опубликованы на сайте МКО - <https://cie.co.at/publications/position-statement-blue-light-hazard-april-23-2019> (прим. ред.)

известно. Здесь было бы полезно расширить сотрудничество между специалистами в области медицины и освещения (ЦУР 3).

5. Кроме того, ультрафиолетовое излучение может использоваться для санитарных целей, обеззараживания воздуха и поверхностей от вирусов и других патогенных микроорганизмов, а также для очистки воды. Определение характеристик ультрафиолетовых устройств и способов их безопасного использования в жилых помещениях представляет интерес для улучшения общественного здравоохранения. В свою очередь, более широкое использование бактерицидного УФ-излучения потребует усовершенствования протоколов УФ-радиометрии и калибровки (ЦУР 6).

6. Излучение ближнего ИК диапазона (оптическое излучение в диапазоне приблизительно от 780 до 1000 нм) было исключено из современных источников света, поскольку фоторецепторы глаз человека нечувствительны в этом диапазоне длин волн. Тем не менее, недавние исследования (включая целенаправленное использование ИК излучения в медицинских целях) показали, что оно может оказывать благоприятное биологическое воздействие при общем освещении, возможно, за счет поглощения кожей или тканями. Более глубокое понимание эффектов ИК излучения позволит расширить наши знания о правильном освещении и разработать системы освещения для обеспечения их применения (ЦУР 3).

7. В медицине оптическое излучение широко применяется для лечения отдельных заболеваний. Хорошо известны примеры:

- использования светотерапии для лечения расстройств настроения и сна;
- применения направленного излучения ближним ИК для заживления ран;
- комбинированной терапии с использованием псоралена и УФ облучения для лечения кожных заболеваний.

Дальнейшие исследования лежащих в основе этих механизмов могут повысить эффективность лечения (ЦУР 3).

8. Исследователи нуждаются в надежных и хорошо откалиброванных фотометрах и носимых световых приборах с индивидуальной спектральной и направленной чувствительностью, которые учитывают как зрительные, так и другие нейроэндокринные реакции на свет (включая, в том числе, циркадную регуляцию). Многие ещё предстоит узнать о спектральных функциях и местах носки, соответствующих различным процессам, разработать подходящие измерительные величины и единицы измерения, а также создать практические устройства, которые будут отслеживать оптическое излучение для поддержания благополучия и здоровья так же, как и другие устройства и платформы для персонального мониторинга здоровья (ЦУР 3).

2.6. Измерение, моделирование, восприятие и воспроизведение цвета



Как промышленность, так и частные лица придают большое значение цветопередаче источников света, используемым материалам и всевозможным дисплеям. Определение цвета и внешнего вида объектов и изображений способствует улучшению повседневного самочувствия, например, улучшая качество изображения в онлайн-коммуникациях, увеличивая возможности медицинской диагностики и обеспечивая контроль качества на производстве (ЦУР 3, 8, 9, 12).

Хотя колориметрия, как правило, является устоявшейся дисциплиной с коммерческими приборами для измерения спектральных величин, в наших фундаментальных знаниях и требованиях есть пробелы, возникшие с развитием новых технологий, например, твердотельных источников света с узкими полосами излучения. МКО стремится привлечь внимание исследователей к определению показателей, инструментов измерения, методов переноса, чтобы охарактеризовать современные поверхности и обеспечить прослеживаемость измерений в системе СИ, тем самым поддерживая контроль качества. Конкретные целевые области включают:

1. Достижения в понимании физиологии зрения способствовали разработке колориметрии МКО, основанной на фундаментальных функциях колбочек, но нам предстоит ещё многое узнать о роли светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки (*ipRGC*). Межиндивидуальное различие остается недостаточно известным, особенно в части его влияния на метамеризм наблюдателя. Понимание этой вариабельности является шагом к снижению неравенства путем создания системы, способной учитывать различия в зрении (ЦУР 10) и поддерживает общую тему 1.2 «*Инклюзивное и справедливое освещение*».
2. Измерение параметров визуального восприятия – в частности, глянца, текстуры, прозрачности, блеска и белизны, а также большее число геометрических параметров, чем это было принято ранее, – по-прежнему имеет первостепенное значение для исследований (ЦУР 9, 12).
3. Эксперты не пришли к единому мнению о том, какая геометрия функции распределения двунаправленного отражения (BRDF) (размер, поляризация, форма и однородность освещённой области) будет подходящей для стандартных образцов (ЦУР 9). Кроме того, если использовать упрощенную геометрию, то возникает необходимость в количественной оценке погрешности измерений.
4. Покупая товары онлайн, потребители при выборе полагаются на устройства отображения информации. Они ожидают, что изображение, которое они увидят, будет точно соответствовать товару, который они получают.

Передача цветопередачи с реального объекта на устройство формирования изображения, а затем на устройство отображения является сложной задачей, и в существующих моделях цветопередачи МКО имеются пробелы в знаниях, например, в отношении экстремальных условий яркости и более сложных условий просмотра. Можно ожидать, что повышение точности цветопередачи приведет к сокращению числа случаев, связанных с разочарованием потребителей (ЦУР 12).

5. Для успешного внедрения устройств дополненной реальности (AR), виртуальной реальности (VR) и расширенной реальности (XR) требуется визуальная информация о внешнем виде каждого отображаемого элемента (ЦУР 9). Эти новые технологии также выиграют от использования данных о реальных цветовых гаммах конкретных сцен и изображений.

6. Для неоднородных 3D-объектов необходима система метрологии, которая объединяет 3D-форму, локальную текстуру и свойства, влияющие на внешний вид. Создание условий для воспроизведения желаемых форм, цветов и внешнего вида поверхности 3D-объектов является сложной задачей, но представляет большой интерес для промышленности. Измерительные приборы, протоколы и средства калибровки также являются частью этой задачи. Хотя 3D-печать сопряжена с особыми техническими трудностями, эти усилия оправданы социальными и экологическими преимуществами точной 3D-печати. Возможность местного производства товаров, включая комплектующие для оборудования по запросу, была бы гораздо менее затратной, чем производство, транспортировка и последующее хранение большого количества, возможно, ненужных товаров (ЦУР 9, 12).