создания универсальной информационной модели и единого подхода к обмену данными, основой которой является стандарт СТП 33240.01.108-22 «Определение единой информационной модели электрической сети в сочетании с единой системой идентификации объектов модели и единой системой управления нормативно-справочной информацией». Применение [2] позволит обеспечить совместимость компьютерных программ, разрабатываемых для автоматизации информационного обмена в электроэнергетике, с информационными продуктами, поддерживающими обмен данными в *CIM*-формате, повысить надежность моделирования, а также снизить затраты на разработку интерфейсов между программным обеспечением. *CIM*-формат содержит описание субъектов электроэнергетики и потребителей электрической энергии, объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок, входящих в их состав оборудования, устройств, их связей, свойств и иных понятий в соответствии с профилем информационной модели [2].

Дальнейшая задача исследований: развитие программы-конвертора с целью адаптации для работы с *CIM*-форматом, что позволит обеспечить интеграцию различных программных комплексов и создать единую цифровую среду проектирования.

Таким образом, проведен анализ программы *nanoCAD* и установлена возможность адаптации ее библиотек УГО под стандарты Республики Беларусь через панель «Инструменты». Разработаны алгоритм и программа на языке *Python* для конвертации пиксельных схем из *LineCapacity* в векторный *DXF* с последующим формированием *DWG* в *nanoCAD*. Это позволяет автоматизировать перенос данных, исключить ручную перерисовку и обеспечить совместимость с требованиями стандартов Республики Беларусь. Дальнейшая перспектива развития программы включает ее адаптацию для импорта и работы с *CIM*-моделями, а также генерацию интеллектуальных схем в *DWG*-формат согласно [2].

Литература

1. Полещук, Н. Н. Путь к nanoCAD / Н. Н. Полещук. – СПб. : БХВ-Петербург, 2017. – 365 с.
2. Определение единой информационной модели электрической сети в сочетании с единой системой идентификации объектов модели и единой системой управления нормативно-справочной информацией : СТП 33240.01.108-22. – Минск : Белэнерго, 2025. – 27 с.
3. Оперативно-диспетчерское управление. Нормальные схемы электрических соединений объектов электроэнергетики : ГОСТ 56303-2014. – М. : Стандартинформ 2014. – С. 16.
4. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Разработка нормальных схем электрической сети и нормальных схем электрических соединений энергообъектов : СТП 33243.20.524-25. – Минск : Белэнерго 2025. – 74 с.
5. Автоматизация расчета режима низковольтной электрической сети / Д. И. Зализный, Ю. А. Рудченко, Д. И. Веремеева, Д. В. Сучков // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2025. – № 1 (100). – С. 104–115.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭФФЕКТИВНОЙ СИНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Н. В. Ляховец

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Т. Н. Савкова, А. И. Кравченко

Представлен анализ эффективной синей освещенности источников света на примере современных светодиодных ламп. Рассмотрена методика измерения основных светотехнических характеристик, позволяющая объективно оценить спектральный состав излучения.

На основе экспериментальных данных проведена оценка мощности синих пиков в исследуемых образцах и выполнено их сравнение.

Ключевые слова: светодиодные лампы, эффективная синяя освещенность, спектральный состав излучения, светотехнические измерения.

Взвешенная энергетическая освещенность синего света используется для оценки фотобиологической опасности синего света (Blue Light Hazard – BLH) для сетчатки глаза. Она позволяет количественно измерить насколько опасен свет источника (LED, лампа) с точки зрения риска вызвать фотохимическое повреждение сетчатки (макулодистрофию) при длительном воздействии. Оценка фотобиологической опасности синего света (диапазон 400–500 нм) проводится специализированными аккредитованными лабораториями в соответствии с международным стандартом IEC 62471 (или ГОСТ Р МЭК 62471). Испытания включают измерение спектральной яркости и оценку риска фотохимического повреждения сетчатки, а также присваивает классы риска от 0 (безопасно) до 3 (высокий риск).

Предельно допустимая концентрация синего света, представляющего опасность для сетчатки глаза, составляет 1 000 000 Дж/м²/ср. Например, для группы риска 0 требуется яркость < 100 Вт/м^2/ср, при этом соответствующее время воздействия не должно превышать 10 000 секунд; для группы риска 1 – яркость < 10 000 Вт/м^2/ср, при этом соответствующее время воздействия не должно превышать 100 секунд; а для группы риска 2 – яркость < 4 000 000 Вт/м²/ср, при этом соответствующее время воздействия не должно превышать 0,25 секунды. Для небольших источников света предел составляет 100 Дж/м^2, что, как правило, относится к светодиодным источникам света.

Фотобиологическая безопасность регламентируется стандартами, такими как ГОСТ IEC 62471-2013, устанавливающими предельные уровни облучения глаз и кожи для предотвращения фотохимических и термических повреждений (УФ, видимый свет, ИК-излучение). Значения зависят от длины волны, времени воздействия (от 0,01 мс до 8 ч) и структуры источника (точечный/протяженный).

Предельно допустимая концентрация синего, представляющая опасность для глаз, должна составлять < 100 Дж/м^2. Например, для группы риска 0 требуемая интенсивность излучения составляет < 0,01 Вт/м^2, при этом соответствующее время воздействия не превышает 10 000 с; для группы риска 1 требуемая интенсивность излучения составляет 1 Вт/м^2, при этом соответствующее время воздействия не превышает 100 с; а для группы риска 2 требуемая интенсивность излучения составляет 400 Вт/м^2, при этом соответствующее время воздействия не превышает 0,25 с [1].

Таблица 1

Суммарное значение предельной дозы для кожи и роговицы в соответствии ГОСТ IEC 62471-2013

Наименование опасности	Синий свет от малого источника
Соответствующее уравнение	$E_B = \sum E_\lambda B(\lambda)\Delta\lambda$
Диапазон длин волн, нм	300–700
Длительность воздействия, с	≤ 100 > 100

Окончание табл. 1

Наименование опасности	**Синий свет от малого источника**
Ограничивающая апертура, рад (град)	< 0,011
Предельные дозы при постоянной энергетической освещенности Вт · м$^{-2}$	100/t

Фотобиологическая безопасность, согласно определению, IEC/EN 62471, подразделяется на множество классов, представленных на рис. 1, включая актиническое УФ-излучение кожи и глаз, УФ-излучение типа А для глаз, синее излучение сетчатки, маломощные источники синего света для сетчатки, термическое излучение сетчатки, термическое излучение сетчатки при слабом зрительном воздействии, инфракрасное излучение для глаз и термическое воздействие на кожу и др. В данной работе определялось значение синего света от малого источника излучения.

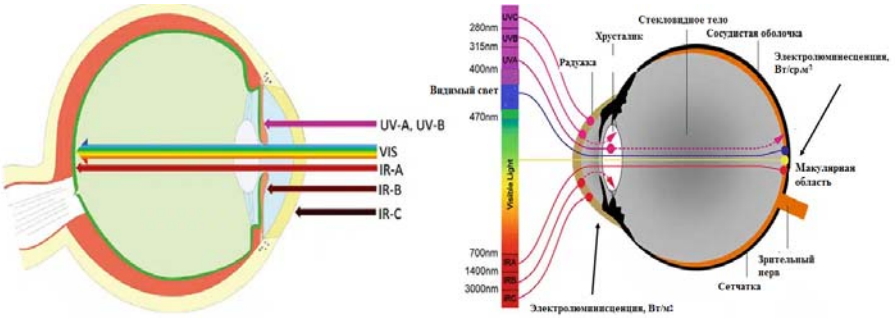


Рис. 1. Фотобиологическая безопасность для различных частей человеческого глаза

Синий свет (400–450 нм) от малых источников (экраны смартфонов, LED-лампы) оказывает негативное влияние, вызывая цифровой зрительный синдром, сухость глаз и раздражение. Длительное воздействие повышает риск повреждения сетчатки, способствуя развитию возрастной макулярной дегенерации, а также может провоцировать катаракту [2–4].

Измерения спектров излучения проводилось с использованием спектрометра – спектрального прибора, состоящего из источника света, одного (двух) монохроматоров и системы регистрации. Регистрация спектра излучения осуществлялась монохроматором, за выходной щелью которого устанавливался фотоумножитель, подключенный к электронной схеме измерения и обработки спектров [5, 6].

В монохроматоре были установлены две дифракционные решетки с 1 200 штрихами на миллиметр, что соответствует диапазону измерения излучения от 400 до 800 нм. Предусмотрен как ручной режим установления длины волны, так и его установка с помощью шагового двигателя и компьютера. За выходной щелью монохроматора помещался фотоумножитель ФЭУ-100. Далее фототок умножителя усиливался усилителем постоянного тока и направлялся на вход аналого-цифрового преобразователя контроллера и далее – в компьютер. Управление движением шагового двигателя осуществлялось контроллером Arduino Uno R3 через транзисторные ключи, выполненные на мощных транзисторах КТ-818. Гальваническая развязка контроллера и транзисторных ключей была осуществлена на оптронах HCPL-817. Разработанная установка позволяет исследовать спектры излучения от 400 до 800 нм.

Для всех измеренных спектров была рассчитана актиничная доза (activation dose) путем перемножения значений энергетической освещенности, измеренных для всех длин волн спектра излучения источника света, на соответствующие тем же длинам волн значения спектральных эффективностей излучения (спектр действие). Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения цветовой температуры светодиодных ламп

Наименование источника света	Потребляемая мощность, Вт	Взвешенная энергетическая освещенность синего света, %	Измеренная цветовая температура, К
Лампа накаливания Л40	40	100	2520
Лампа светодиодная Ecola (синий шар)	5	1294	1640
Лампа светодиодная Ecola (красный шар)	5	3,3	5240
Лампа светодиодная Ecola (зеленый шар)	5	152,8	8050
Лампа светодиодная Ecola (желтый шар)	5	57,9	2820
Лампа светодиодная Ecola (белый шар)	7	501,3	3760
Лампа светодиодная Ecola (белый шар iN HOME)	11	632	3730

Результаты измерения показывают, что энергетическая освещенность синего света наименьшая для светодиодной лампы Ecola (красный шар) с потребляемой мощностью 5 Вт. Лампу Ecola (синий шар) с такой же потребляемой мощностью нежелательно применять для освещения жилых помещений.

Литература

1. Фотобиологическая безопасность светодиодных светильников в соответствии со стандартом IEC 62471. – 2026. – URL: https://ru.zgsm-china.com/ (date of access: 20.04.2026).
2. Зак, П. П. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков / П. П. Зак, М. А. Островский // Светотехника. – 2012. – № 3. – С. 4–6.
3. Дюкин, С. LED-мониторы и «синяя опасность» / С. Дюкин // Светотехника. – 2017. – № 5/49. – С. 16–18.
4. Ham, W. T. Retinal sensitivity to damage from sport wavelength light / W. T. Ham, H. A. Mueller // Nature. – 1976. – Vol. 260. – N 5547. – P. 153–155.
5. Савкова, Т. Н. Экспериментальная спектроскопическая установка на базе монохроматора МДР-6 / Т. Н. Савкова, А. М. Яцино, А. И. Кравченко // Естественные науки – базис подготовки специалиста для органов и подразделений по ЧС : материалы III Респ. науч.-практ. конф., Гомель, 1 апр. 2015 г. / ГИИ МЧС Респ. Беларусь, Гомел. фил. Нац. акад. наук Беларуси ; редкол. П. В. Астахов [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 50–56.
6. Получение и свойства люминофорных покрытий на основе наноструктурированного иттрий-алюминиевого граната и легкоплавкого стекла / О. В. Урецкая, Н. Е. Дробышевская, Е. Н. Подденежный [и др.] // Тонкие химические технологии. – 2015. – Т. 10, № 3. – С. 85–90.