

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СВЕТИЛЬНИКОВ

т.и.д., профессор Т.Т.Оморов

Рахимов Дилмурод Марипжанович - Аспирант

Ошский технологический университет

Muratrahimov@mail.ru

T.T.Omorov@mail.ru

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7572872>

Аннотация: В статье даны краткие сведения о электрическом освещении, ресурсосбережении, переходе на высокоэкономичные устройства, светодиодной технике и новых технологиях в электрическом освещении. Рассмотрены основные качественные, светотехнические, электрические характеристики осветительных устройств и их устойчивость к внешним воздействиям, а также достоинства и недостатки различных осветительных приборов, анализ характеристик освещения со светодиодными и люминесцентными светильниками; анализ качества освещения.

Ключевые слова: источники света, освещение, осветительные приборы, коэффициент мощности, качества электроэнергии, пиковые напряжения, динамические искажения, световая эффективность, светораспределения, мощности, силы света, светильники, светодиодная лампа, параметр дискомфорта, освещенность.

ЭНЕРГИЯНИ ҮНӨМДӨӨЧҮ ЭАМАНБАП ШАМДАРДЫ КОЛДОНУУДА ЖАРЫКТЫН МҮНӨЗДӨМӨЛӨРҮН ИЗИЛДӨӨ

Аннотация: Макалада электр менен жарыктандыруу, энергия ресурстарын сактоо, жогорку үнөмдүү түзүлүштөргө өтүү, ошондой эле электр менен жарыктандырууда жарык диоддуу техника жана технологиялар тууралуу кыскача маалымат берилген.

Жарыктандыруучу түзүлүштөрдүн негизги электрдик, жарыктык-техникалык, сапаттык мүнөздөмөлөрү жана алардын сырткы чөйрөгө туруктуулугу каралган, ошондой эле ар кандай жарык берүүчү түзүлүштөрдүн артыкчылыктары жана кемчиликтери талкууланган, жарыктын сапаты талданган.

Ачкыч сөздөр: жарык булактары, жарыктандыруу, жарыктандыруучу түзүлүштөр, кубаттуулук коэффициенти, электр энергиянын сапаты, жогорку чыңалуу, динамикалык бурмалоо, жарыктын натыйжалуулугу, жарык бөлүштүрүү, жарыктын күчү, чырактар, жарыкдиоддуу шам, ыңгайсыздык параметри, жарыктык.

RESEARCH OF LIGHTING CHARACTERISTICS AT APPLICATION OF MODERN ENERGY-SAVING LUMINAIRES

Abstract: The article gives brief information about electric lighting, resource saving, the transition to highly efficient devices, LED technology and new technologies in electric lighting. The main qualitative, lighting, electrical characteristics of lighting devices and their resistance to external influences, as well as the advantages and disadvantages of various lighting devices, analysis of lighting characteristics with LED and fluorescent lamps; lighting quality analysis.

Key words: light sources, lighting, lighting devices, power factor, power quality, peak voltage, dynamic distortion, light efficiency, light distribution, power, light intensity, lamps, LED lamp, discomfort parameter, illumination.

ВВЕДЕНИЕ

Энергопотребление во всем мире постоянно растет, причем быстрыми темпами. Для примера, потребление электроэнергии в нашей стране с 2006 года выросло в 2,5 и ожидается его дальнейшее увеличение. Главный вопрос, который возникает, состоит в том, что выгоднее: увеличение генерирующих мощностей или снижение потребления электроэнергии. И однозначно все приходят к выводу, что экономически выгодно и целесообразно не создание новых мощностей (строительство электростанций, ЛЭП – что тоже будет необходимо в будущем), а ведение политики на создание мероприятий по экономии электроэнергии [2].

Немалая часть, а именно на нужды освещения, в Кыргызстане ежегодно расходуется около 25% от общего объема электропотребления в стране. Если брать офисные помещения, то эта увеличивается 40 – 60 %. Поэтому одним из путей решения является применение энергосберегающих технологий в освещении. Существует несколько вариантов исполнения энергосберегающих приборов освещения:

1. Самыми распространенными на сегодняшний день являются компактные люминесцентные энергосберегающие лампы. У такой лампы имеется ряд плюсов и минусов. Наиболее большим минусом, конечно же, является наличие опасных веществ – ртуть.

2. Менее знакомы индукционные лампы. Свечение происходит благодаря электромагнитной индукции в газе, заполняющем лампу. Для получения светового излучения используется комбинация трех физических процессов - электромагнитной индукции, электрического разряда в газе, свечения люминофора при взаимодействии с газом. Индукционная лампа содержит твердотельную ртуть, что затрудняет способ утилизации. Индукционные лампы излучают вредное электромагнитное излучение, в связи с чем рекомендуется размещать их на высоте от 6 метров и выше [1].

3. Набирающие все большую популярность светодиодные светильники.

Светодиод или светоизлучающий диод (СД, СИД; англ. light-emitting diode, LED) — полупроводниковый источник света, содержащий один или несколько кристаллов, расположенных в одном корпусе с линзой, формирующей световой поток.

Излучаемый им свет находится в узком диапазоне спектра. Иными словами, его кристалл изначально излучает конкретный цвет — в отличие от лампы, излучающей более широкий спектр, где нужный цвет можно получить лишь применением внешнего светофильтра. Диапазон излучения светодиода во многом зависит от химического состава использованных полупроводников.

Принцип его работы основан на электролюминесценции – холодного свечения, возникающего при протекании электрического тока. При пропускании электрического тока через р-п переход в прямом направлении, носители заряда — электроны и дырки — рекомбинируют с излучением фотонов.

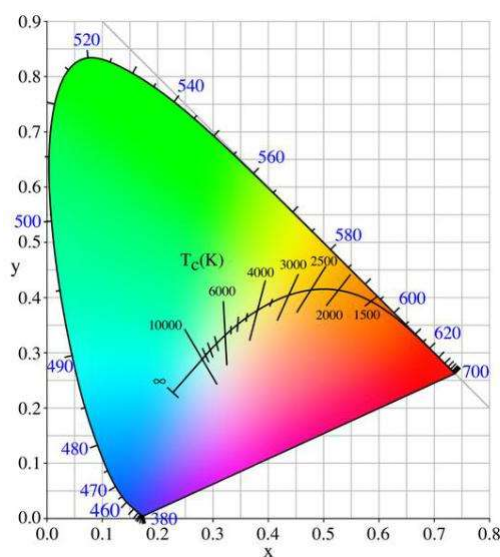
МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Не все полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при рекомбинации. Меняя состав полупроводников, можно создавать светодиоды разнообразных длин волн от ультрафиолета до среднего инфракрасного диапазона.

Количественно цвет источника света характеризуется координатами цветности на диаграммах Международной комиссии по освещению. Принято говорить о «холодном», «нейтральном» и «тёплом» белом свечении, но количественно сравнивают спектры

излучения источника света и абсолютно чёрного тела при данной температуре. Говоря техническим языком, слово «температура» в понятии коррелированной цветовой температуры характеризует излучение абсолютно черного тела – твердого тела, обладающего определенными свойствами и находящегося в раскаленном состоянии. Температура измеряется в градусах Кельвина (K), в которых принято измерять абсолютную температуру. При повышении температуры черного тела цвет испускаемого им светового излучения изменяется следующим образом: красный - оранжевый- желтый- белый- голубой. Солнце - тот источник света, в лучах которого сформировалось человеческое зрение,- имеет цветовую температуру около 6000 K, вольфрамовая нить в лампе накаливания - около 2500 K. Начало видимого излучения абсолютно чёрного тела наблюдается уже при 1200 K, и соответствует красной границе спектра. То есть, попросту говоря, красному цвету соответствует цветовая температура 1200 K, при 2000 K цвет станет оранжевым, а затем, при 3000 K - жёлтым, при достижении температуры 5500 K цвет излучения был бы белым, становясь при 6000 K голубоватым, и при дальнейшем нагревании вплоть до 18000 K всё более голубым, что соответствует фиолетовой границе спектра.

Эти цифры и назвали «цветовой температурой» излучения. Последовательность изменения цвета соответствует кривой в цветовом пространстве [3].



Ещё одна важная цветовая характеристика — воспроизведение цвета при освещении светодиодом. Такой параметр, как индекс цветопередачи сравнивает спектры отражаемого излучения светодиода от нескольких (8 или 14) поверхностей разного цвета со спектрами отражения света стандартных источников. Максимальный индекс цветопередачи равен 100.

Для дневного освещения индекс цветопередачи близок к 100. Индекс цветопередачи светодиодов белого свечения напрямую зависит от отношения интенсивностей разных спектральных полос в спектре. Их отношение изменяют, подбирая либо интенсивности синего, зелёного и красного светодиодов, либо нужные люминофоры, возбуждаемые синим светом. Большой индекс цветопередачи требует существенной доли красного и фиолетового излучений, что связано с уменьшением световой отдачи источника света. Это обусловлено падением чувствительности глаза к краям видимой области. В светодиодных источниках освещения ищут компромисс между величиной индекса цветопередачи и большой световой отдачей.

Для современных белых светодиодов требуется индекс цветопередачи не менее 80, в ответственных условиях он должен быть более 90. Например, в музеях установленные светодиодные освещают картины освещены так же, как в мастерской художника.

Светодиоды среднего инфракрасного излучения.

Известно, что в средней инфракрасной (ИК) области спектра (диапазон длин волн 2–6 мкм) лежат характеристические полосы поглощения целого ряда важных химических соединений. Среди них вода и ее пары (длины волн поглощения 1,94 мкм и 2,55–2,8 мкм), метан (2,30 мкм и 3,30 мкм), двуокись углерода (2,65 мкм и 4,27 мкм), окись углерода (2,34 мкм и 4,67 мкм), окислы азота (4,08–4,44 мкм) и многие другие неорганические и органические вещества. Сенсоры этих веществ требуются, как в промышленном производстве, так и для контроля состояния атмосферы и для бытовых нужд. Еще одним перспективным направлением использования сенсоров, работающих в средней ИК области спектра, является создание приборов неинвазивной (бесконтактной) медицинской диагностики.

Существует целый ряд оптических газоанализаторов, в которых используются тепловые источники ИК излучения. В этих приборах из

широкого спектра излучения черного тела с помощью оптических фильтров вырезается нужный спектральный диапазон. Однако еще более перспективными являются ИК сенсоры на основе светодиодов. По сравнению с тепловыми источниками светодиоды обладают на три порядка более высоким быстродействием, меньшими габаритами, более низкой потребляемой электрической мощностью, простотой конструкции (отсутствует необходимость в оптических фильтрах и вакуумировании), существенно большим временем жизни, а при массовом производстве – более низкой себестоимостью.

Разрабатываемые в настоящее время ИК светодиоды базируются на полупроводниковых соединениях их твердых растворах, в частности, на твердых растворах соединений InAs, InSb, InP, GaSb и др. Основным недостатком существующих ИК светодиодов является их невысокая эффективность: мощность светодиодов среднего ИК диапазона обычно не превышает нескольких десятков микроватт.

Светодиоды ультрафиолетового излучения.

В мире широко используются различные источники ультрафиолетового излучения. Особенно развито использование ультрафиолетового излучения в медицине и косметологии и в связанных с ними биологических и медицинских научных исследованиях. В качестве источников ультрафиолетового излучения в серийно выпускаемом оборудовании для ультрафиолетового отверждения композитных материалов используются ртутные лампы, недостатки которых хорошо известны: низкий (порядка 0,5 %) КПД; малый (порядка 2 тыс. ч) срок службы; большое выделение тепла и озона; трудности с утилизацией. Современные ультрафиолетовые светодиоды имеют ресурс более 20 тыс. ч, необходимый спектр излучения, не нуждаются в специальной утилизации и их применение взамен ртутных ламп обеспечивает повышение энергоэффективности и экологической безопасности оборудования.

В последнее время бурно развиваются новые области применения источников излучения ультрафиолетовой области спектра, что обусловлено появлением компактных долговечных ультрафиолетовых светодиодов. Например, ультрафиолетовое отверждение полимеров (нефтехимическая промышленность, полиграфия, мебельное производство и др.), криминалистике, экспресс идентификация химических веществ и биологических

объектов (отравляющих и взрывчатых веществ, наркотиков т.д.). Особое место в новых применяемых ультрафиолетовых излучателях занимают светодиодные технологии дезинфекции воды, алкогольной продукции и продуктов питания для их длительного хранения, что особо актуально для предприятий Кыргызстана.

Уже сейчас широко используются мощные ультрафиолетовые светодиоды, которые полностью перекрывают весь диапазон спектра ультрафиолетового излучения.

Основными достижениями в развитии технологии производства ультрафиолетовых светоизлучающих диодов стали переход в солнечно слепой диапазон, а также увеличение оптической мощности за счет применения более совершенных материалов, роста плотностей тока, применения подложек с очень малым тепловым сопротивлением и создания матричных светоизлучающих диодов.

Исследования влияния спектрального состава света и интенсивности на эффективность фотосинтеза и продуктивность различных растений, показали, что интенсивности в пределах 150-220 Вт/м² для выращивания светолюбивых растений являются наиболее благоприятным, а оптимальный состав излучения имеет следующее соотношение по спектру: 30% в синей области (380-490 нм), 20% - в зеленой (490-590 нм), 50% - в красной области (600-700 нм). С использованием такого искусственного освещения были получены урожаи, в несколько раз более высокие, причем за более короткие (в 1,5-2 раза) сроки. Диапазон длин волн излучения светодиодов в красной области спектра составляет 620-780 нм, в оранжевой – 600-620 нм, в желтой – 585-595 нм, в зеленой – 500-570 нм, в голубой – 465-490 нм, в синей области – 430-465 нм. Таким образом, комбинируя светодиоды различных цветовых групп, можно получить источник света с любым спектральным составом в видимом диапазоне. Рассматривая светодиоды в растениеводстве в качестве источников освещения, нельзя упустить существенные преимущества, такие, как малую потребляемую энергетическую мощность и в разы превышающее эксплуатационное время, в сравнении с другими искусственными источниками освещения. Что в свою очередь приводит к более долгосрочному и низкому потреблению электроэнергии светодиодными светильниками, а в крупных масштабах на примере теплицы экономия будет значительной. Имея возможность управлять интенсивностью излучения светодиодных светильников, можно получить различные по интенсивности и составу спектры и подбирать необходимые для конкретного этапа роста растения. К тому же светодиоды являются полностью пожаробезопасными и устойчивыми к внешним воздействиям.

Области применения.

Светодиодные источники света, состоящие из светодиодов, на сегодняшний день являются самыми перспективными осветительными приборами, так как обладают целым рядом преимуществ перед традиционными источниками света и нашли широкое применение, в окружающем нас мире.

Уже в настоящее время светодиоды используются:

- Во всех видах уличной рекламы: это и объемные световые короба, и контурная подсветка вывесок светодиодными лентами, за счет гибкости которых им можно придать любые формы, и светодиодные табло, медиафасады, и даже альтернатива неону. Главным преимуществом использования светодиодов в рекламе, заключается в том, что яркую вывеску очень трудно не заметить.
- Архитектурная и ландшафтная подсветка. Это позволяет придать неповторимый вид как зданиям и сооружениям, так и ландшафту.

- Дорожные знаки и светофоры, а так же магистральные информационные табло. В сравнении с галогеновыми лампами в светофорах старого поколения, светодиоды лишены таких недостатков, как маленький угол обзора и недостаточная видимость в солнечный день, что снижает количество дорожно транспортных происшествий и аварийных ситуаций на дороге.
- Дизайн интерьера.
- Мобильные устройства. Широкое применение сверх яркие светодиоды нашли в сотовых телефонах и других портативных устройствах. Используются как лампы подсветки для жидкокристаллических дисплеев, клавиатуры.
- Внутреннее и внешнее освещение в автомобилях.
- Растениеводство. Благодаря своим уникальным свойствам, светодиодные осветительные устройства в теплицах позволяют получить большой урожай в более короткие сроки.
- В медицине. От ультрафиолетовых для загара и лечения кожи до хирургических осветителей. Светодиодные аппараты по терапевтической эффективности не уступают лазерным, а благодаря портативности, простоте обслуживания и низким ценам – доступны широким слоям населения.
- Наружное и внутреннее освещение. На долю освещения приходится около 12 % всей производимой электроэнергии. Можно выделить три основных сектора потребления электроэнергии – промышленный, коммерческий (общественный) и жилой сектор. Следует сразу заметить, что в этих трех секторах при переходе с традиционных источников искусственного освещения, таких как лампы накаливания и люминесцентные лампы, на светодиодные источники света, можно достичь колоссальной экономии за счет низкой потребляемой мощности.

Освещение светодиодами, их преимущества и недостатки.

Приход светодиодов в освещение стал возможен благодаря многолетнему развитию технологий и идей создания полупроводниковых многокомпонентных соединений. Этому приходу способствовали, достигнутые в середине 1990-х годов, два научно-технологических результата:

- Освоение нитридных, AlGaInN, и фосфидных, AlInGaP, полупроводниковых многокомпонентных соединений светодиодов, которые по спектральному анализу показали отличные результаты, перекрыв практически весь спектральный диапазон.
- Светодиоды также превзошли лампы накаливания по КДП, продемонстрировав тенденцию стремительного роста.

Явное преимущество светодиодов – это их эффективность преобразования электроэнергии в световую. Уже сейчас серийные светодиоды имеют показатели светотдачи 170 лм/Вт, промышленные 110 лм/Вт и каждый год улучшаются, в то время как лампы накаливания ограничены светотдачей 10-18 лм/Вт, а люминесцентные лампы 100-120 лм/Вт.

Срок службы светодиодов напрямую зависит от температуры кристалла, но поскольку температура активной области светодиодов близка к комнатной, то 50000 часов работы, гарантированные производителем, реальный, а зачастую превышает их. Сейчас срок службы светотехнических устройств со светодиодами ограничивается лишь ресурсом источников питания – преобразователей переменного тока в постоянный. Светодиоды в

отличии от ламп накаливания не перегорают сразу, а постепенно уменьшают излучаемый световой поток в зависимости от отработанного количества часов [4].

Светодиоды имеют направленное излучение за счет пластиковой линзы, покрывающей кристалл светодиода.

Безусловно, перспективно и экономически выгодно применение светодиодов в системах аварийного освещения, а также во взрывозащищённых светильниках с любой степенью взрывозащиты.

Экономия электроэнергии в освещении светодиодами в отличие от других источников света стоит рассматривать не только с материальной составляющей, сколько с экологической безопасности. Каждый сэкономленный киловатт энергии – это уменьшение сжигания углеводородов, вредных выбросов в воздух и отсутствие необходимости строительства новых электростанций, передающих сетей и другой инфраструктуры. Так же учитываются преимущества безвредной утилизации светодиодных ламп, по сравнению с ртутьсодержащими лампами.

Выгода перехода на светодиодные источники света.

Основным показателем, по которому электрические источники света можно сравнивать между собой, выступает световая эффективность.

Таблица 1.

Световая эффективность источников света

Источник света	Световая эффективность, лм/Вт
Лампа накаливания	10
Галогенная лампа	20
Люминесцентная лампа	110
Ртутная лампа (ДРЛ)	60
Натриевая лампа (ДНаТ)	130
Светодиодная лампа	140

Рассмотрим на примере лампы накаливания мощностью 60 Вт, которая создает световой поток :

$$\Phi = P \cdot e = 60 \cdot 10 = 600 \text{ лм},$$

где: P - мощность лампы, Вт;
 e - световая эффективность, лм/Вт.

Таким образом, для замены лампы накаливания мощностью 60 Вт, нам потребуется 4 светодиодных лампы мощностью 1Вт.

Светодиоды экономично используют энергию по сравнению с предшествующими поколениями электрических источников света — дуговыми, накаливаемыми и газоразрядными лампами. Так, световая отдача светодиодных систем уличного освещения с резонансным источником питания достигает 120 лм/Вт., что сравнимо с отдачей люминесцентных ламп — 100 - 120 лм/Вт. Для сравнения, световая отдача ламп накаливания, включая галогенные, составляет 10-24 лм/Вт.

При оптимальной схемотехнике источников питания, применении качественных компонентов и обеспечении надлежащего теплового режима срок службы светодиодных систем освещения при сохранении приемлемых для общего освещения показателей может

достигнуть 36-72 тысяч часов, что в среднем в 50 раз больше по сравнению с номинальным сроком службы ламп накаливания общего назначения и в 4-16 раз больше, чем у большинства люминесцентных ламп. Большой срок службы в некоторых применениях играет решающую роль.

Влияние излучения светодиодных ламп на здоровье человека.

Влияние света на глаза и здоровье человека достаточно хорошо изучено от таких источников, как галогенные лампы, солнце, лампы накаливания. Недавние исследования влияния новых светодиодных источников света на здоровье человека показали, что освещение стало социально-экономической проблемой из только лишь гигиенической проблемы. Важным аспектом гигиенической науки является обеспечение гармоничного равновесия между воздействием факторов окружающей среды и функциональным состоянием организма человека.

Появление новых высокоинтенсивных светодиодных источников, с ярко выраженным синим светом в спектре, выявило новые риски их влияния на здоровье человека и функции глаза, особенно подростков и детей. На основании системного подхода и знаний о вновь открытых фоточувствительных рецепторах была построена иерархическая модель взаимодействия «световая среда – глаз – система формирования зрительных образов – психофизиологическое его состояние». Подобный подход дал возможность разработать номенклатуру рисков негативного влияния спектра на здоровье человека и функцию глаза, а также сформулировать гигиенические требования к высокоинтенсивным светодиодным источникам света.

Свет фиолетово-сине-голубого диапазона спектра потенциально опасен для зрения человека, будучи даже слабым. Повреждение сетчатки глаза коротковолновым видимым излучением – медленная цепная фотохимическая реакция, результаты которой постепенно накапливаются в течение всей жизни. Началом фотохимического повреждения является липофусцин – фототоксичный пигмент старости, который из-за поглощения света в полосе 440–460 нм вырабатывает свободные радикалы, отравляющие пигментный эпителий сетчатки. Токсичные гранулы липофусцина постоянно и необратимо накапливаются в клетках пигментного эпителия сетчатки и являются одной из главных причин возрастных потерь зрения. Накопление липофусцина зависит от интегральной световой нагрузки на глаза, и уже к 10-20-летнему возрасту количество липофусциновых гранул, отвечающих за степень фотоповреждения, достигает половины от накапливаемого в течение всей жизни человека. Множественная совокупность медицинских данных свидетельствует о том, что фототоксичные эффекты сине-голубого света являются кумулятивными и приводят к медленному необратимому падению зрительных функций.

Наиболее опасной для глаза является спектральная полоса 440–460 нм. Соответствующие примеры приведены на рис. 1, графически отображая относительные спектры излучения белых светодиодов и соответствующие значения коррелированной цветовой температуры.

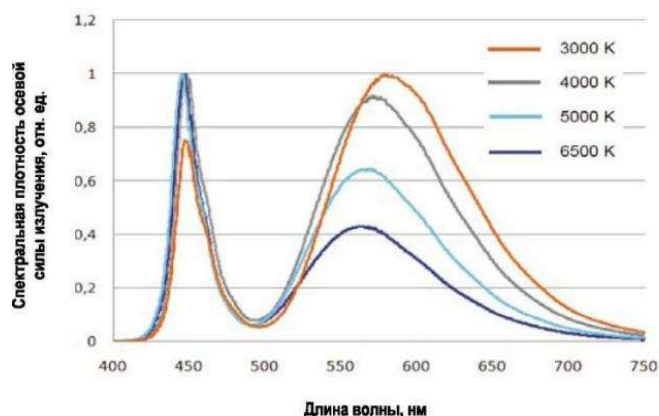


Рис.1 Спектры излучения белых светодиодов.

Одним из природных защитных устройств глаза от сине-голубого спектра является хрусталик, ослабляющий свет в сине-голубой области спектра и степень повреждения сетчатки глаза. Важно, что в сине-голубой области спектра хрусталики детей вдвое прозрачнее, чем хрусталики взрослых людей.

С учетом принципов восприятия человеком определенного диапазона спектра и последних открытий в области строения сетчатки глаза представлены модели восприятия света и его влияния на здоровье человека в табл. 1.

Таблица 1.

Влияния света от светодиодов на организм человека.

Модель восприятия света	Характеристика спектра света от светодиодов	Последствия воздействия света
Модель цветного зрения (RGB)	Низкий коэффициент цветопередачи из-за большой дозы синего цвета в общем спектре света	Неадекватное формирование матрицы цветопередачи
Модель поражения сетчатки свободными радикалами	Большая доза синего цвета в общем спектре света	Поражение сетчатки отокисли -- тельного стресса при воздействии накопленной дозы синего цвета
Меланопсиновая модель	Большой выброс синего цвета на 460 нм в общем спектре света. Провал в спектре на 480 нм которого нет в солнечном спектре.	Подавление выработки мелатонина. Накопление дефицита мелатонина. Выброс кортизола. Неадекватное управление диаметром зрачка глаза по отношению к управлению при солнечном свете.
Крипхромная модель	Большой выброс синего цвета на 440 нм. Наличие пульсирующего магнитного поля в среде обитания .	Управление сезонными биологическими часами. Повышение чувствительности к выбросам магнитного поля.
Модель деградации стекловидного тела	RGB – подсветка монитора	Появление в стекловидном теле эффекта “мушек”

В результате изучения приведенных в таблице моделей можно заключить, что свет длиной волны: 440 нм – воздействует на белок криптохром, 450–460 нм – вызывает окислительный стресс сетчатки, 460 нм и 480 нм – через меланопсин ганглиозных клеток сетчатки глаз управляют гормональной системой и диаметром зрачка соответственно.

Сегодня те, кто сталкивался со светодиодными светильниками, не сомневаются, что это – технологии будущего.

Высокая светоотдача, высокая экономичность энергопотребления светодиодных светильников достигаются общим уровнем снижения энергорасходов порядка 70 %

Светодиодные светильники обладают механической прочностью, и виброустойчивостью.

Экологическая безопасность позволяет сохранять окружающую среду, не требуя специальных условия по утилизации (то есть не содержит ртути, ее производных и других ядовитых, вредных или опасных составляющих материалов и веществ).

Использование светодиодных светильников, подключенных от солнечных батарей в качестве полноценного освещения (без внешнего источника питания) находит все большее применение в местах невозможности электроснабжения.

Литература:

1. **Кнорринг Г.М.** Осветительные установки [Текст] /. Л.: Энергоиздат, 1981. – 288 с.
2. **Белинский С.Я.** Энергетические установки электростанций. [Текст] / Ю.М. Липов // М., “Энергия” 2014. Стр. 356.
3. **Гуторов, М. М.** Основы светотехники и источники света: учеб. пос. для ВУЗов [Текст] / – 2-е изд. – М.: Энергоиздат, 1993. – 384 с.
4. Журнал «Наука, техника и образование». № 5 (23), 2016. Статья «Достоинства и недостатки светодиодного освещения».