

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет машиностроения
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой БЖД

_____ / А.И. Сидоров /

«__» _____ 2020 г.

Управление светодиодным освещением для рабочих мест с дисплеями

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР

Руководитель работы, доцент

_____ / А.В. Кудряшов /

«__» _____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-459

_____ / Ю.А. Ярмольчик /

«__» _____ 2020 г.

Нормоконтролер, доцент

_____ / А.В. Кудряшов /

«__» _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Ярмольчик Ю.А. Управление светодиодным освещением для рабочих мест с дисплеями. – Челябинск: ЮУрГУ, П–459, 2020. – 51 с., 13 ил., 4 табл., библиогр. список – 43 наим.

В ходе работы были проанализированы литературные источники и нормативные материалы. Их анализ дал представление о современных системах управления освещением.

Было выявлено, что при работе с дисплеями не учитывается работа за мониторами, поэтому освещение, которое там устанавливается, не соответствует нормативным требованиям работы за персональной электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ), так как освещенность нормируется в двух точках – на экране и рабочей поверхности стола. Чтобы решить эту проблему были рассмотрены несколько способов управления освещением, а также различные научные труды и патентные материалы, в которых были представлены существующие на данный момент системы управления освещением (СУО).

Сделан вывод о том, ни одна из рассмотренных систем не учитывала особенности нормирования освещения для работы за компьютером. Поэтому было решено создать систему управления освещением, которая полностью соответствовала бы требованиям к освещению рабочих мест с ПЭВМ.

Для обоснования количества датчиков освещенности, которые будут использоваться в системе для отслеживания уровня освещенности, было проведено теоретическое исследование. Для исследования были взяты, полученные опытным путем значения освещенности на экране, столе и полу.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Ярмольчик Ю.А.			Управление светодиодным освещением для рабочих мест с дисплеями	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Кудряшов А.В.					3	50
Н. контр.		Кудряшов А.В.						
Утв.		Сидоров А.И.						
						ЮУрГУ Кафедра БЖД		

На основании этих значений производилось выявление зависимости между показателями экрана и стола, а также между показателя экрана и пола. В результате проведенных исследований не было найдено зависимости между показателями, исходя из этого, был сделан вывод о том, что для корректной работы будущей СУО требуется два датчика освещенности. Результатом литературных и теоретических исследований стала разработка системы управления освещением.

Теоретическое исследование помогло обосновать минимальное количество датчиков освещенности, на основе этого началась разработка системы. Она отражает работу СУО, регулируя естественное и искусственное освещение под нормативные требования для работы с дисплеями. Далее производится разработка электрической схемы общей, на основе которой впоследствии будет собираться СУО. Далее была произведена сборка опытного образца системы управления освещением. Опытный образец смонтирован в лаборатории ЮУрГУ. На данный момент проводятся исследования его работоспособности в различных режимах.

В ходе работы были проведены исследования пульсации светодиодных источников света с возможностью регулирования светового потока. Исследования источников искусственного света показали, что многие из них не отвечают актуальным требованиям нормативных документов, что не позволяет использовать их для производственного освещения. Особенно высокие значения пульсации характерны для светильников с возможностью регулирования светового потока за счет ШИМ. Для обоснования зависимости между показателями пульсации освещенности и коэффициента регулирования ($K_{\text{рег}}$) проведен регрессионный анализ собранных данных. На основании анализа были разработаны рекомендации по снижению пульсации светодиодных источников света с возможностью регулирования светового потока.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ОСВЕЩЕНИЮ РАБОЧИХ МЕСТ С ДИСПЛЕЯМИ. ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК	8
1.1 Требования к нормированию освещения	8
1.2 Патентный поиск	8
2 ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА	12
2.1 Светодиодные источники света	12
2.2 Обзор существующих систем управления освещением	14
2.3 Исследование зависимости освещенности, с использованием статистического анализа распределения освещенности	21
2.3.1 Определение доверительного интервала	22
2.3.2 Определение независимости параметров K_1 и K_2	23
3 СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ. РАСЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ	26
3.1 Технические требования	26
3.2 Разработка системы управления освещением	27
3.3 Разработка алгоритма работы	28
3.4 Разработка электрической схемы	32
3.5 Расчет эксплуатационных затрат	35
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ	40
4.1 Анализ публикаций и актуальных нормативных документов	40
4.2 Исследование причин пульсации	44
4.3 Разработка рекомендаций	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	46
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	51

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение автоматизации в производственные процессы привело к использованию компьютерной техники на рабочих местах, но освещение не подстраивается под установленные нормы, поэтому требуется особый подход к освещению рабочих мест, оборудованных ПЭВМ.

Нормативные документы представляют для рабочих мест, оборудованных дисплеями особые требования, касающиеся параметров световой среды, чтобы не утомлять зрительные органы персонала.

Без учета этих требований освещенности возможны ошибочные действия персонала. Также недостаточное освещение может привести к негативным последствиям, например, плохо повлиять на организм и здоровье человека.

Цель работы: обеспечить выполнение нормативных требований к освещению офисных рабочих мест, оборудованных ПЭВМ.

Реализация цели требует постановки и решения следующих основных задач:

- рассмотреть нормативные требования к освещению рабочих мест с дисплеями;
- провести анализ существующих систем управления освещением;
- обосновать минимально необходимое число датчиков освещенности для корректной работы СУО;
- создать адаптивную СУО, учитывающую особые требования к освещению офисных рабочих мест с ПЭВМ;
- рассмотреть нормативные требования к качественному показателю рабочих мест с дисплеями;
- разработать рекомендации по снижению пульсации светодиодных источников света с возможностью регулирования светового потока.

Объект исследования: элементы системы управления освещением.

Предмет исследования: закономерности распределения освещенности на рабочих местах с ПЭВМ.

Метод исследования: статистическая обработка результатов оценки освещенности на рабочих местах.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1 АНАЛИЗ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ОСВЕЩЕНИЮ РАБОЧИХ МЕСТ С ДИСПЛЕЯМИ. ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК

1.1 Требования к нормированию освещения

Нельзя представить современное общество без электро-вычислительных машин. Офисные работники, которые практически постоянно используют компьютеры в своей работе, обоснованно жалуются на повышенное утомление зрения и организма в целом. В настоящее время в Российской Федерации огромное количество работников трудится в условиях, не соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям, а многие из них – в условиях недостаточного и «неправильного» освещения на рабочих местах. Так как каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены [1], согласно ст. 112 Трудового кодекса Российской Федерации, работодатель обязан обеспечить соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте [2].

Были подобраны соответствующие нормативные документы, которые отражают требования к освещению рабочих мест с дисплеями.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [3] освещенность должна быть следующей:

- на рабочей поверхности стола 300–500 лк;
- на рабочей поверхности экрана ≤ 300 лк.

Согласно СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение [4] и СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах [5] освещенность должна быть следующей:

- на рабочей поверхности стола ≥ 400 лк;
- на рабочей поверхности экрана ≤ 200 лк.

Так же во внимание был взят Европейский стандарт EN 12564-11. Light and lighting – Lighting of work places. Part 1: Indoorworkplaces [6], согласно ему, учитывается только освещенность рабочей зоны: минимальное освещение рабочей зоны 500 лк.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1.2 Патентный поиск

Исходя из вышеперечисленных требований к освещению рабочих мест с дисплеями, был проведен поиск патентов близких к области исследования, но их оказалось не так много.

Наиболее полной системой управления оказалась система под авторством Иана Эшдауна, разработанная в компании Конинклейке Филипс Электроникс Н.В. (NL), патент № 2538786 «Система управления освещением, реагирующая на условия окружающего освещения». Патент отражает вариант управления освещением, который частично отражает систему, разрабатываемую в ходе работы.

Система включает в себя контроллер освещения, электронный датчик, расположенный вблизи дисплея, по меньшей мере, одно осветительное устройство и сеть связи. Датчик может быть прикреплен к дисплею или являться составной частью компьютера. Сеть связи передает сигналы между контроллером освещения и электронным датчиком, а также между контроллером освещения и, по меньшей мере, одним осветительным устройством.

Контроллер освещения принимает сигнал, представляющий показание от электронного датчика, сравнивает этот сигнал с пользовательским предпочтением и отправляет команду, по меньшей мере, на одно осветительное устройство для регулировки освещения рабочего пространства. Дополнительно, или в качестве альтернативы, один или несколько детекторов движения могут располагаться вблизи одного рабочего пространства. Один датчик в системе освещения может обеспечить информацию, относящуюся к одному или нескольким рабочим пространствам [13].

Одним из ключевых особенностей данной системы являются фотометрические датчики, расположенные вблизи компьютерного экрана. Эти датчики имеют ряд достоинств:

- 1) их можно легко переносить в другое место каждый раз, когда изменяется их планировка;
- 2) они могут даже перемещаться вместе с пользователем всякий раз, когда пользователь перемещается для работы на новом месте;

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

3) датчики, находящиеся вблизи пользовательского дисплея, могут более эффективно обнаруживать тот свет, который в наибольшей мере непосредственно нужен пользователю;

4) датчик передает информацию контроллеру для управления множеством осветительных устройств, они могут быть размещены или управляться таким образом, чтобы они влияли на освещение зоны рядом с рабочей зоной пользователя (например, осветительные устройства, расположенные в определенных местах на потолке или стене и ориентированные под конкретными углами так, чтобы они освещали зону рядом с компьютерным дисплеем, с которым работает пользователь).

Контроллер может определить местоположение датчика или ориентацию дисплея, к которому прикреплен датчик. Кроме того, в некоторых вариантах выполнения контроллер использует информацию, обеспеченную пользовательским интерфейсом, для определения информации об окружающем свете в зоне рядом с датчиком или о присутствии пользователя в зоне рядом с датчиком. Контроллер использует эту информацию для управления одним или несколькими осветительными устройствами, которые влияют на освещение зоны рядом с датчиком. В некоторых других вариантах выполнения контроллер использует информацию, обеспеченную двумя или более датчиками, для обнаружения потенциальной ошибки в информации, обеспеченной одним из датчиков, или для определения среднего показания, представляющего среднее значение или глобальное распределение света в рабочей зоне.

Схема построения системы освещения рабочего пространства вблизи дисплея представлена на рисунке 1.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

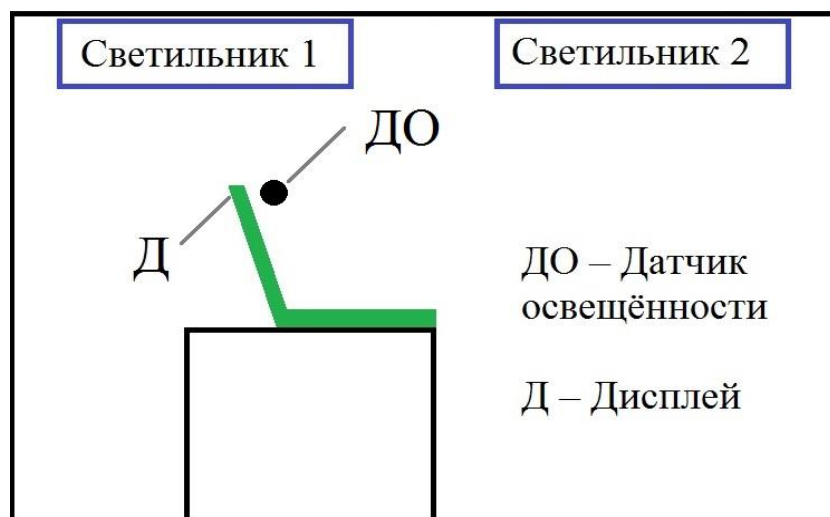


Рисунок 1 – Пример системы управления освещением с датчиком освещенности вблизи экрана

Так же были найдены и другие патенты:

– № 2588597 «Интеллектуальная система управления освещением» [22], владельцы патента – Конинклейке Филипс Электроникс Н.В. (NL);

– № 2549185 «Способ и реализованное компьютером устройство для управления осветительной инфраструктурой» [43], владельцы патента – Конинклейке Филипс Электроникс Н.В. (NL).

В данной главе были рассмотрены нормативные требования освещенности к рабочим местам с ПК и запатентованные СУО. На основании этого можно сделать выводы:

– по результатам анализа патентных СУО было выявлено то, что создатели данных СУО предлагают использование датчика, закрепленного непосредственно на дисплее, но ничего не говорят о необходимости одновременного контроля освещенности экрана и освещенности рабочей поверхности, то есть не учитывают требования нормативных документов, следовательно, системы не подходили под разрабатываемую систему [3].

Во 2 главе будет проведен анализ литературных источников и сделан вывод, существуют ли такие системы, которые бы полностью учитывали особые требования к освещению офисных рабочих мест.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

2.1 Светодиодные источники света

Искусственное освещение – освещение, создаваемое искусственными источниками света, т.е. устройствами, предназначенными для превращения какого-либо вида энергии в оптическое излучение [21].

Источники света востребованы во всех областях человеческой деятельности – в быту, на производстве, в научных исследованиях и т.п.

К источникам света относятся лампы накаливания, люминесцентные (ЛЛ), газоразрядные и излучающие светодиоды (СД) [32].

В зависимости от той или иной области применения, к источникам света предъявляются самые разные технические, эстетические и экономические требования, и подчас отдается предпочтение тому или иному параметру источника света или сумме этих параметров.

У каждого вида осветительных приборов присутствует такой показатель как световая отдача. Световая отдача – это количество светового излучения на единицу затрачиваемой электроэнергии. По данному показателю можно судить, какой из источников света будет предпочтительнее (таблица 1).

Таблица 1 – Световая отдача источников искусственного освещения

Тип источника	Световая отдача (лм/Вт)
Лампа накаливания 150 Вт	12
Люминесцентная лампа	50 – 101
Газоразрядная натриевая лампа	100 – 180
Белые осветительные светодиоды	250 – 270

По данным таблицы можно сделать вывод, что предпочтительнее будет взять белые осветительные светодиоды.

Преимущество светодиодного светильника по сравнению с другими источниками света:

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

– низкое энергопотребление, заявленный долгий срок службы от 30 до 50 тысяч и более часов;

– простота установки;

– более низкая температура корпуса по сравнению с лампой накаливания;

– высокая механическая прочность, зачастую – небольшие габариты.

Основные недостатки:

– высокая цена;

– многие светодиодные лампы светят только в одном направлении (что может быть и достоинством) [12].

Светодиодные источники света, являются энергоэффективными, высоконадёжными и обладают длительным временем эксплуатации, по сравнению с другими источниками света [11]. Столь высокие и даже избыточные показатели делают актуальной задачу управления световым потоком, простейшим способом управления световым потоком является диммирование. Комбинируя диммеры с датчиками освещенности, становится возможным автоматическое поддержание освещенности на заданном уровне и включение/выключение СД в зависимости от уровня естественного освещения [16, 17].

Светодиоды могут содержать в корпусе один (однокристалльные светодиоды) или несколько кристаллов (матрицы). Многокристаллические светодиоды так же находят применение в системах освещения, они доступны как в варианте с фокусированным, так и в варианте с рассеянным излучением. Благодаря светодиодным матрицам можно разработать высокоомощные системы освещения в одном корпусе.

Применение многокристаллических конструкций позволяет изготавливать осветительные приборы с высоким рабочим напряжением, тем самым изготавливая матрицы с необходимыми значениями тока и напряжения. С помощью светодиодов может быть достигнута эффективность 50–90 лм/Вт [10]. Среди образцов светодиодов некоторых производителей световая отдача достигает значение в 200 Лм/Вт [12].

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Для достижения лучшего отвода тепла светодиоды монтируются на большом расстоянии друг от друга. Таким образом, светодиодные матрицы с большим количеством кристаллов являются для разработчиков систем освещения хорошей альтернативой отдельным светодиодам и с их помощью можно достичь высокой эффективности системы.

2.2 Обзор существующих систем управления освещением

Использование системы управления освещением позволяет решить целый ряд задач на рабочем месте:

- создать комфортные условия работы для сотрудников, даже если в помещении отсутствует естественное освещение;
- обеспечить удобство управления режимами освещения;
- сэкономить потребляемую на освещении электроэнергию.

Автоматизированные системы управления освещением, предназначенные для использования в общественных зданиях, выполняют следующие типичные для этого вида изделий функции:

1) Точное поддержание искусственной освещенности в помещении на заданном уровне. Достигается это введением в систему управления освещением фотоэлемента, находящегося внутри помещения и контролирующего создаваемую осветительной установкой освещенность. Уже только одна эта функция позволяет экономить энергию за счет отсечки так называемого «излишка освещенности».

2) Учет естественной освещенности в помещении. Эта функция может осуществляться тем же фотоэлементом, что и в предыдущем случае, при условии, что он отслеживает полную (естественную + искусственную) освещенность. При этом экономия энергии может составлять 20–40 %.

3) Учет времени суток и дня недели. Дополнительная экономия энергии в освещении может быть достигнута отключением осветительной установки в определенные часы суток, а также в выходные и праздничные дни. Эта мера позволяет эффективно бороться с забывчивостью людей, не отключающих освещение на рабочих местах перед своим уходом. Для ее реализации

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

автоматизированная система управления освещением должна быть оборудована собственными часами реального времени.

4) Учет присутствия людей в помещении. При оборудовании системы управления освещением датчиком присутствия можно включать и отключать светильники в зависимости от того, есть ли люди в данном помещении. Эта функция позволяет расходовать энергию наиболее оптимально, однако ее применение оправдано далеко не во всех помещениях. В отдельных случаях она может даже сокращать срок службы осветительного оборудования и производить неприятное впечатление при работе.

5) Дистанционное беспроводное управление осветительной установкой. Часто присутствует в автоматизированных системах управления освещением благодаря тому, что ее реализация на базе электроники системы управления освещением очень проста, а сама функция добавляет значительное удобство в управлении осветительной установкой.

Осуществим краткий обзор представленных на рынке систем управления освещением, и выясним, существуют ли такие, которые полностью учитывают описанные выше требования.

Системы управления офисным освещением, как правило, включают в себя центральный контроллер, соединенный проводами с удаленными фотодатчиками, настенными выключателями и/или датчиками присутствия для ввода данных, а также релейные панели или диммерные стойки для управления осветительными устройствами. Контроллер обычно обеспечивает плавное ослабление света и коммутацию осветительных устройств в соответствии с входными сигналами от датчиков дневного света и датчиков присутствия, а также согласно запланированным событиям. Контроллер, как правило, программируется с помощью специализированной панели управления. Такие осветительные системы могут быть как проводными, так и беспроводными [19, 26, 30, 41].

Цифровой протокол управления освещением DALI широко применяется в области автоматизации. Система работает с фиксированной скоростью передачи данных 1200 бит/с [41]. Для формирования сети DALI требуется всего два провода,

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

при этом нет необходимости соблюдать полярность [19]. Этот стандарт разработан специально для регулирования освещения, подходит для интеграции с комплексными автоматизированными управляющими системами. Посредством этого цифрового интерфейса можно организовать и точечное управление светом с различных устройств, в том числе и по беспроводной связи. Номинальное рабочее напряжение шины DALI – 16 В постоянного тока [41]. Контроллер генерирует последовательные данные, закрывая линии шины при напряжении выше 9,5 В и открывая линии шины при напряжении ниже 6,5 В. Полный пакет данных, передаваемых с устройства управления содержит адрес абонента шины DALI и команду, которая регулирует яркость отдельных ламп с помощью включения/выключения. Выбор регулирования освещения можно выбрать из 16 предварительно запрограммированных сценариев освещения. Шина DALI питается от сети переменного тока через блок питания. Для управления системой необходим контроллер DALI – это ведущий элемент системы, а роль ведомых играют выключатели, диммеры и светильники. Контроллер присваивает адреса, реагирует на сигналы от датчиков и выключателей, передает команды регулирования яркости на соответствующие лампы, так же контроллер может выключать/включать лампы по таймеру. Протокол DALI является открытым, достаточно универсальным. Он совместим с различными сетями, и имеет высокое соотношение сигнал/шум, тем самым позволяет задавать параметры сигнала с высокой точностью. Команды могут быть адресованы как отдельному пикселу, так и всем подключенным источникам света [26].

Преимущества у данного варианта управления много:

- снижается риск выхода из строя устройств из-за неправильного подключения;
- стандарт DALI независим от производителя, что обеспечивает взаимозаменяемость и совместимость балластов и прочего оборудования разных поставщиков;
- низкое энергопотребление, долговечность, безопасность;
- протокол поддерживает большое число типов ламп и обеспечивает единообразное управление ими;

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

– количество монтажных работ значительно сокращается, т.к. выключатель или диммер можно использовать для конкретной лампы, при этом, не меняя проводку, т.е. система легко программируется (адреса элементам присваиваются автоматически);

– с помощью DALI можно подключить все устройства в единую централизованную схему [41].

Универсальный интерфейс DALI можно использовать для управления группами осветительных приборов. Это позволяет не присваивать отдельный адрес каждой лампе в системе и рационально управлять всей группой и работать с несколькими светодиодными драйверами по одному выделенному интерфейсу DALI-конвертер.

DALI-конвертер имеет встроенное реле для полного выключения групп осветительных установок, за счет чего исключаются потери в режиме ожидания [41].

В 2012 г компании Econex начали разрабатывать системы автоматического управления Econex Smart, основой которой является надежность и функциональность. Центром системы управления Econex Smart является роутер Econex RF Cate. Модель Econex RF Cate обладает всеми необходимыми вычислительными ресурсами для хранения информации о расположении системы, пользовательских алгоритмов и т.д. Роутер подключается к локальной сети предприятия по кабелю Internet или Wi-fi, если локальная сеть отсутствует, модель создает собственную сеть. Подключиться через интернет можно с любой точки мира, а также с любого компьютера или мобильного устройства.

Econex Smart – надежный инструмент для повышения энергоэффективности. В его входит датчик освещённости RF SensoLux, датчик движения RF SensoMove и датчик температуры RF SensoTemp. Все эти устройства управляют светильниками при подключении питания 220 В.

С помощью универсального устройства RF Sensor Contact реализуются алгоритмы управления системой освещения, что не требует оснащения светильников радиомодулями. Для этого при проектировании объекта светильники

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

распределяются по питающим линиям через 1, 2 или 8. В дальнейшем обеспечивается несколько уровней освещенности включением или выключением одной или нескольких линий.

Итак, система Econex Smart позволяет создать максимальную энергоэффективность, сохраняя и анализируя статистическую информацию об энергопотреблении осветительной установки и предоставляя информацию о количестве сэкономленной энергии [19].

Одним из эффективных способов решения проблемы экономии электроэнергии является установка датчиков движения и присутствия. Принцип их работы прост: датчики автоматически включают или выключают освещение в помещении в зависимости от интенсивности естественного потока света и/или присутствия людей.

Возможным это делает пассивная технология инфракрасного излучения: встроенные IR-датчики производят запись тепловой радиации и преобразовывают ее в измеряемый электрический сигнал. Люди излучают тепловую энергию, спектр которой находится в инфракрасном диапазоне и не видим человеческому глазу.

Изменения тепловой радиации, т. е. различия в температуре, вызванные движением, регистрируются датчиками и преобразуются в электрический сигнал. Встроенная в датчик электроника обрабатывает полученный сигнал и производит заранее установленные действия (включение / выключение групп освещения).

Необходимо также принимать во внимание дальность действия датчиков и их чувствительность, которая зависит от ряда факторов, способных меняться в зависимости от состояния окружающей среды и иных причин:

- 1) диапазон действия;
- 2) определение оптимальной диагонали движений человека, чтобы вызвать срабатывание датчика;
- 3) влияние сезонных колебаний температуры окружающей среды.

Датчики могут быть запрограммированы с помощью дистанционного пульта управления, что облегчает установку различных параметров и настройку работы датчика.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Такие осветительные системы отличаются определенными особенностями, вызванными неоптимальным расположением фотометрических датчиков:

1) Датчики освещенности и присутствия устанавливаются на поверхности потолка, вблизи светильников или на стене. При таком фиксированном положении затрудняется изменение конфигурации рабочих мест и офисной мебели. При необходимости перепланировки рабочего пространства обязательной задачей становится оценка освещенности и внесение изменений в работу СУО.

2) Датчики не контролируют освещенность непосредственно на рабочем месте, например, вблизи дисплея ПК, а осуществляют лишь косвенную оценку, так как установлены на удалении (на потолке или стене) [22].

Приведем пример офисного помещения с подобной СУО [18], согласно описанию, система предназначена для поддержания нормативного уровня освещенности, равного 400 лк. Комбинированный датчик присутствия освещенности ESYLUX PDE 360i/24 DIM расположен в центральной части рабочего помещения непосредственно на поверхности потолка. Радиус действия датчика составляет 12 м, диапазон измерения освещенности составляет от 5 до 2000 Лк. Предусмотрена возможность диммирования и управление работой при помощи пульта дистанционного управления (рисунок 2).

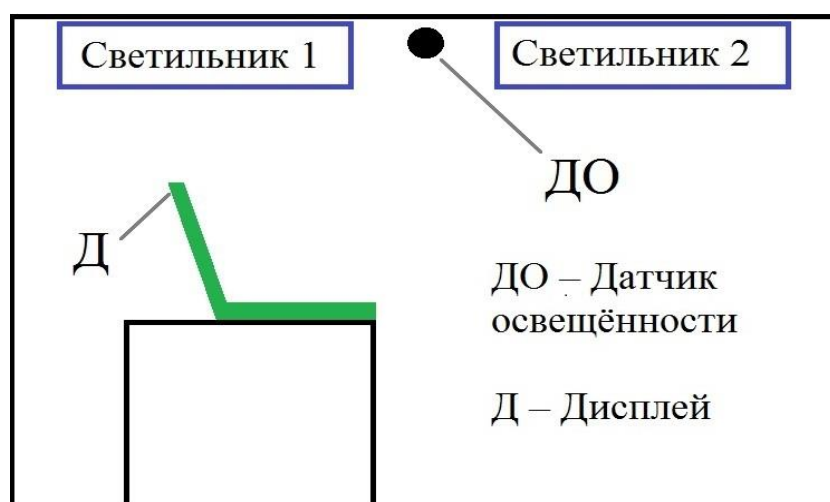


Рисунок 2 – Элементы системы управления освещением

Работа такой СУО заключается в оценке уровня освещенности и контроле присутствия персонала. Если освещенность в зоне расположения датчика не достигает 400 Лк и в помещении присутствуют люди, то осветительная система увеличивает интенсивность искусственного освещения, обеспечивая выбранную ранее нормативную освещенность. Такая СУО позволяет контролировать лишь освещенность рабочей поверхности стола (если рабочее место расположено точно под потолочным датчиком), либо освещенность поверхности пола (если непосредственно под потолочным датчиком нет рабочего стола).

Для ограничения избыточного естественного освещения, могут применяться специальные светозащитные устройства [9], например, смарт-стекла или регулируемые жалюзи. Светозащитные устройства могут быть расположены снаружи оконных проемов, внутри помещения, непосредственно на поверхности окон. Необходимым условием является возможность управления такими устройствами вручную или автоматически, для поддержания комфортного уровня проникающего в помещение солнечного света. Автоматизированные системы управления светозащитными устройствами осуществляют регулировку пропускания естественного света, опираясь на значения одного или нескольких параметров (освещенность, интенсивность ИК излучения, температура воздуха в помещении и т.д.), что также способствует рациональной работе климатических систем. Наиболее сложные системы управления способны не только ограничивать солнечный свет, но и обеспечивать равномерное распределение естественного освещения внутри помещений, исключая появление блескости.

При использовании в качестве светозащитных устройств смарт-стекла, возможно плавное управление степенью затемнения от 0 до 90 %. Коммутация фотодатчиков с блоком управления светозащитным устройством может быть проводной или беспроводной, например, DALI, Zigbee, Bluetooth. Система, предложенная в [9], может использоваться для управления любым типом светозащитного устройства, то есть жалюзи, смарт-стеклами, имеющими, по меньшей мере, один управляемый параметр.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Учитывая, что большинство рабочих мест в настоящее время оборудованы компьютерной техникой, перспективными становятся способы управления осветительными системами при помощи ПК. На дисплее в этом случае представляются различные помещения и сценарии управления осветительными системами, отличающиеся, например, нормативными значениями освещенности (для разных видов работ). Обработка сигналов фотодатчиков и управление осветительной аппаратурой осуществляется в этом случае без использования внешних контроллеров, непосредственно при помощи ПК.

С широких использований таких систем, в совокупности со светодиодными источниками света в домашних и рабочих помещениях, появляется возможность реализовать любые световые сценарии, динамически изменяя цветовую температуру и распределение света в рабочем пространстве или в бытовых условиях [13, 43].

Вывод: Анализ представленных на рынке систем управления освещением показал, что системы, полностью удовлетворяющей требованиям нормативных документов, на данный момент не существует. Ключевым моментом является число датчиков, контролирующих освещенность в рабочей зоне. Видимо, создатели СУО, в целях экономии, предполагают использовать лишь один датчик освещенности (закрепленный на потолке, оценивающий освещенность рабочей поверхности стола/пола, либо закрепленный непосредственно на экране), а недостающие значения получить расчетным путем.

Поэтому для корректной работы системы управления освещением рабочих мест с дисплеями, необходимо одновременное использование двух датчиков освещенности, расположенных в соответствии с рисунком 3.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

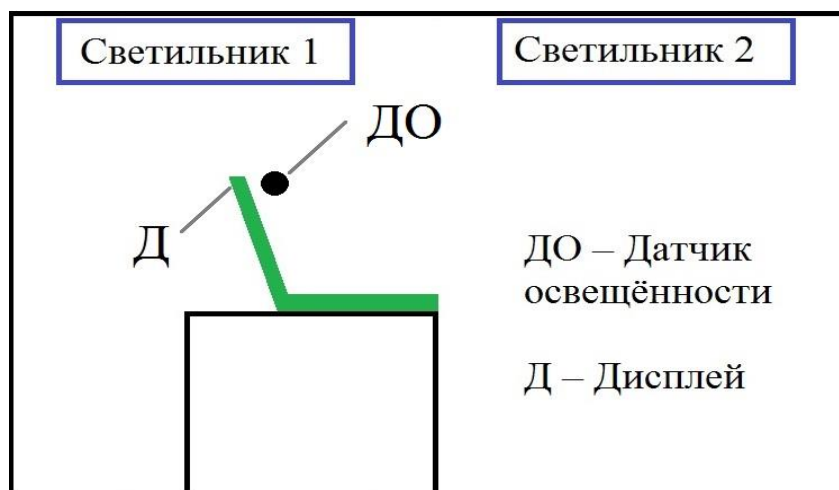


Рисунок 3 – Пример системы управления освещением с датчиком освещенности вблизи экрана

Для подтверждения или опровержения данного подхода были проведены экспериментальные исследования распределения освещенности на рабочих местах с дисплеями, результаты которых представлены ниже.

2.3 Исследование зависимости освещенности, с использованием статистического анализа распределения освещенности

Для обоснования минимального количества датчиков освещенности необходимо проверить, существует ли зависимость между показателями освещенности экрана и стола или экрана и пола. На 53 рабочих местах, оборудованных дисплеями, были проведены измерения освещенности (рисунок 4).

№	Е _{экрана, лк}	Е _{стола, лк}	Е _{пола, лк}	К ₁	К ₂	К _{п. %}	№	Е _{экрана, лк}	Е _{стола, лк}	Е _{пола, лк}	К ₁	К ₂	К _{п. %}
1	131	182	42	0,72	3,1	3	27	280,3	273,8	32,2	1,02	8,98	
2	91	195	66	0,47	1,38	2,2	28	327	246	97	1,33	3,37	
3	188	229	112	0,82	1,68	1,6	29	309,2	284,7	103,6	1,08	2,98	
4	220,1	220,9	26,1	0,99	8,43	0	30	235,3	288,7	42	0,82	5,6	0,5
5	107	255	50	0,42	2,14	15	31	276,3	284,5	91	0,97	3,03	
6	81	226	26,3	0,36	3,08	0	32	286,3	292,4	71	0,98	4,03	
7	159	246	44	0,65	3,61	11	33	182	430	62	0,42	2,94	
8	170	344	104	0,5	1,63	12	34	55	340	55	0,16	1	0
9	200	290	73	0,69	2,74	12	35	178,7	339,5	23,1	0,53	7,73	
10	73	325	96	0,22	0,76		36	249,8	373,3	78,6	0,67	3,18	0,3
11	213	354	125	0,6	1,7		37	54	294	52	0,18	1,04	
12	320,1	440	100	0,72	3,2	0,5	38	126	333	44	0,38	2,86	
13	256	365	99	0,7	2,59		39	175	196	45	0,89	3,89	0
14	174	347	116	0,5	1,5		40	42,3	210,1	112	0,2	2,31	
15	211	222	75	0,95	2,81		41	96,3	350,2	36	0,27	2,68	
16	260	296	74	0,88	3,51		42	63	285	112	0,22	0,56	15
17	206	277	74	0,74	2,78	0	43	124	360	96	0,34	1,29	
18	270	278	89	0,97	3,03		44	51	291	90	0,18	0,57	0
19	240	267	73	0,9	3,29		45	73,8	44,9	68,7	0,17	1,07	
20	257,4	345,1	78,5	0,75	3,28		46	216	537	108	0,4	2,0	
21	312	365,2	63,4	0,81	4,71		47	100	189	66	0,53	1,52	12
22	219,9	331,3	46,8	0,66	4,7		48	106	318	81	0,33	1,31	3
23	210,6	379,5	61,4	0,55	3,43		49	145,3	355	46	0,41	3,16	0
24	237,4	287,9	74	0,82	3,21	0,5	50	36	172	48	0,21	0,75	48
25	196	236,5	61	0,83	3,21		51	304	561	142	0,54	2,14	0
							52	158	276	38	0,57	4,16	50
26	262,2	216,5	114	1,21	2,3		53	198	540	52	0,37	3,81	0

Рисунок 4 – Распределение освещенности экрана, рабочей поверхности и пола

Для определения освещенности экрана, при известных значениях освещенности рабочей поверхности стола рассчитан коэффициент K_1 :

$$K_1 = \frac{E_{\text{экрана}}}{E_{\text{стола}}}. \quad (1)$$

Для определения освещенности экрана, при известных значениях освещенности пола рассчитан коэффициент K_2 :

$$K_2 = \frac{E_{\text{экрана}}}{E_{\text{пола}}}. \quad (2)$$

Согласно рисунку 4, значения K_1 варьируются от 0,16 до 1,4, значения K_2 варьируются от 0,56 до 8,98, что значительно затрудняет их применение. Попробуем осуществить выбор достоверных коэффициентов, используя аппарат математической статистики.

2.3.1 Определение доверительного интервала

Произведем статистическую обработку результатов экспериментов, согласно [39,42], определим границы доверительного интервала и установим число значений, попадающих в этот интервал.

Находим по формуле 3 среднее значение отношения освещенности экрана к освещенности стола:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = 0,61, \quad (3)$$

где x_i – значение случайной величины;

n – объем выборки.

Рассчитываем дисперсию по формуле 4:

$$D = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = 0,0889, \quad (4)$$

где \bar{x} – среднее значение случайной величины;

n – объем выборки.

Находим стандартное отклонение по формуле 5:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\sigma^2}, \quad (5)$$

где D – дисперсия.

$$\sigma = \sqrt{0,0889} = 0,2982.$$

Определим доверительный интервал для имеющихся значений по формуле 6:

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$\bar{x} - Z_{a/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + Z_{a/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

где a – среднее значение;

$Z_{a/2}$ – значение функции из таблицы стандартного нормального распределения;

σ – стандартное отклонение;

n – объем выборки.

Поскольку уровень значимости для доверительной вероятности 95 % равен 0,05, то в соответствии с таблицей стандартного нормального распределения, значение Z равно 1,96.

$$0,61 - 1,96 \cdot \frac{0,2982}{\sqrt{53}} < a < 0,61 + 1,96 \cdot \frac{0,2982}{\sqrt{53}},$$

$$0,5297 < a < 0,6903.$$

Вывод: 11 из 53 значений попадают в доверительный интервал, что составляет только 21 %.

Аналогично рассчитываем для K_2 доверительный интервал:

$$2,96 - 1,96 \cdot \frac{1,7633}{\sqrt{53}} < a < 2,96 + 1,96 \cdot \frac{1,7633}{\sqrt{53}},$$

$$2,4853 < a < 3,4347.$$

Вывод: 20 из 53 значений попадают в доверительный интервал, что составляет только 38 %.

Такое малое число значений, попадающих в доверительный интервал, ставит под сомнение достоверность и правоверность их применения.

2.3.2 Определение независимости параметров K_1 и K_2

Выясним, что K_1 и K_2 – независимые параметры с помощью критерия согласия (хи-квадрат).

Проверим гипотезу о том, что параметр K_1 не зависим.

Рассчитаем значение критерия согласия [42]:

$$X^2 = \frac{(m_1 - np_1)^2}{np_1} + \frac{(m_2 - np_2)^2}{np_2}, \quad (7)$$

где n – число измерений;

m_1 и m_2 – число значений, входящих в доверительный интервал и не входящих соответственно;

p_1 – вероятность, того, что значение входит в доверительный интервал;

p_2 – вероятность того, что значение не входит в доверительный интервал.

$$n = 53;$$

$$m_1 = 11;$$

$$m_2 = 42;$$

$$p_1 = 11/53 = 0,21;$$

$$p_2 = 42/53 = 0,79.$$

$$X^2 = \frac{(11 - 53 \cdot 0,21)^2}{11,13} + \frac{(42 - 53 \cdot 0,79)^2}{41,87} = 0,0083.$$

Число степеней свободы k равно 1, уровень значимости равен 0,05. Критическое значение равно 3,8.

$$X^2_{кр} > X^2$$

Следовательно, гипотеза о независимости параметра K_1 принимается.

Аналогично рассчитаем критерий согласия хи-квадрат для параметра K_2 :

В данном случае:

$$n = 53;$$

$$m_1 = 20;$$

$$m_2 = 33;$$

$$p_1 = 20/53 = 0,38;$$

$$p_2 = 33/53 = 0,62.$$

$$X^2 = \frac{(20 - 53 \cdot 0,38)^2}{20,14} + \frac{(33 - 53 \cdot 0,62)^2}{32,82} = 0,00196.$$

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Число степеней свободы k равно 1, уровень значимости равен 0,05. Критическое значение равно 3,8.

$$X^2_{кр} > X^2.$$

Следовательно, гипотеза о независимости параметра K_2 принимается, то есть значения не формируют репрезентативную выборку и не могут использоваться для настройки СУО.

Вывод: Статистический анализ не выявил зависимости между показателями освещенности экрана и рабочей поверхности стола/пола, то есть определить значения освещенности экрана невозможно, опираясь только на показания датчиков, оценивающих освещенность в области рабочей поверхности стола или пола.

Таким образом, очевидно, что построение системы управления освещением для рабочих мест с ПК технически невозможно с использованием менее чем двух датчиков освещенности, один из них должен располагаться на рабочей поверхности стола, другой, на экране ПК.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

3 СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ. РАСЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ

3.1 Технические требования

Формирование технических требований является основой для разработки системы управления освещением. Здесь следует учитывать множество факторов [31].

Будущая СУО должна обеспечивать следующие функции:

- поддержание требуемого уровня освещенности в помещении;
- производство учета естественной освещенности в помещении;
- производство учета освещенности на мониторе и на столе;
- работа в нескольких режимах (день, ночь);
- возможность подключения ПЛК к ПК для корректировки программы

управления.

Так же при разработке СУО следует учитывать требования, указанные ниже.

Система управления освещением должна функционировать в следующих режимах:

- 1) Ручной режим;
- 2) автоматический режим.

Ручной режим включает в себя:

- ручное включение (отключение) всей системы;
- проверка исправности оборудования системы.

Автоматический режим включает в себя:

- автоматическое управление уровнем затемнения смарт-стекла;
- автоматический съем показателей освещенности с датчиков;
- автоматическое управление уровнем освещения светильников;
- автоматическую обработку данных освещенности, полученных с датчиков, выполняемую ПЛК.

Данная СУО должна гарантировать непрерывную работу системы освещения, пока срок действия входящих в нее исполнительных устройств не закончится.

Система управления освещением должна обладать надежностью,

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

функционировать во всех заявленных режимах и иметь защиту от всевозможных сбоев.

3.2 Разработка системы управления освещением

На рисунке 5 представлено расположение элементов системы, с их обозначениями: датчики освещенности (BP1, BP2), потолочный светодиодный светильник (HL1), местный светодиодный светильник (HL2) и смарт-стекло (SS1).

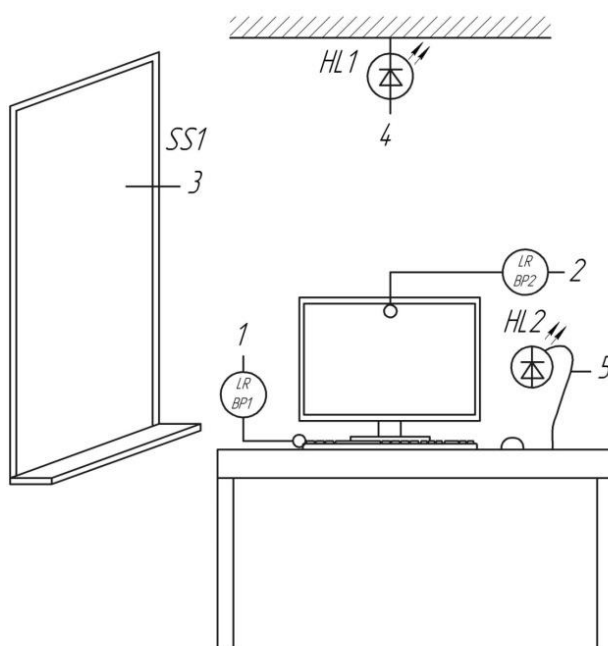


Рисунок 5 – Расположение элементов системы:
1 и 2 – датчики освещенности; 3 – смарт-стекло;
4 и 5 – светодиодные светильники

Датчики освещенности (BP1, BP2) используются для отслеживания уровня интенсивности освещения на клавиатуре и экране монитора, чтобы по их значениям можно было судить о том, требуется ли изменение яркости освещения под показатели, соответствующие нормативным требованиям работы за ПЭВМ. Эти показатели должны соблюдаться, чтобы создавать оптимальные условия для зрительных органов персонала, работающего за компьютером.

Уровень освещения будет управляться при помощи двух светодиодных светильников (HL1, HL2) и смарт-стекла (SS1).

Управлять всей системой в целом, будет программируемый логический контроллер, далее ПЛК. ПЛК будет располагаться в электрошкафу, в который так же будет входить шлюз U (преобразователь сигналов) для корректной работы между светодиодными светильниками и ПЛК.

3.3 Разработка алгоритма работы

Разработка алгоритма работы СУО начинается с определения ключевых элементов. Было выявлено, что приоритетом обладает датчик освещенности (BP2), расположенный на мониторе. Поэтому сначала будет проводиться проверка уровня освещенности на мониторе, а затем дальше по алгоритму.

Алгоритм работы системы освещением иллюстрируют рисунки 6 и 7.

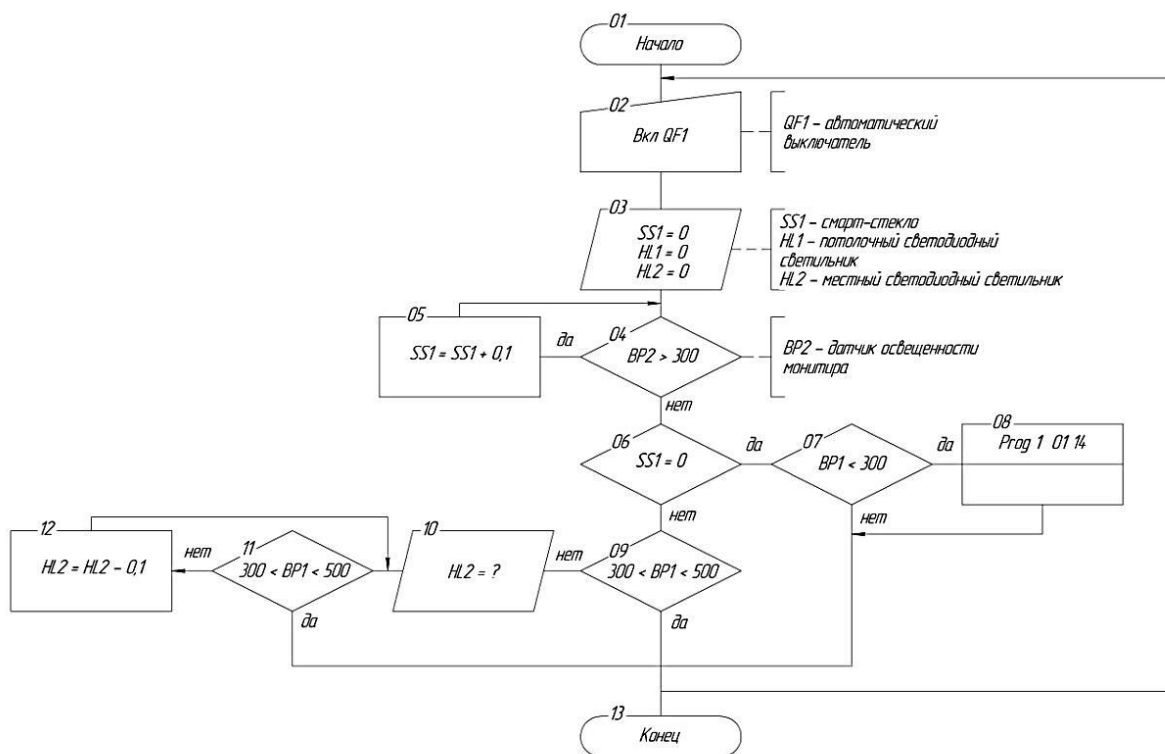


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма работы системы освещения:
основная программа

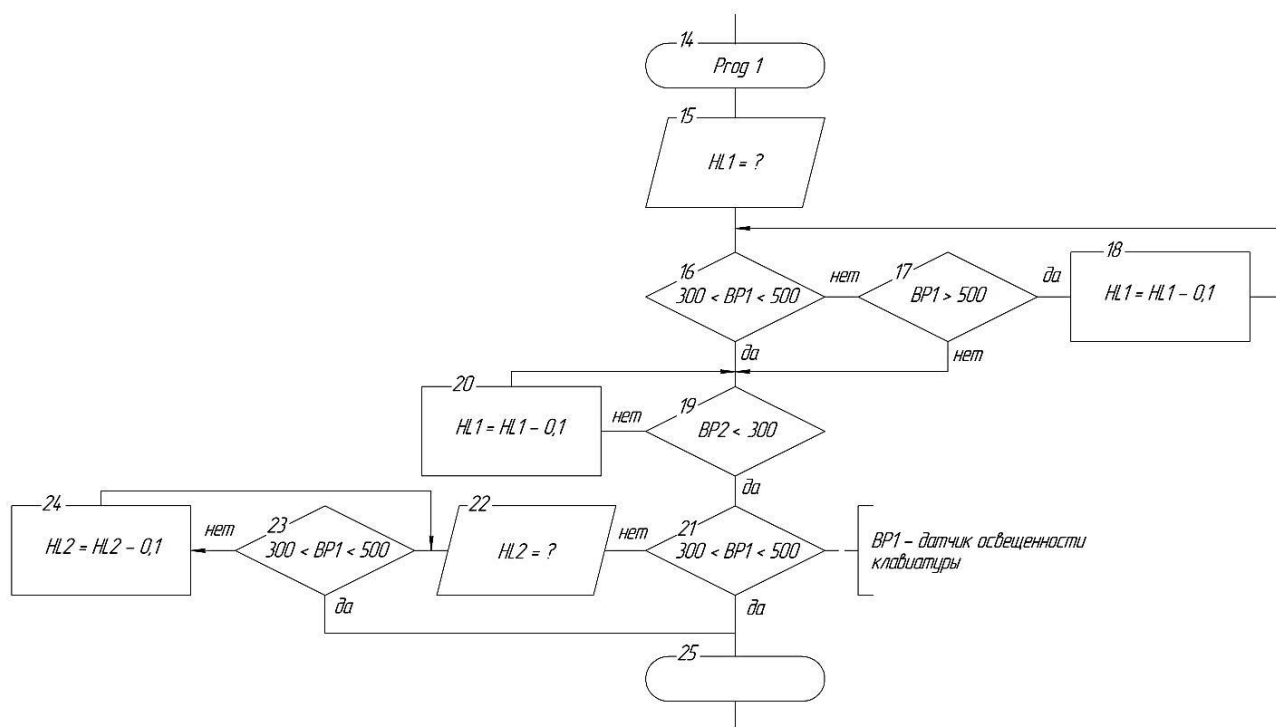


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма работы системы:
искусственное освещение

Для разработки алгоритма работы СУО были выбраны самые «жесткие» требования, согласно [3], освещенность поверхности стола в диапазоне 300–500 люкс, освещенность экрана не более 300 люкс. При необходимости алгоритм может быть адаптирован к требованиям [4, 5] путем упрощения.

Система освещения предусматривает два режима работы:

- в дневное время;
- в ночное время.

Алгоритм начинается с ручного включения автоматического выключателя QF1, чтобы предохранить систему от короткого замыкания, перебоев с электричеством и др.

Затем начинается основной цикл работы системы освещения. Он предусматривает дневной и ночной режимы.

Дневной режим (освещенность 600 люкс).

Задаются параметры смарт-стекла SS1, потолочного светодиодного светильника HL1 и местного светодиодного светильника HL2. SS1 задается равным

0, т.е. смарт-стекло прозрачное. HL1 задается равным 0, т.е. светильник выключен, (интенсивность светового излучения равна 0 %). HL2 задается аналогично HL1.

Затем проводится проверка условия освещенности на датчике освещенности BP2, находящемся на верхней части монитора. Если значение BP2 >300 люкс, то поводится затемнение смарт-стекла SS1 на 10 % с помощью изменения функции $SS1=SS1+0,1$. Затем вновь проверяется условие BP2>300 люкс, если данное условие вновь выполняется, то затемняем смарт-стекло еще на 10 % и так будет повторяться, пока условие BP2>300 люкс перестанет удовлетворяться, т.е. BP2 будет меньше 300 люкс.

Потом проверяется условие: $SS1=0$, т.е. смарт-стекло должно быть прозрачным. В дневное время SS1 используется, т.е. затемняется, получается, что условие не выполняется, значит, проверяем следующее условие.

Проверяется значение освещенности с датчика BP1, если это значение входит в диапазон $300 < BP1 < 500$ люкс, то условие выполняется, а значит выполнены все условия по освещению в соответствии с нормами освещения [5] и на этом цикл закончен, можно начинать сначала.

Если же условие $300 < BP1 < 500$ люкс не выполняется, то задается значение освещенности HL2, т.е. светильник включается с заданным значением освещенности и проверяется условие $300 < BP1 < 500$ люкс, если условие выполняется, то это конец цикла, если же нет, то освещенность HL2 уменьшается на 10 % и вновь проверяется условие освещенности с датчика BP1 – $300 < BP1 < 500$ люкс, если условие выполняется, то конец цикла, если нет, то освещенность HL2 уменьшается еще на 10 % и так будет повторяться, пока условие освещенности датчика BP1 не будет соответствовать диапазону $300 < BP1 < 500$ люкс, как только это случится цикл будет закончен.

Ночной режим (освещенность 100 люкс).

Параметры смарт-стекла SS1, потолочного светодиодного светильника HL1 и местного светодиодного светильника HL2 задаются такие же, как и в начале дневного режима.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Затем проводится проверка условия освещенности на датчике освещенности ВР2. Если значение $ВР2 < 300$ люкс, то поводится проверка следующего условия $SS1=0$, т.е. смарт-стекло должно быть прозрачным. В ночное время $SS1$ не используется, что удовлетворяет условию, так как смарт-стекло $SS1$ не затемнялось. Это приводит к проверке следующего условия: $ВР1 < 300$. Если условие не выполняется, то это конец цикла. Если выполняется, то переходим на выполнение подпрограммы Prog 1 01.

Подпрограмма Prog 1 01.

Подпрограмма Prog 1 01 начинается с задания значения освещенности $HL1$, т.е. светильник включается с заданным значением освещенности. Затем проводится проверка условия значения освещенности с датчика $ВР1 - 300 < ВР1 < 500$ люкс:

– если условие не выполняется, то проводится проверка следующего условия: $ВР1 > 500$ люкс. Если это условие выполняется, то уменьшаем интенсивность освещения светильника $HL1$ на 10 %, затем вновь проверить предыдущее условие. Если оно вновь выполняется, то освещенность $HL1$ уменьшается еще на 10 % и так будет повторяться, пока условие освещенности датчика $ВР1$ не станет меньше 500 люкс. Затем переходим к проверке следующего условия.

– если условие выполняется, то переходим к проверке следующего условия.

Проводится проверка условия значения освещенности с датчика $ВР2 - ВР2 < 300$ люкс:

– если условие не выполняется, то производится уменьшение интенсивности освещения потолочного светильника $HL1$ на 10 %, затем вновь проверяется предыдущее условие. Если оно вновь выполняется, то освещенность $HL1$ уменьшается еще на 10 % и так будет повторяться, пока условие освещенности датчика $ВР2$ не станет меньше 300 люкс. Затем переходим к проверке следующего условия.

– если условие выполняется, то переходим к проверке следующего условия.

Проводится проверка условия значения освещенности с датчика $ВР2 - 300 < ВР1 < 500$ люкс:

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

– если условие не выполняется, то задается значение освещенности HL2, т.е. светильник включается с заданным значением освещенности и производится проверка условия освещенности с датчика ВР2 – $300 < ВР1 < 500$ люкс:

– если условие не выполняется, производится уменьшение интенсивности освещения светильника HL2 на 10 %, затем вновь проверяется предыдущее условие. Если оно вновь не выполняется, то освещенность HL1 уменьшается еще на 10 % и так будет повторяться, пока условие освещенности датчика ВР2 не будет удовлетворять условию. Как только это произойдет, то подпрограмма будет закончена, так же, как и основной цикл программы.

– если условие выполняется, то подпрограмма будет закончена, так же, как и основной цикл программы.

– если условие выполняется, то подпрограмма будет закончена, так же, как и основной цикл программы.

Когда все условия освещенности: $300 < ВР1 < 500$ и $ВР2 < 300$ выполнены, программа может начать цикл проверки показаний с датчиков освещенности ВР1 и ВР2 снова. Это позволяет отслеживать изменение интенсивности освещения в помещении, а именно за компьютером, чтобы в случае изменения освещенности, система могла подстроить требуемые нормы освещения.

3.4 Разработка электрической схемы

Разработка электрической схемы начинается с подбора элементов. Таким образом, можно сказать, что производится подбор элементов из представленных на рынке (рисунок 8).

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

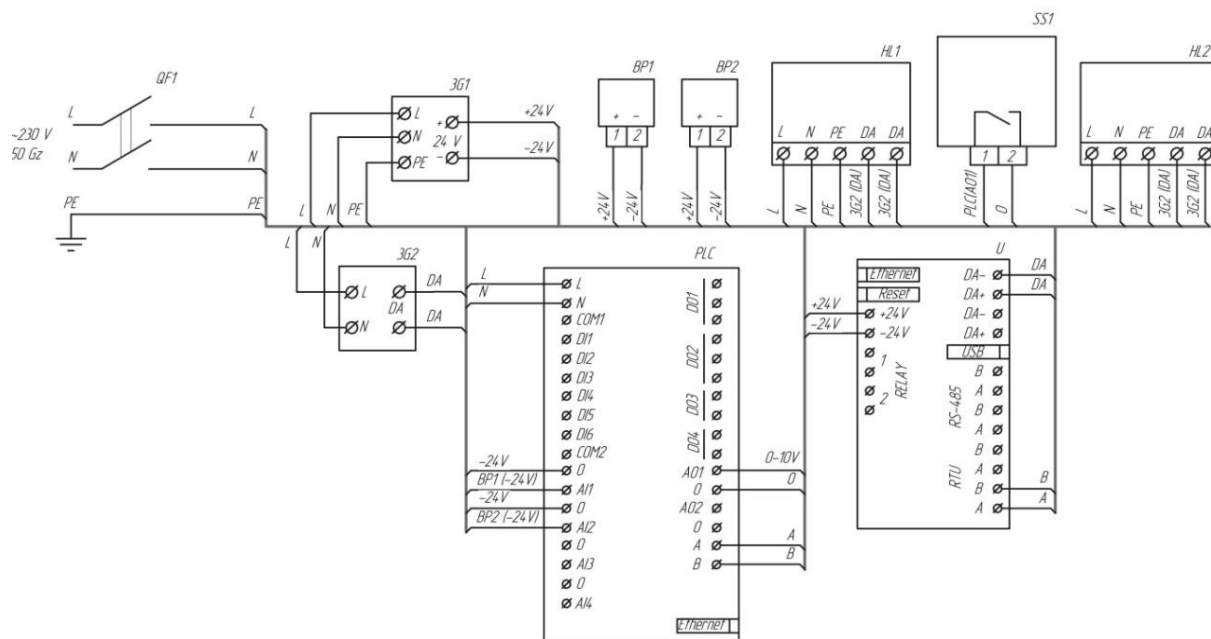


Рисунок 8 – Электрическая схема общая

Элементы на электрической схеме обозначаются следующим образом:

- 1) QF1 – автоматический выключатель;
- 2) 3G1 – блок питания 24В;
- 3) 3G2 – блок питания шины DALI;
- 4) BP1 и BP2 – датчики освещенности;
- 5) HL1 – потолочный светодиодный светильник;
- 6) HL2 – местный светодиодный светильник;
- 7) SS1 – смарт-стекло;
- 8) PLC – ПЛК150-220;
- 9) U – Шлюз ModBus DALI.

Монтаж СУО производился по схеме расположения элементов в электрошкафу представленной на рисунке 9.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

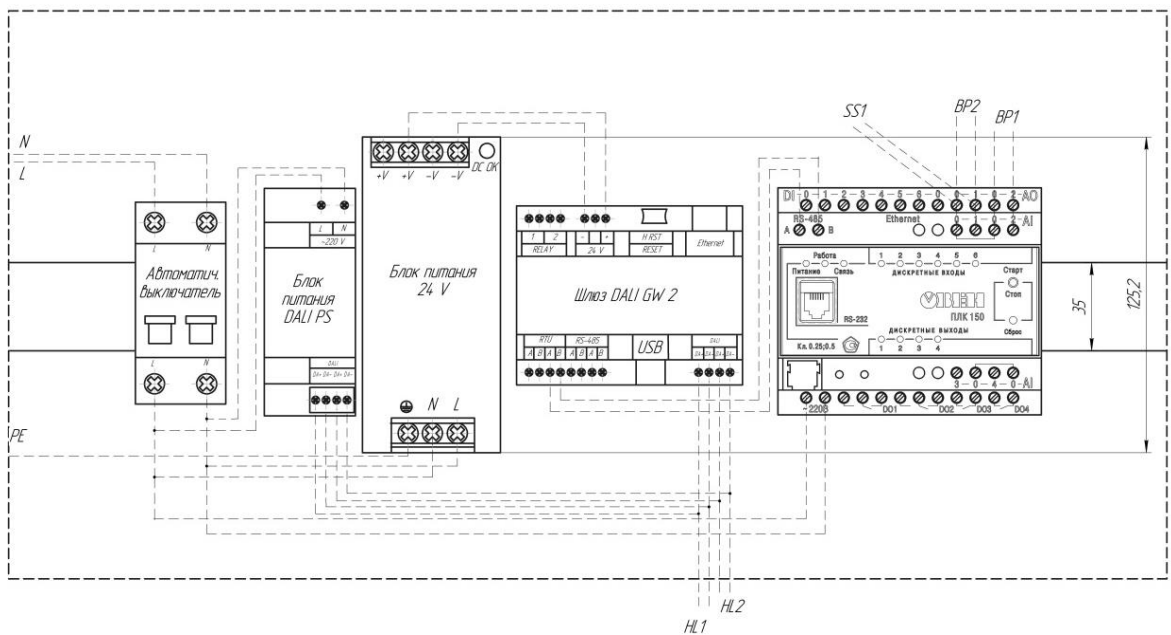


Рисунок 9 – Схема расположения элементов в электрошкафу

Собранная система представлена на рисунках 10, 11.



Рисунок 10 – Электрошкаф

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР



Рисунок 11 – Внешний вид, собранной СУО

На данный момент проводится исследования ее работоспособности в различных режимах.

3.5. Расчет эксплуатационных затрат

Проведем расчет экономических затрат за 5 лет для СД и ЛЛ по следующим показателям:

- 1) Покупка ламп и замена ламп.
- 2) Электроэнергия.
- 3) Утилизация.

В системе управления освещением, которая представлена в данной работе, предусмотрено одно осветительное оборудование, следовательно, расчет будем производить для единственного устройства.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Покупка ламп и замена ламп.

Необходимо учесть, что для замены одного СД светильника необходимо 4 ЛЛ, когда в случае СД обычно используется только одна. За 5 лет ЛЛ придётся заменить как минимум 2 раза, в то время как СД заменять нет необходимости (т.к. СД имеют самый долгий срок службы более 50000 часов, т.е. более 5 лет). В среднем стоимость одной ЛЛ равна 160 рублей, а стоимость СД лампы равна 960 рублей.

Рассчитаем покупку и замену ЛЛ по формуле 8:

$$S = 160 \cdot n \cdot k + q \cdot n, \quad (8)$$

где S – общая стоимость люминесцентных ламп за 5 лет, руб;

n – количество ламп в 64 осветительных оборудованьях, шт;

k – количество покупок за 5 лет;

q – стоимость замены одной люминесцентной лампы, руб. смен.

$$S = 160 \cdot 256 \cdot 2 + 94 \cdot 256 = 105984 \text{ руб.}$$

Рассчитаем покупку СД по формуле 9:

$$S' = 960 \cdot n, \quad (9)$$

где S' – общая стоимость светодиодной лампы за 5 лет.

$$S = 960 \cdot 64 = 61440 \text{ руб.}$$

Электроэнергия.

Предположим, что каждая из ламп в среднем работает 8 часов в день и, соответственно, 240 часов в месяц. Таким образом, один светильник с ЛЛ в офисе потребляет за 5 лет (формулы 10–12):

1) Одна ЛЛ расходует 18 Вт в час, тогда в день 256 ЛЛ потребляют:

$$P' = P \cdot n \cdot \tau, \quad (10)$$

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где P' – количество кВт/день, которое расходуют 256 ламп;

P – количество Вт/час, которое расходуют одна лампа;

n – количество ламп в 64 осветительных оборудованях;

τ – количество часов работы лампы в день, ч;

$$P' = (18 \cdot 256) \cdot 8 = 36,9 \text{ кВт.}$$

2) Следовательно, за месяц 4 ЛЛ потребляют:

$$P'' = (18 \cdot 256 \cdot 8) \cdot 30 = 1106 \text{ кВт,} \quad (11)$$

где P'' – количество кВт, которое расходуют четыре ЛЛ в месяц.

3) В данной работе необходимо рассчитать потребление электроэнергии ЛЛ за 5 лет:

$$C = P'' \cdot k \cdot e, \quad (12)$$

где C – общая стоимость электроэнергии ЛЛ за 5 лет, руб;

k – количество месяцев в 5-ти годах;

e – стоимость электроэнергии за 1 кВт/ч днем, руб;

$$C = 1106 \cdot 60 \cdot 4 = 265\,440 \text{ руб.}$$

Аналогично рассчитываем потребление электроэнергии СД за 5 лет по формулам 13–15:

1) Один СД расходует 54 Вт в час, тогда в день 64 СД потребляет:

$$P' = P \cdot n \cdot \tau \quad (13)$$

$$P' = 54 \cdot 64 \cdot 8 = 27,6 \text{ кВт.}$$

2) Следовательно, в месяц 64 СД расходуют:

$$P''' = 27,6 \cdot 30 = 829,4 \text{ кВт,} \quad (14)$$

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

где P''' – количество кВт, которое расходует СД в месяц.

3) В данной работе необходимо рассчитать потребление электроэнергии СД за 5 лет:

$$C'' = P''' \cdot k \cdot e, \quad (15)$$

где C'' – общая стоимость электроэнергии СД за 5 лет, руб.

$$C'' = 829,4 \cdot 60 \cdot 4 = 199\,065 \text{ руб.}$$

Утилизация.

Одним из минусов ЛЛ является применение небольшого количества ртути, и отказаться от ее использования не представляется возможным, так как на этом металле основан принцип работы. Лампы относятся к особо опасной категории отходов, т. к. в них находятся крайне опасные, ядовитые вещества, которые попадают в грунт и загрязняют окружающую среду. Утилизацией ЛЛ имеют право заниматься только специализированные организации, имеющие лицензию на проведение подобного вида работ.

Предприятиям с такими фирмами можно заключить договор на утилизацию отработанных лампочек. Такой договор на утилизацию обычно заключается на год, цена на годовое обслуживание варьируется в зависимости от каждой конкретной компании и населенного пункта, в котором эта компания действует. Стоимость утилизации лампочек разнится в зависимости от вида. Цены на утилизацию в данной работе примем в соответствии с [38].

$$Y = r + p + w \cdot n, \quad (16)$$

где Y – общая стоимость утилизации ЛЛ за 5 лет, руб;

r – стоимость годового договора на предоставление нормативной и договорной документации, руб;

p – стоимость спецтары для хранения люминесцентных ламп, руб;

w – стоимость утилизации одной ЛЛ, руб.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Y = 3000 + 3100 + 16 \cdot 256 = 10196 \text{ руб.}$$

Светодиодные лампы относятся к отходам IV класса опасности – малоопасным. Это значит, что сам по себе такой отход не способен нанести вреда природе и человеку, потому что не содержит такие вредные вещества, как ртуть, ядовитые газы, свинец и др. Поэтому утилизация светодиодных ламп и на практике ничем не отличается от переработки любых других малоопасных твердых бытовых отходов.

Можно сделать вывод, что по всем параметрам СД «выигрывают» у энергосберегающих ламп (таблица 2).

Таблица 2 – Расчет эксплуатационных затрат

	Люминесцентные лампы, руб.	Светодиодные лампы, руб.
Покупка и замена	105 984	61 440
Электроэнергия	265 440	199 065
Утилизация	10 196	–
Общая сумма	381 620	260 505
Экономический эффект, руб	121 115	

Замена ЛЛ на СД дает повышение комфорта, ведь светодиодное освещение дает более полезный для глаз свет, а также использование СД ламп сможет создать высококачественное освещение при этом их характеристики сохраняются долгое время, электроэнергии расходуется небольшое количество. Внедрение светодиодных ламп является более перспективным решением проблем энергетической эффективности с точки зрения безопасности, экологии и функциональности.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИИ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО ПОТОКА. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ

В современном мире широко используются различные источники света, при этом увеличиваются требования не только к количественным показателям (освещенность), но и к качественным показателям осветительного устройства. Одним из показателей качества является пульсация освещенности. Коэффициент пульсации (K_p) является критерием оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока источников света при питании их переменным или импульсным током [5].

4.1 Анализ публикаций, исследований и актуальных нормативных документов

Впервые внимание к пульсации освещенности и влиянию на здоровье человека было привлечено с распространением газоразрядных источников света (ГИС) в 1950–1960-ые годы. В те времена приборов для измерения пульсации еще не существовало, поэтому использовались расчетные методы определения пульсации [34, 35]. Коэффициент пульсации на рабочем месте предлагалось определять с учетом «табличных» значений пульсации различных источников света (ИС), подключенных к различным фазам питающей сети, с учетом сдвигов фаз и освещенности, создаваемой отдельными ИС [28, 36].

Высокий уровень пульсации дает непроизвольную электроэнцефалографическую реакцию, влияет на биоэлектрическую активность мозга, тем самым, вызывая повышенную утомляемость [20, 29]. При длительном и кратковременном воздействии пульсации может появиться усталость, напряжение в глазах, головная боль. К наиболее опасным последствиям высоких пульсаций светового потока ламп относится возникновение стробоскопического эффекта – иллюзии неподвижности или замедленного движения вращающихся объектов, что может привести к производственным травмам [33].

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Считается, что при частоте пульсации 300 Гц и выше глубина пульсации не имеет значения, так как на эти частоты мозг не реагирует и действие на электрическую активность мозга не наблюдается [27, 29, 40].

Офисные работники, которые практически постоянно используют компьютеры в своей работе, обоснованно жалуются на повышенную зрительную утомляемость, поэтому диктуется необходимость ограничивать коэффициент пульсации светового потока.

Не случайно, нормативный документ [3] устанавливает жесткие требования к освещению: коэффициент пульсации не должен превышать 5 %. Документ [7] так же содержит требования к освещению помещений с компьютерами, в нем другое требование – 10 %. В документах [4, 5] коэффициент пульсации так же не должен превышать 5 % на рабочем месте, оборудованном персональным компьютером. Согласно опыту, в [29] уровень, форма и частота пульсация светового потока СД существенно различается от ГИС. Но современные документы предъявляют требования к $K_{п}$ безотносительно указания типа ИС.

4.2 Исследование причин пульсации

В настоящее время представлено множество СД ИС в разных ценовых категориях и производителей. Было проведено экспериментальное исследование некоторых образцов (таблица 3). Измерения проведены пульсметром-люксметром «ТКА-ПКМ» зав. № 08 460. Можно сделать вывод, что СД ИС с возможностью регулирования светового потока не отвечают актуальным требованиям нормативных документов.

Таблица 3 – Результаты измерения $K_{п}$ светодиодных источников света

Стоим., руб	Е, лк	$K_{п}$, %	Стоим., руб	Е, лк	$K_{п}$, %
85	150	2	137	40	78
66	160	0,5	171	60	0
115	50	0	188	80	2,7
64	170	0	145	82	11
134	66	0	95	96	0,8

Продолжение таблицы 3

Стоим., руб	Е, лк	К _п , %	Стоим., руб	Е, лк	К _п , %
98	113	9,5	136	35	0
190	113	10	57	70	0
45	84	0	110	85	2,5
120	138	0	75	68	4
280	20	0	65	92	3

Изменение яркости СД (диммирование) может осуществляться аналоговым методом, а также методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), который представляет собой частое включение и выключение СД с различным коэффициентом заполнения [13]. Популярность метода обусловлена тем, что зависимость интенсивности света от коэффициента заполнения более линейна, чем зависимость интенсивности света от тока [15], но использование этого метода может привести к мерцанию. Оно может ощущаться при низкой частоте (менее 100 Гц) циклов вкл/выкл. Но даже при более высоких частотах, при которых эффект мерцания не может быть ощутим напрямую, мерцание может восприниматься косвенно или стать причиной возникновения стробоскопического эффекта, обычно он появляется, если глубина пульсации светового потока составляет более 20 % [24], в случае, когда частота пульсации кратна частоте вращения объекта, эффект наступает при К_п немного превышающего 5 % [23].

Были проведены исследования зависимости К_п при ШИМ-регулировании яркости СД ИС (таблица 4).

Таблица 4 – Изменение пульсации светового потока при регулировании яркости СД

К _{рег}	№ светильника	Е, лк	К _п , %	№ светильника	Е, лк	К _п , %
100	1	69	0	2	160	4
90		57	38,5		147	46
80		49	58		137	59
70		42	76,4		127	70
60		36	93		112	83
50		29	114,8		99	99
40		19	185		83	112

Продолжение таблицы 4

$K_{рег}$	№ светильника	Е, лк	$K_{п}$, %	№ светильника	Е, лк	$K_{п}$, %
30		10	240		68	147
20		10	320		53	184
10		10	350		36	214
100	3	130	4,5	Средние значения	119,6	2,8
90		121	28		108,3	37,5
80		114	42		100	53
70		104	57		91	67,8
60		92	69		80	81,6
50		82	79		70	97,6
40		75	88		59	128,3
30		65	103		47,6	163,3
20		57	122		40	209
10		47	145		31	236,3

Для обоснования зависимости между показателями пульсации освещенности и коэффициента регулирования ($K_{рег}$) проведен регрессионный анализ собранных данных, при помощи коэффициента линейной детерминации R^2 – одной из наиболее эффективных оценок адекватности регрессионной модели:

Для 1 светильника: $y = 108,91e^{-0,006x}$; $R^2 = 0,9613$.

Для 2 светильника: $y = 127,86e^{-0,01x}$; $R^2 = 0,9642$.

Для 3 светильника: $y = 151,52e^{-0,016x}$; $R^2 = 0,925$.

Можно сделать вывод, что зависимость $K_{п}$ от коэффициента регулирования имеет нелинейный характер, а полученная полиномиальная функция имеет высокую степень адекватности регрессионной модели (рисунок 12).

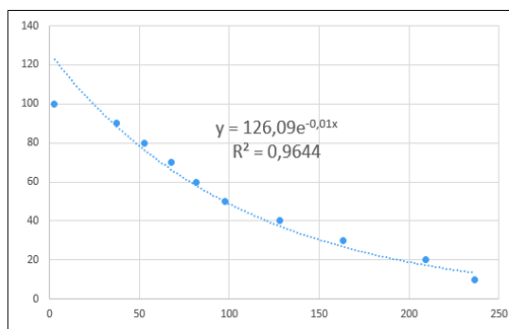


Рисунок 12 – Зависимость коэффициента пульсации от коэффициента регулирования

Максимальная пульсация наблюдается при низких уровнях яркости, а допустимая пульсация только при максимальных.

4.3 Разработка рекомендаций

Существуют три основных способа снижения пульсации светового потока:

- подключение обычных светильников на разные фазы трехфазной сети (два или три осветительных прибора);
- питание двух ламп в светильнике со сдвигом (одна – отстающим током, другая опережающим), для чего в светильник устанавливают компенсирующие ПРА;
- использование светильников, где лампы работают от переменного тока частотой 400 Гц и выше.

Далее были разработаны рекомендации по снижению пульсации светодиодных источников света с возможностью регулирования светового потока.

Известно, что высокочастотные пульсации оказывают меньшее воздействие на глаза, чем низкочастотные, поэтому производители пытаются сместить пульсации в высокочастотную часть спектра, где они будут незаметны и безвредны.

Для проведения экспериментальных исследований, было создано устройство, способное одновременно изменять частоту и скважность сигнала. Для определения интервала времени выключения СД, при котором его мигание будет незаметным, авторами [25] был изготовлен макет на микроконтроллере Arduino Uno R3, управляющем яркостью СД посредством ШИМ. Когда энкодер ЕС в режиме скважности, он может менять значения от 0 до 100 %, когда энкодер ЕС в режиме частоты, он может менять значения от 0 до 10000 Гц. Сигнал, поступающий на дисплей LCD, несет в себе информацию об установленных значениях частоты и скважности, а также какой режим работы энкодера ЕС установлен.

Были проведены исследования зависимости $K_{п}$ от частоты ШИМ-регулирования СД ИС (рисунок 13).

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Kз	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%
20		404		407		410		409		411		417,3		419		431,4
30		239		235		239		240		240,5		240,7		243		247,2
40		168		169		169		169		169,6		169,9		172		172,5
50	50	129	60	131	70	130	80	130	90	130,4	100	131,2	150	131,7	200	131,7
60		105		104		106		106		106		106,3		106		106,5
700		89		89		89		89		89,3		89,1		89		88,7
80		76		77		76		76		76,6		76,4		75,8		75,1
90		66		66		66		66,1		66		65,1		62,8		61,8
100		0		0		0		0		0		0		0		0
Kз	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%
20		400		390		386		377		345,5		276		260		222
30		251		249		251		249,4		247,3		222		217		200
40		172		171		174		173,8		173,8		167		171,1		167
50		132		132,3		132		131,8		131,7		129		130,5		128,8
60		106,2		105		105,8		105,3		104,9		103,5		103,2		101,9
700		88,2		87		87,3		86,5		85,8		83,2		83,4		81,6
80		73,9		72,4		72,2		71		69,9		64		65,9		63,4
90		56,1		55		54,8		52,2		50		40,2		43,4		39,7
100		0		0		0		0		0		0		0		0
Kз	f, Гц	Kн,%	f, Гц	Kн,%	f, кГц	Kн,%	f, кГц	Kн,%	f, кГц	Kн,%	f, кГц	Kн,%	f, кГц	Kн,%	f, кГц	Kн,%
20		180		170		140		73		60		48		38		27
30		175		165		132		67		56		45		35		24
40		161		156		126		63		53		43		32		21
50	800	126	900	120	1	118	1,1	60	1,2	46	1,3	36	1,4	128	1,5	18
60		100,3		95		0		52		40		30		24		15
700		79		76		70		45		36		25		20		13
80		60,6		60		53		38		33		20		18		10
90		36,3		31		28		26		24		15		13		8
100		0		0		0		0		0		0		0		0

Рисунок 13 – Зависимость коэффициента пульсации от частоты ШИМ-регулирования СД ИС

Из рисунка 13 видно, что при увеличении частоты тока и коэффициента заполнения коэффициент светового потока уменьшается.

Так, при частоте 50–200 Гц коэффициент пульсации практически не изменяет своих значений. Снижение коэффициента пульсации с повышением частоты тока заметно уже при частотах 400–800 Гц. Чтобы сгладить пульсацию светового потока источника света достаточно частоты, равной 1000 Гц [14]. При частоте тока 1,5 кГц и коэффициенте заполнения равного 80 % пульсация светового потока полностью соответствует требованиям нормативных документов [7]. Это позволяет повысить качество освещения, улучшить условия труда и производительность [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель работы состояла в том, чтобы обеспечить выполнение нормативных требований к освещению рабочих мест, оборудованных ПЭВМ в соответствии с требованиями освещенности к помещениям с использованием мониторов.

Чтобы этого достичь были рассмотрены различные способы управления освещением и уже существующие системы управления освещением. На основе этого были сделаны выводы о способе управления будущей СУО и о том, что не существует еще такой системы, которая удовлетворяла бы всем нормативным требованиям по освещению рабочих мест с компьютерами.

Поэтому благодаря теоретическим исследованиям, проделанным на основе экспериментальных данных, было выявлено, что для разрабатываемой СУО потребуется минимум два датчика освещенности, которые будут установлены на верхней части монитора и возле клавиатуры.

Далее была разработана система управления освещением, которая полностью учитывает «жесткие» требования к освещению рабочих мест с дисплеями.

После была произведена закупка элементов и сборка опытного образца системы управления освещением. Опытный образец смонтирован в лаборатории ЮУрГУ. На данный момент проводятся исследования его работоспособности в различных режимах.

В ходе работы были проведены исследования пульсации светодиодных источников света с возможностью регулирования светового потока. Исследования источников искусственного света показали, что многие из них не отвечают актуальным требованиям нормативных документов, что не позволяет использовать их для производственного освещения. На основании этого были разработаны рекомендации по снижению пульсации светодиодных источников света с возможностью регулирования светового потока.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6–ФКЗ, от 30.12.2008 № 7–ФКЗ, от 05.02.2014 № 2–ФКЗ, от 21.07.2014 № 11–ФКЗ) / Собрание законодательства РФ, 04.08.2014, ст. 37, ч. 3.
2. Федеральный закон от 30.12.2001 № 197–ФЗ (с изменениями от 12.11.2019) «Трудовой кодекс Российской Федерации».
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 47 с.
4. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стандартинформ, 2017. – 106 с.
5. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – М.: Стандартинформ, 2016. – 75 с.
6. EN 12464–1: 2011. Light and lighting – Lighting of work places. Indoor work places.
7. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
8. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехнике. М.: Энергоатомиздат, 2006, С. 972.
9. Акерманн, Б. Управление затеняющим устройством посредством распознавания изображений: патент РФ 2531730; МПК E06B 9/24; № 2011144817/12.
10. Антипин, С. Светодиодные матрицы против одиночных светодиодов / С. Антипин, Г. Королев // Полупроводниковая светотехника, 2011, № 5, с. 52–55.
11. Ашрятов, А.А. О замене линейных люминесцентных ламп на светодиодные аналоги /А.А. Ашрятов // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2016. – № 1. – С. 23–26.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

12. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / коллектив авторов; под ред. А.И. Сидорова. – 2-е изд., перераб., и доп. – М.: КНОРУС, 2016. – 552 с.

13. Белова, Е. Системы управления IntiLED / Е. Белова // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 2. – с. 50–53.

14. Боос, В.Г. Ограничение пульсации светового потока разрядных ламп местного освещения / В.Г. Боос, А.П. Меркулова // Светотехника. – 1986. – № 12. – с. 10–11.

15. Буданова, А. Управление цветом комбинированного светодиодного RGB-источника света. Применение RGB-светодиодов / А. Буданова // Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 3. – с. 32–35.

16. Вейс, Б. Регулирование уровня яркости светодиодных светильников без эффекта мерцания / Б. Вейс // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – № 3. – С. 14–15.

17. Гриффитс, Т. Интеграция интернет-технологий в системы твердотельного освещения / Т. Гриффитс // Современная светотехника. – 2015. – № 2. – С. 26–29.

18. Дмитриев, С. Датчики движения и присутствия – реальная экономия энергии / С. Дмитриев // Энергосбережение. – 2009. – № 7. – С. 38–43.

19. Завьялов, Д. Econex Smart – беспроводная система управления освещением / Д. Завьялов // Современная светотехника. – 2015. – № 5. – С. 42–45.

20. Ильина, Е.И. Почему не принимаются меры для снижения пульсации освещенности / Е.И. Ильина // Светотехника. – 2005. – № 4. – с. 71–72.

21. Искусственное освещение, [Электронный ресурс]. – <https://www.calc.ru/Iskusstvennoye-Osveshcheniye.html>.

22. Класманн, Д., Мерфи, М. Интеллектуальная система управления освещением: патент РФ 2561494; МПК H05B 37/02; № 2011145306/07.

23. Клыков, М.Е. Пульсация светового потока источников света и методы ее уменьшения / М.Е. Клыков, Е.Г. Овсепьянц, Н.Н. Шкуро // Светотехника. – 1985. – № 2 – с. 18–21.

24. Кроль, Ц.И. Качество промышленного освещения / Ц.И. Кроль, Е.И. Мясоедова, С.Г. Терешкевич. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 225 с.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

25. Kudryashov A.V. Experimental PWM controlled device / A.V. Kudryashov, E.S. Galishheva, G. N. Yagovkin // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) March 2019.

26. Ларина, О.С. DALI – конвертер GlacialPower и совместимые диммируемые драйверы светодиодов 3 в 1 / О.С. Ларина // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – № 1. – С. 52–55.

27. Лукин, А. К вопросу о пульсациях выходного напряжения (тока) драйверов для светодиодного освещения / А. Лукин, И.К. Ошурко // Полупроводниковая светотехника. – 2012. – № 5. – с. 60–63.

28. Мясоедова, Е.И. Уточнение и дополнение инженерного метода расчета коэффициента пульсации освещенности / Е.И. Мясоедова, В.Н. Уткин // Светотехника. – 1992. – № 6. – с. 24.

29. Ошурков, И.А. О нормативных и гигиенических аспектах питания светодиодов / И.А. Ошурков, В.Д. Поляков, Т.В. Ремизевич // Полупроводниковая светотехника. – 2013. – № 2. – с. 12–16.

30. Парамонов, Е. Беспроводная система управления освещением МЕ6 / Е. Парамонов // Современная светотехника. – 2015. – № 3. – С. 45–47.

31. Параскевов, А.В. Необходимые условия разработки системы контроля искусственного освещения / А.В. Параскевов, А.В. Левченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, – 2015. – № 110 (06). – С. 1–12. – <http://ej.kubagro.ru/2015/06/pdf/59.pdf>, 1,386 п.л.

32. Петров, В.И. Азбука освещения / В.И. Петров. – М.: Вигма, 1999. – 67 с.

33. Sacks Tong. Philips ops for 25 kHz lamp operation // Elec. Rev. 1982. 9. P. 211.

34. Спренне, В.Р. Измерение пульсации светового потока в лабораторных условиях / В.Р. Спренне., А.А. Гусев, О.И. Скитский // Светотехника. – 1964. – № 2. – с. 18–21.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

35. Спренне, В.Р. Измерение пульсации светового потока в лабораторных условиях / В.Р. Спренне., А.А. Гусев, О.И. Скитский // Светотехника. – 1965. – № 7. – с. 29.

36. Свиридов, Ю.И. Расчет коэффициента пульсации в осветительных установках с газоразрядными источниками света / Ю.И. Свиридов // Светотехника. – 1967. – № 6. – с. 10–14.

37. Туркин, А. Полупроводниковые светодиод: история, факты, перспективы / А. Туркин // Полупроводниковая светотехника, 2011, № 5, с.28–33.

38. Утилизация отработанных ламп в Москве и области, [Электронный ресурс]. – <https://www.e-util.ru/utilizaciya-lamp>.

39. Фастовец, Н.О. Математическая статистика. Примеры, задачи и типовые задания. Учебное пособие / Н.О. Фастовец, М.А. Попов. – М.: – 2012. – С. 99 с.

40. Черниловская, Ф.М. Освещение промышленных предприятий работоспособность человека / Ф.М. Черниловская. – М.: Медгиз. 1968.

41. Циммерман, Р. Управление группами осветительных приборов по шине DALI / Р. Циммерман // Полупроводниковая светотехника. – 2014. – № 6. – С. 22–25.

42. Шикин, Е.В. Математические методы и модели в управлении: учебное пособие / Е.В. Шикин, А.Г. Чхартишвили. – М.: КДУ, 2009. – 440 с.

43. Энгелен, Д. Способ и реализованное компьютером устройство для управления осветительной инфраструктурой: патент РФ 2549185; МПК H05B 37/02; № 2011105025/07.

					20.03.01.2020.575 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

					ИЗМ. 260602.65.14 14. 002. ПЗ	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		