

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ИНФОРМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ В
УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ «УМНЫЙ СВЕТ»**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 09.04.03 «Прикладная
информатика»
очной формы обучения, группы 12001733
Шурхаленко Павла Геннадьевича

Научный руководитель
к.т.н., доцент
Зайцева Т.В.

Рецензент
Руководитель отдела
информационных технологий
ООО «Мобильные
технологии»
Несвоев В.А.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Аналитический обзор литературы	7
1.1 Мировое потребление электроэнергии на освещение	7
1.2 Проблема искусственного освещения школ	9
1.3 Нормы и требования к организации освещенности в учебных помещениях.....	11
1.4 Современные системы управления освещением.....	14
1.5 Нормативно-правовая база в сфере освещения.....	17
2 Методика проведения эксперимента	19
2.1 Система сбора данных.....	19
2.2 Методика сбора данных световых характеристик	25
2.3 Создание макета помещения	26
2.4 Модульная структура научно-экспериментальной установки	34
2.5 Способ подбора комплекта датчиков освещенности для проведения измерений.....	36
2.6 Выбор рационального порядка включения светильников	38
2.7 Методика определения взаимосвязи внешнего и внутреннего освещения	39
3 Экспериментальная часть	42
3.1 Характер распределения естественного света	42
3.2 Подбор датчиков	45
3.3 Мониторинг освещения	46
3.4 Определение порядка включения потолочных светильников	47
3.5 Определение взаимосвязи внешнего и внутреннего освещения	52
4 Описание принципа работы модуля	56
4.1 Состав модуля	56
4.2 Работа модуля управления освещением.....	57
4.3 Управление светильниками	58
4.4 Первичная установка модуля в аудитории	63
4.5 Проверка решения на эффективность	64

4.6 Экономическая эффективность системы	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	70
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	72
ПРИЛОЖЕНИЕ А	78
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	79

ВВЕДЕНИЕ

По информации МЭА (международного энергетического агентства), 19% мирового потребления электрической энергии расходуется на освещение. В России расходуется порядка 13% вырабатываемой электроэнергии. Экономия электроэнергии возможна благодаря повышению эффективности новых осветительных устройств и данная задача считается одной из приоритетных задач правительства в области развития энергетического комплекса и модернизации экономики страны [1].

В ВУЗах и школах освещение занимает 20-50% от всего объема энергопотребления. В таких учебных заведениях возникает острая необходимость введения мер по повышению эффективности освещения с целью энергосбережения [38]. Одним из способов повышения энергоэффективности - является разработка и внедрение комплексной системы использования естественного света с помощью автоматизированной системы управления источниками света [2].

Исходя из статистических данных, около 26% молодых людей заканчивают школу с дефектом зрения, при этом за весь период обучения у детей патология возрастает в 2,4-2,5 раза [37]. Причиной считается недостаток дневного света и неправильное использование искусственного света. Это связано с тем, что в основном в школах учителя сами решают, когда включить или выключить свет в классе, исходя из своих предпочтений и ощущений [3].

Поэтому при создании автоматизированной системы освещения, необходимо учитывать, как должна расходоваться электроэнергия. Это должно происходить так, чтобы при минимальных затратах, с помощью правильного устройства и эксплуатации, было возможно обеспечить комфортные условия для глаз учеников и студентов, и высокое качество освещения, в общем, в учебных помещениях.

Объектом исследования являются системы освещения учебных помещений. Предметом исследования является процесс управления освещением.

Цель выпускной квалификационной работы - минимизация затрат на электроэнергию за счет создания модуля дискретного управления потолочными светильниками и обеспечение санитарных норм освещения в учебных помещениях.

Для достижения данной цели требуется решение следующих исследовательских задач:

- 1) создание системы по сбору данных для характеристик проходящего света;
- 2) определение зависимости освещения внутри помещения от уровня освещения, которое поступает через окна;
- 3) разработка модуля управления освещением;
- 4) оценка экономической эффективности разработанного решения.

Научной новизной ВКР является разработка методики определения освещенности в локальных точках от естественного и искусственного освещения, поступающего в учебное помещение согласно СанПиН 2.2.1.2.1.1.1278-03.

На защиту выносятся следующие положения:

- методика определения взаимосвязи внешнего и внутреннего освещения;
- система сбора данных характеристик освещенности.

Практической ценностью данной работы является то, что разработанная система полностью автоматизирована и она требует наличие только одного датчика освещенности и по себестоимости значительно превосходит аналогичные решения.

Разработанный модуль управления освещением позволяет управлять включением потолочных светильников и производить протоколирование уровня освещенности. Датчик, установленный в оконном проеме, измеряет

уровень естественной освещенности. Уровень освещенности в различных точках аудитории определяется по зависимостям, которые были рассчитаны в ходе работы и заложены в программу. Включение потолочных светильников осуществляется группами, в которые они были объединены, параллельно светонесущей стене. Если уровень освещения ниже установленной нормы, то включается дальняя от окна группа светильников. При этом постоянно просчитывается, достаточен ли уровень освещения в помещении.

Пояснительная записка состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы ее цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе ВКР проводится аналитический обзор литературы, в котором рассматриваются проблемы освещения и повышенного потребления электроэнергии в школах, также была изучена нормативно-правовая база в сфере освещения.

Во втором разделе представлена информация о научно-экспериментальной установке, ее составных частях и макете помещения. Также была разработана система сбора данных.

В третьем разделе были проведены два исследования по определению освещенности в учебных помещениях двух школ. Проводился мониторинг освещения в течение всего рабочего дня.

В четвертом разделе описан принцип работы системы управления освещением. Решение проверено на эффективность в эксплуатации, а также приведена экономическая эффективность разработанной системы.

В заключении сформулированы основные результаты ВКР.

Пояснительная записка изложена на 83 страницах, содержит 41 рисунок, 9 таблиц, список использованных источников состоит из 43 наименований.

1 Аналитический обзор литературы

1.1 Мировое потребление электроэнергии на освещение

По данным МЭА около 19% от мирового потребления электроэнергии составляет освещение. Расходы электроэнергии на освещение можно соотнести с теми объемами, что производят ТЭЦ, которые работают на газе и превышают объемы электроэнергии, производимой АЭС либо ГЭС [1]. Мировые расходы на освещение немногим меньше 1% от мирового ВВП и составляют порядка 300-340 миллиардов долларов. С начала XIX века потребление электрического освещения увеличилось в 12000 раз, с 5 килолюмен-часов до 65 мегалюмен - часов в настоящее время [2].

В РФ на освещение тратится примерно 13% от всей электроэнергии, которая производится в стране. При этом около 30-40% затрат приходится на общественные здания [2]. Школы и ВУЗы каждый год тратят около 18 миллиардов рублей на потребление энергетических ресурсов. Потребление данного вида ресурсов в США, Германии и Канаде образовательными учреждениями на 1 м² площади в 2-4 раза меньше, чем в России [3].

В настоящее время присутствует огромный потенциал, который позволит сократить расходы на электроэнергию, при этом не потеряв в качестве [4]. Благодаря более активному использованию энергоэффективных технологий освещения, а также совершенствуя действующие способы освещения можно сократить на четверть расходы всего мира на освещение [5].

На рисунке 1.1 показано три прогноза мирового потребления электроэнергии на освещение с 1995 до 2030 года.

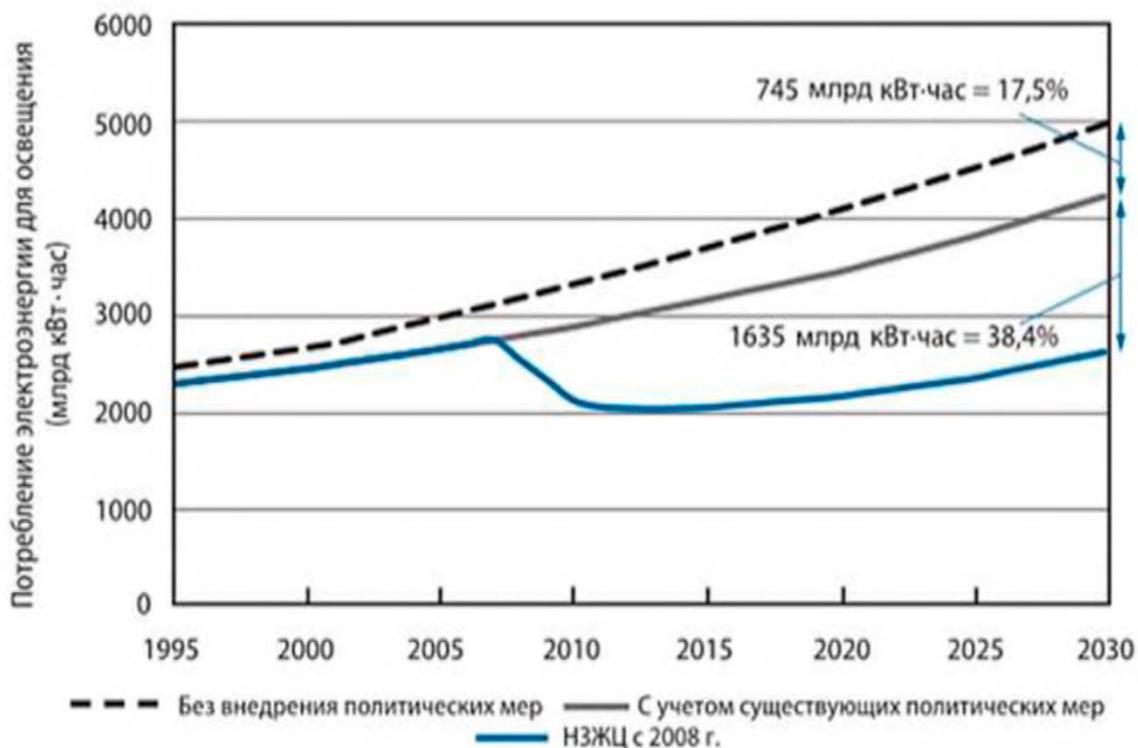


Рисунок 1.1 - Прогноз мирового потребления электроэнергии [5]

На представленном рисунке видно, что в последующие годы можно будет достигнуть экономии в 1635 млрд кВт*час конечной электроэнергии. Все это будет возможно благодаря внедрению плана по «наименьшим затратам жизненного цикла».

Если удастся сохранить порядка 40% электроэнергии, то в мировом масштабе, это будет составлять около 110 млрд. евро в год. Для окружающей среды это тоже будет полезно, например, можно будет сэкономить 1,6 млрд. баррелей нефти и существенно сократит выбросы углекислого газа [7].

На сегодняшний день, в 14 странах мира действуют программы Green light - государственные программы энергосбережения в системах освещения, в России пока такой программы нет [8]. Большинство стран продолжают принимать меры по замене ламп накаливания на более эффективные источники света. Как пишет журнал «Канцелярия»: «в Великобритании с начала 2009 года из продажи исчезли лампы накаливания мощностью 75, 100 и 150 Вт. В странах Европейского союза с 2012 года прекращено

производство традиционных ламп накаливания” [39]. В России запрет на производство и применение ламп накаливания мощностью в 100 Вт вступил в силу с 2011 года, а с 2014 действует запрет на оборот ламп мощностью более 25 Вт [9].

По оценкам МЭА: «при осуществлении мер, направленных на экономию энергии на освещение в мировом масштабе, можно сэкономить к 2030 году приблизительно 9,3 ЭДж энергии в год и сократить выбросы CO₂ на 1,2 млрд тонн ежегодно» [1].

Согласно источникам [3; 5; 18; 19; 20; 21], можно выделить несколько позиций основных мероприятий по рациональному использованию электроэнергии в системах управления освещением. Их можно применить и для образовательных учреждений:

- 1) необходимо заменить источники света на более энергоэффективные технологии. При замене ламп накаливания на светодиодные, энергопотребление может уменьшиться на 60-80%;
- 2) использование систем автоматического управления с использованием датчиков освещенности и присутствия поможет сократить затраты на электроэнергию до 50%;
- 3) замена электромагнитных пускорегулирующих аппаратов на более надежные и экономичные электронные;
- 4) использование светильников только по необходимости;
- 5) повышение эффективности естественного и искусственного освещения с помощью выбора светлых тонов при окраске помещений;
- 6) проведение регулярной чистки окон и осветительных установок не реже двух раз в год (5-10% экономии электроэнергии) [43].

1.2 Проблема искусственного освещения школ

Одна из проблем у освещения в школах и университетах, связана с энергоэффективностью этого освещения. В рамках проекта ООН были

обнародованы результаты исследования питерских школ, которые показали, что освещение в школах влияет на успеваемость и здоровье детей [31]. При исследовании состояния освещения школ была обнаружена высокая неравномерность горизонтальной освещенности. Это объясняется неправильным расположением и неоптимальным выбором осветительных приборов. Известно, что утомляемость и нервозность школьников напрямую зависит от качества “световой среды” в классе. В школах рекомендуется максимальное использование естественного света, так он оказывает наименьший вред на состояние здоровья школьника.

В подавляющем количестве школ индекс цветопередачи не соответствует нормам, что способствует снижению остроты зрения и приводит к ухудшению восприятия материала. С помощью повышения равномерности освещения можно увеличить контрастную чувствительность глаза учеников и улучшить адаптацию к световой среде.

По результатам исследования было выявлено, что 80% школьных классов не соответствуют требованиям действующих норм освещенности и включение/выключение светильников происходит от индивидуального восприятия учителя, что может привести к нехватке освещения для учеников либо к перерасходу электроэнергии. В классах на рабочих местах учеников освещенность составляет от 50-100 Лк до 250-260 Лк, при норме 400 Лк [40]. Недостаточное качество освещения способствует развитию близорукости у учеников и студентов. Также создает условия тормозного процесса в больших полушариях мозга. Это распространяется на нервные клетки и снижается активность человека [41]. В школах постепенно переходят на новые энергоэффективные светильники, но в большинстве продолжают использовать устаревшее световое оборудование, что приводит также к лишнему расходу электроэнергии. В Белгороде каждая школа проходит проверку на энергоэффективность и лишь немногие могут получить высший класс энергоэффективности.

Именно поэтому нужно обеспечить в школах правильное освещение (с соблюдением всех норм СанПиН) [10].

1.3 Нормы и требования к организации освещенности в учебных помещениях

Козловская В.Б. пишет: "...на долю зрения приходится 90% информации, поступающей в нервную систему человека из внешнего мира, и большое значение в гигиене зрения имеет характер освещения на рабочей поверхности. Самым благоприятным светом для школьника является солнечный свет, поэтому в таких помещениях необходимо максимальное его использование. В настоящее время в России сложилось неблагоприятное положение с состоянием зрения детей и юношества. Согласно статистическим данным, 22-25% молодых людей оканчивают школу с дефектом зрения, при этом за период обучения патология возрастает в 2,4-2,5 раза. Причиной этому считается недостаток дневного света и искусственного освещения..." [11, с. 12]. Освещение в школах имеет большое влияние на проведение учебного процесса, так как без должного освещения рабочего места даже не видно, что писать. Именно поэтому при создании системы управления освещением в школах и университетах требуется соблюдение определенных требований и норм [12, 13]. Все нормы и требования прописаны в специальной документации (СанПиН и СНиП). В документах описано абсолютно все, что нужно учитывать организации каждого рабочего места ученика и студента, все нормы и правила постоянно обновляются.

1.3.1 Особенности организации освещения в образовательных учреждениях

Состав помещений для школ и прочих образовательных учреждений определяется в соответствии со спецификой образования, вместимостью и требованиями организации учебного процесса. Школы в России рассчитаны

для обучения детей различных возрастов. Поэтому школьные здания разбиты на секции для школьников каждой возрастной группы [14].

В школе ученики проводят как минимум половину дня. Они на протяжении всего времени пребывания в школе - читают, пишут, в кабинетах химии и физики проводят лабораторные занятия, а также занимаются уроками по технологии и изобразительным искусством.

Учебные помещения разделяются на три типа:

- продольный класс (размер 9х6 м, вдоль наружной стены должно быть выполнено ленточное остекление);
- поперечный класс (размер 6х9 м, вдоль наружной стены должно быть выполнено сплошное остекление и дополнительный подсветом, только при поперечных несущих стенах);
- квадратный класс (размеры сторон могут колебаться от 7,2 м до 8 м, вдоль наружной стены должно быть выполнено сплошное остекление и устройством дополнительного подсвета).

В большинстве школ используется продольный тип класса. Один класс рассчитывает на размещение 40 учащихся на двухместных партах. Норма на одного учащегося -2,5 м² [15].

1.3.2 Естественный и искусственный тип освещения школы

В регламентирующей документации (СанПиН и СНиП) прописаны нормы и требования для естественного и искусственного типов освещения [16, 17].

Для создания оптимального уровня освещенности для рабочего места используют максимальное значение естественного света в помещении. Естественное освещение является наиболее приятным и оптимальным для человеческого глаза.

Во всех видах класса, окна, через которые проходит естественный свет, должны располагаться слева от сидящих учащихся. Также рабочие места школьников должны быть размещены рядами параллельно светонесущей стене. Площадь окон должна составлять не менее 25% от площади пола. С целью максимального использования дневного света и равномерного освещения в учебных помещениях существуют следующие правила:

- запрещается закрашивать оконные стекла;
- нельзя расставлять на подоконниках цветы. Их необходимо размещать в переносных горшках высотой 65-70 см от пола или подвесных кашпо в простенках;
- не реже двух раз в год проводить очистку и мытье стекол;

Для создания искусственного освещения существуют следующие правила:

- следует применять люминесцентное освещение и не смешивать его с лампами накаливания;
- потолочные светильники необходимо располагать параллельно светонесущей стене на расстоянии 1,2 м от наружной стены и 1,5 м от внутренней;
- равномерное распределение светового потока по площади помещения класса;
- свет должен быть рассеянным и без резких теней, быть безопасным и не изменять химические свойства воздуха.
- классные кабинеты должны освещаться белым, тепло-белым и естественно-белым светом;
- необходимо предусмотреть отдельное включение линий светильников.

Классная доска освещается дополнительно. Рекомендуется размещать светильники выше верхнего края доски на 0,3 м и на 0,6 м в сторону класса перед доской.

В учебных кабинетах предусмотрены следующие нормы освещенности:

- уровень освещенности на рабочих столах – 300 - 500 Лк;
- уровень освещенности на доске – 300 - 500 Лк;
- уровень освещенности в кабинетах рисования и технического черчения - 500 Лк;
- уровень освещенности при использовании компьютерной техники - 300 Лк [42].

1.4 Современные системы управления освещением

Современные СУО позволяют экономить электроэнергию и улучшать комфортность освещения. Основными функциями таких АСУО являются контроль за состоянием осветительных установок и управление освещением.

Виды контроля осветительных установок:

- уровень естественного освещения;
- энергопотребление, напряжение тока, энергопотребление и характеристики качества электроэнергии;
- наличие людей в помещении.
- качественные и количественные характеристики искусственного освещения;
- режим работы и исправность светильников;
- функции управления осветительными установками:
- поддержка заданного уровня освещенности искусственным светом;
- автоматическое обеспечение рабочих мест светом, учитывая интенсивность естественного освещения;
- автоматизированный учет присутствия людей в помещении.

Методами непосредственного управления осветительной установкой является дискретное включение и отключение светильников с помощью команд управляющих сигналов, а также плавное или ступенчатое снижение мощности освещения.

Современные АСУО можно разделить на локальные и централизованные. В локальных системах управление осуществляется только одной группой световых приборов. В централизованных же можно управлять любым количеством раздельно-управляемых светильников.

В помещениях, в которых условия дневного света различны, управление должно предусматривать включение светильников группами или определенными рядами по мере изменения проникновения дневного света в помещение.

АСУО можно разделить на три класса по объекту управления:

- СУО светильника;
- СУО помещения;
- СУО здания.

Почти все АСУО с целью экономии электроэнергии используют: датчики освещенности, датчики присутствия, датчики движения, таймеры, системы дистанционного управления и акустические датчики.

Датчик освещенности – это устройство, которое позволяет, в зависимости от уровня освещенности, автоматически управлять источниками света [32]. Данное устройство предназначено для контроля освещенности. В качестве датчика может использоваться любой светочувствительный прибор, такой как фотодиод или фоторезистор. Использование такого датчика для учебных помещений может помочь сохранить электроэнергию, которая ранее использовалась на освещение.

Датчик движения – это сигнализатор, который фиксирует перемещение объекта в зоне видимости датчика [33]. Принцип работы этого датчика заключается в анализе волн различных типов, которые поступают на датчик из окружающей среды. Когда объект попадает в зону действия датчика, то он

при помощи сенсоров фиксирует и передает сигнал устройству, к которому он подключен.

Датчик присутствия – это более чувствительный датчик движения, который фиксирует даже незначительные движения, которые происходят в зоне работы датчика [34]. Такой датчик используется только в системах управления освещением осветительными установками. Датчики присутствия могут быть активными и пассивными.

Можно выделить некоторые недостатки использования датчиков движения:

- высокая стоимость;
- сложность установки;
- возможность ложных срабатываний.

На сегодняшний день, большая часть АСУО построена на двух и более датчиках. Это повышает стоимость и вероятность ложных срабатываний. А как известно, ложные срабатывания могут привести к лишнему расходу энергии. Для образовательного процесса очень важно, чтобы система работала корректно. Например, если ученики пишут контрольную работу или ЕГЭ, то они могут сидеть почти неподвижно и, следовательно, система на датчиках движения может отключить свет в самый ненужный момент.

На рисунке 1.2 последовательно показаны результаты экономии электроэнергии при различных вариантах управления:

- 1) нерегулируемые осветительные установки;
- 2) ручное управление;
- 3) ручное управление и датчики присутствия;
- 4) автоматическое управление светового потока в лампах в зависимости от интенсивности естественного освещения;
- 5) комбинация второго и третьего варианта плюс контроллер с часами реального времени.

В российских школах сейчас используется только ручное управление освещением учебных классов. Школы не хотят покупать и устанавливать существующие автоматизированные системы из-за их высокой стоимости.

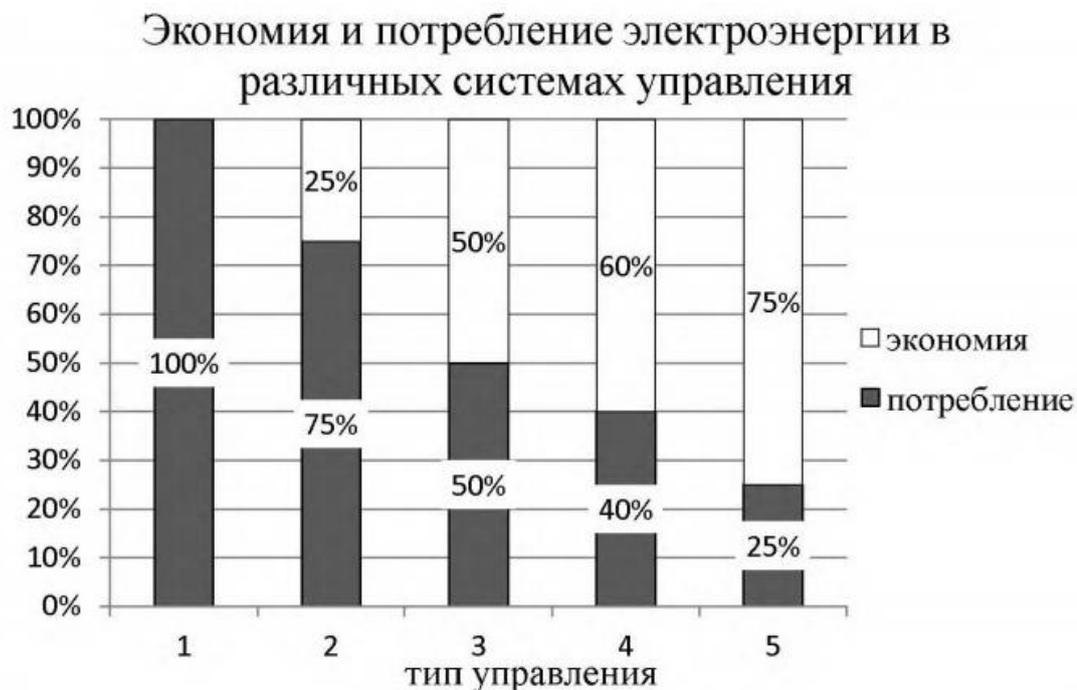


Рисунок 1.2 – Экономия электроэнергии в ОУ при различных вариантах управления освещением

1.5 Нормативно-правовая база в сфере освещения

Нормативно-правовая база – это совокупность документов, благодаря которым формируется уровень и качество освещения [35]. Данная база в сфере освещения представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – нормативно-правовая база в сфере освещения

Действующие документы	Наименование
1	2

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [17]	Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
СП 52.13330.2011 [16]	Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

Продолжение таблицы 1.1

1	2
ГОСТ Р 55392-2012 [24]	Приборы и комплексы осветительные. Термины и определения
ГОСТ Р 54350-2015 [25]	Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний
ФЗ Российской Федерации от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ [26]	Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации
СП 23-102-2003 [27]	Естественное освещение жилых и общественных зданий

2 Методика проведения эксперимента

2.1 Система сбора данных

Перед проектированием энергоэффективных систем освещения необходимо знать, как распределяется естественный свет во всех точках пространства в различное время суток. Свет – это сигнал, который можно измерить, поэтому была создана система сбора данных для снятия световых характеристик.

Система сбора данных – это комплекс средств, предназначенный для измерения электрических сигналов, которые поступают от преобразователей или датчиков. ССД осуществляет предварительную обработку, накопление информационных данных и их передачу в компьютер. ССД позволяет проводить множество операций с сигналами от физических объектов. Также система сбора данных позволяет выводить цифровые и аналоговые сигналы управления [28].

2.1.1 Плата Arduino UNO

В качестве контроллера используется решение от Arduino, а именно плата Arduino UNO (рисунок 2.1), которая построена на микроконтроллере ATmega328 и является достаточно простой в настройке и использовании.

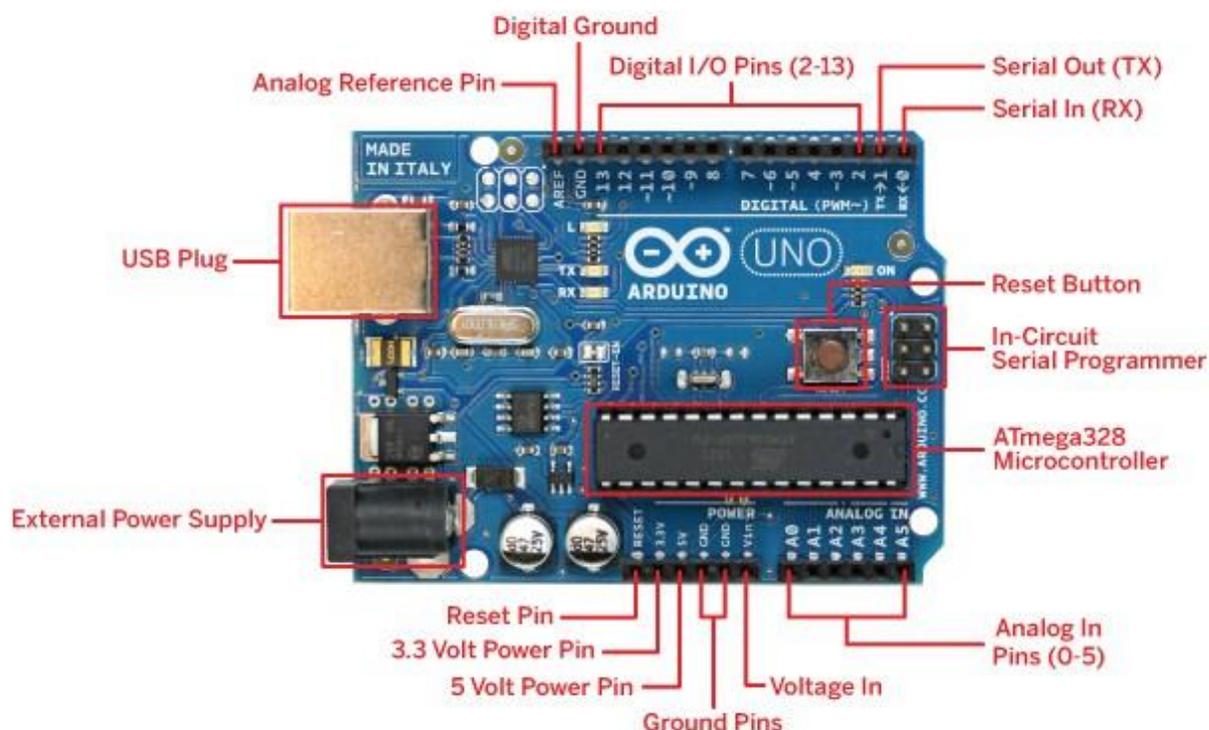


Рисунок 2.1 – Элементы платы Arduino UNO

Описание некоторых элементов платы Arduino UNO [36]:

- 6 аналоговых пинов, предназначенных для подключения аналоговых устройств;
- 14 цифровых пинов, на которые можно подавать только два вида сигналов high и low;
- разъем USB – для подключения к ПК;
- силовой разъем;
- IREF – это пин для информирования внешних устройств о рабочем режиме платы.

Характеристики платы Arduino UNO:

- микроконтроллер ATmega328;
- рабочее напряжение 5В;
- рекомендуемое входное напряжение 7-12В, предельное – 6-20В;
- цифровых входов/выходов 14 (6 из них можно использовать в качестве ШИМ-выходов);

- flash-память составляет 32 КБ. 0,5 КБ используются загрузчиком.

Выводы питания платы:

- 5 Volt power pin – на этот пин возможна подача напрямую 5В, в таком случае обходится входной стабилизатор и превышение этого напряжения выведет из строя устройство. Также этот пин может использоваться для питания внешних устройств;

- VIN – этот вход служит для подачи внешнего напряжения;

- 3V3 – на него подается напряжение от внутреннего стабилизатора;

- GND – вывод заземления.

Каждый из 14 цифровых выводов может быть настроен как на вход, так и на выход. Все выводы работают на напряжении 5В и каждый имеет нагрузочный резистор, отключенный по умолчанию, в 20-50 кОм и может пропускать до 40 мА.

2.1.2 Измерительный преобразователь

Для преобразования физического явления в электрический сигнал необходимо использовать преобразователь или датчик.

В оптоэлектронике широко используются различные полупроводники, которые могут взаимодействовать со световой энергией, так называемым электромагнитным излучением. Чаще всего для распознавания и преобразования света используются фоторезисторы, фотодиоды и приборы с зарядовой связью.

Для измерения уровня освещенности можно воспользоваться либо цифровым, либо аналоговым датчиком, которые отличаются друг от друга по характеру выходного сигнала.

Аналоговые датчики на выходе имеют непрерывный аналоговый сигнал, который пропорционален изменению входной величины. Для снятия такого сигнала используется аналого-цифровой преобразователь. После необходимо произвести преобразования значения АЦП в формат измеряемой величины.

Цифровые датчики – с такого типа датчиков информация снимается с помощью цифровых интерфейсов. Доступна такая информация в формате измеряемой величины.

Перед проектированием модуля были рассмотрены и протестированы датчики: аналоговый фоторезистор и оптический цифровой 16-битный. На основе предварительных тестов было решено использовать цифровой датчик, а именно GY-30, который выполнен на базе сенсора BH1750 с широким диапазоном измерений до 65535 Лк.

Главные преимущества этого цифрового датчика над фоторезистором, следующие:

- дает очень точные показания об освещенности в Лк;
- обеспечивает быстрый отклик на изменение света.

Модуль GY-30 (рисунок 2.2) имеет встроенный АЦП и цифровую логику, которая обрабатывает данные по освещенности и переводит уровень освещения в Люксы. Также этот модуль по шине I²C может передать данные на Arduino UNO.

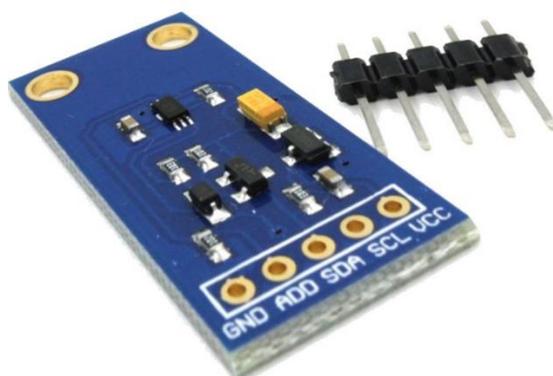


Рисунок 2.2 – Модуль GY-30 [30]

На модуле GY-30 находится оптический датчик - фотодиод, усилитель сигнала фотодиода и АЦП. На плате находятся также подтягивающие резисторы, конденсаторы и стабилизатор напряжения на 3,3В. Схема модуля GY-30 представлена на рисунке 2.3.

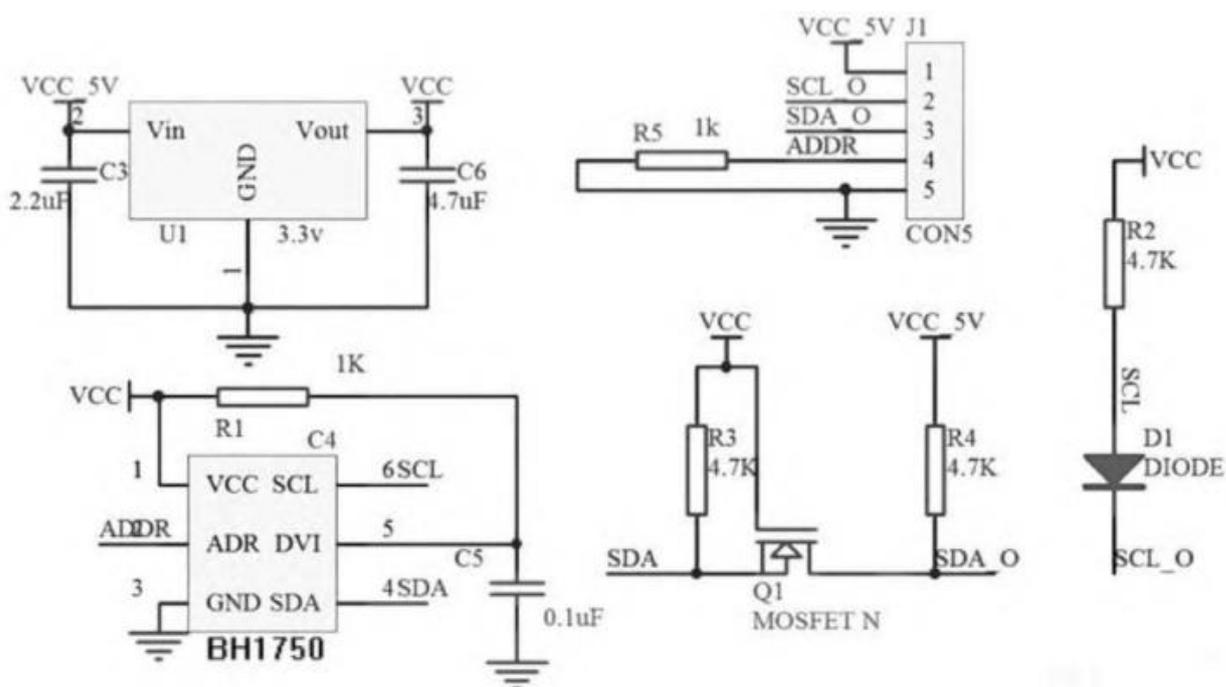


Рисунок 2.3 – Схема модуля GY-30

Сенсор на базе BH1750 имеет следующие технические характеристики:

- I2C цифровой интерфейс шины;
- спектральная характеристика близка к человеческому глазу;
- малое влияние инфракрасного излучения;
- низкое потребление тока с функцией спящего режима;
- широкий диапазон и высокое разрешение (1 до 65535 Лк);
- фильтрация световых шумов 50/60 Гц;
- точность в режиме высокого разрешения – 1 Лк;
- точность в режиме низкого разрешения – 4 Лк;
- ток потребления очень мал и составляет 120 мкА;
- период измерения в режиме высокого разрешения – 120 мс;

- период измерения в режиме низкого разрешения – 16 мс;
- не требует дополнительной калибровки.

2.1.3 Структурная схема

ССД состоит из 4-х модулей GY-30, которые подключены к контроллерам. Каждый датчик к своему контроллеру. Наличие контроллера для каждого датчика обусловлено тем, что на модуле GY-30 нет возможности изменения адреса. В каждый контроллер загружена программа, которая позволяет считывать данные в определенный промежуток времени. Данные измерения записываются в файл на компьютере. В этом файле указываются значение освещенности в Лк и номер измерения. К одному из контроллеров подключен пьезоэлектрический излучатель, который производит звуковой сигнал при записи измерения. Схема системы сбора данных представлена на рисунке 2.4.

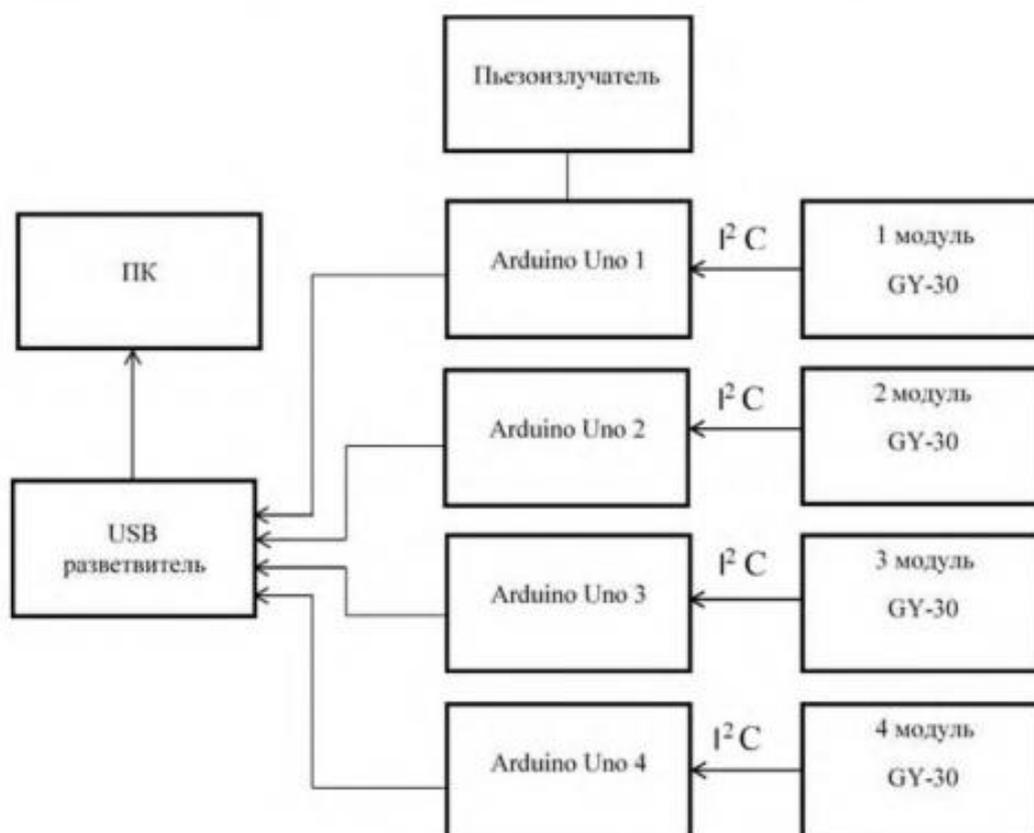


Рисунок 2.4 – Схема ССД

Чтобы данные с датчиков приходили одновременно, было произведено их подключение к USB-хабу. Это позволяет запускать контроллеры одновременно и соответственно измерять уровень освещенности в помещении в одно и то же время в нескольких точках сразу.

2.2 Методика сбора данных световых характеристик

Система сбора данных создана для фиксации, анализа и протоколирования уровней освещенности. Эта система позволяет измерять уровень освещенности в абсолютно разных точках пространства и сохранять данные для последующей обработки.

В зависимости от вида эксперимента выбирается нужное количество датчиков. Датчики можно установить в нужных точках исследуемой области. Каждый датчик нужно подключить к микроконтроллеру, который уже запрограммирован. После запускается программа, которая находится в ранее заведенной папке. При первом запуске программы автоматически определяется количество подключенных СОМ-портов. Каждому порту соответствует микроконтроллер. Интерфейс программы представлен на рисунке 2.5.

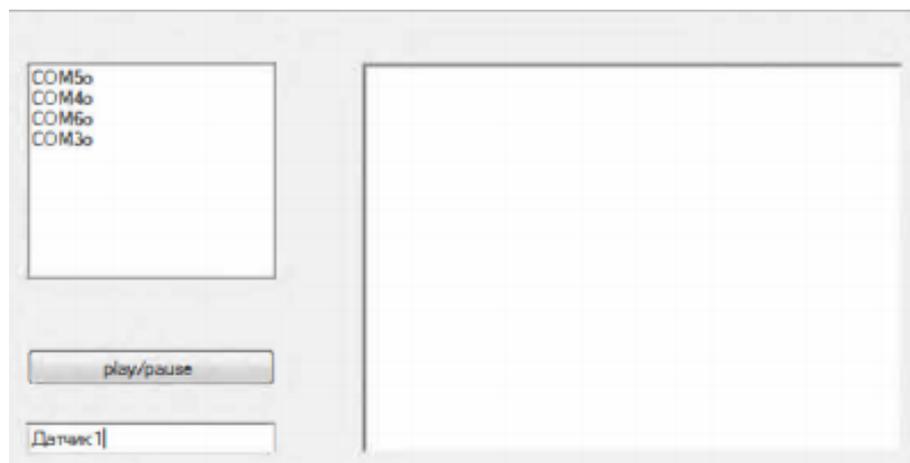


Рисунок 2.5 – Интерфейс программы системы сбора данных

Далее указывается имя файла для каждого датчика и выбирается номер порта, которому соответствует этот датчик. В зависимости от того, сколько датчиков необходимо, столько раз и запускается программа, в которой каждый раз указывается имя датчика и номер соответствующего порта.

Структура созданного файла, в который записываются данные измерений:

- первый столбец – значение уровня освещенности в Лк;
- второй столбец – номер измерения.

Временной интервал задается при загрузке программы в микроконтроллер и зависит от целей эксперимента.

2.3 Создание макета помещения

2.3.1 Описание аудитории

Для проведения исследования и выявления закономерностей, которые достаточно сложно получить в реальной аудитории, был создан макет учебной аудитории.

Прототипом выбрано помещение размером 6 х 6 м (36 м²), высота потолка – 3 м. На одной из стен на уровне 1 метра от пола располагается световой проем площадью 7,5 м². Стены в аудитории светлые. Потолок армстронг – белый. Аудитория оборудована 9 светодиодными светильниками, которые разделяются на 3 группы.

2.3.2 Проверка освещения на соответствие нормативным требованиям

Помещение перед созданием макета было проверено на соответствие нормативным требованиям касательно естественного и искусственного освещения.

Искусственное освещение включает в себя в себя верхнее и местное освещение. Уровень освещенности в зоне рабочего места должен быть в пределах 300 – 350 Лк. В замере учитывается также свет от самосветящихся предметов, фона и контраста. Необходимо ограничивать отраженную и прямую блескость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей должна быть не более 200 кд/м². Яркость потолка не должна превышать такого же значения, если используется система отражения освещения. Яркость бликов на экране ВДТ и ПЭВМ, не должна превышать 40 кд/м². Сведения о нормативных характеристиках искусственного освещения представлены в Приложении А, таблице А.2.

Естественное освещение на рабочих местах должно удовлетворять нормативам, которые значатся в СП 52.13330.2011 [15]. Нормативные требования устанавливаются в зависимости от зрительного напряжения и степени точности выполняемых работ. Естественное освещение осуществляется через окна и другие световые проемы, которые

ориентированы преимущественно на северо-восток и север, общей площадью 7,5 м² и нормируется КЕО (коэффициентом естественной освещенности). КЕО рассчитывается с учетом солнечного климата и светового пояса. Сведения о нормативных характеристиках естественного освещения представлены в Приложении А, таблице А.1.

Для обеспечения нормируемого значения КЕО требуется провести расчет естественного и искусственного освещения. Необходимо рассчитать площадь световых проемов, которая вычисляется по формуле:

$$S_{\phi} = \frac{S_n * KEO * K_3 * h_{\phi}}{100 * T_0 * r_2 * K_{\phi}}, \quad (2.1)$$

где S_{ϕ} – площадь световых проемов, м²;

S_n – площадь пола помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса;

h_{ϕ} – световая характеристика светового проема;

T_0 – общий коэффициент светопропускания;

r_2 – коэффициент, учитывающий отражение света;

K_{ϕ} – коэффициент, учитывающий тип светового проема.

Согласно СП 52.13330.2011 [15]:

$K_3 = 1,5$; $h_{\phi} = 15$; $T_0 = 0,63$; $r_2 = 1,25$; $K_{\phi} = 1,2$. Тогда

$$S_{\phi} = \frac{36 * 1 * 1,5 * 15}{100 * 0,63 * 1,25 * 1,2} \approx 8,57$$

$$S_{\phi} = 8,57 \text{ м}^2$$

Требуемая площадь световых проемов выше фактической 7,5 м², следовательно, надо будет использовать искусственное освещение. Оно обеспечивается 9 светильниками, в которых установлены светодиодные

лампы. Каждый такой светильник имеет световой поток $\Phi_{\text{л}} = 3750$ лм. Необходимое количество светильников легко рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{св}} = \frac{E_0 * S * k * z}{\Phi_{\text{л}} * n * j}, \quad (2.2)$$

где $N_{\text{св}}$ – количество светильников, шт.;

E_0 – освещенность, лк;

S – площадь помещения, м²;

k – коэффициент запаса;

z – коэффициент минимальной освещенности;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток, лм;

n – количество ламп в одном светильнике, шт.;

j – коэффициент использования светового потока;

Для расчета j – коэффициента использования светового потока, необходимо определить индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{A * B}{(A + B) * H_m}, \quad (2.3)$$

где i – индекс помещения;

A – ширина комнаты, м;

B – длина комнаты, м;

H_m – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

Индекс помещения равен:

$$i = \frac{6 * 6}{(6 + 6) * 2} = 2,57$$

По индексу помещения определен коэффициент использования светового потока: $j = 0,61$. В соответствии с СП 52.13330.2011 [15] $k = 1,5$. В расчетах принимается $z = 1,2$. Количество ламп в светильнике $n = 1$. Теперь

можно рассчитать необходимое количество светильников для соблюдения нормативов по формуле (2).

$$N_{\text{св}} = \frac{300 * 36 * 1,5 * 1,2}{3700 * 1 * 0,61} = 9 \text{ (шт.)}$$

Таким образом удалось получить необходимое количество светильников равно 9 шт., а в аудитории как раз и установлено 9 светильников. Теперь рассчитаем суммарную мощность светильников

$$P_{\text{сум}} = N_{\text{св}} * P_{\text{л}} \quad (2.4)$$

где $P_{\text{сум}}$ – суммарная мощность светильников, Вт;

$P_{\text{л}}$ – мощность одного светильника, Вт.

$$P_{\text{сум}} = 9 * 37 = 333 \text{ Вт}$$

Из расчетов можно сделать вывод о том, что условия освещенности аудитории соответствуют нормативным требованиям.

2.3.3 Описание макета аудитории

Макет аудитории был изготовлен в масштабе 1:10. Площадь макета составляет 3,6 м², высота 0,3м. На рисунке 2.6 представлен чертеж макета, а на рисунке 2.7 сам макет аудитории. В макете установлен потолок, который можно конфигурировать как это необходимо для экспериментов. Питание на потолочные светильники можно регулировать и можно разместить абсолютно любой тип светильников.

В данной работе на реконфигурируемом потолке были установлены светильники, в каждом из которых находятся по 9 светодиодов. Светильники изготовлены по форме настоящих и пропорциональны их размерам. Как материал выбрана светодиодная лента тепло-белого цвета ODEON 3528-60-WW.



Рисунок 2.6 – Схематичный чертеж модели аудитории



Рисунок 2.7 – Макет аудитории

Благодаря тому, что каждый светильник подключен к реле, можно управлять любым светильником независимо от других. Это сделано с целью определения рационального способа включения. В макете было решено использовать модуль восьмиканального и одноканального механического реле, в связи с тем, что девятиканальных реле не существует, а в макете установлено 9 светильников. На рисунке 2.8 показан модуль восьмиканального реле, а на рисунке 2.9 – модуль одноканального.

Такие модули позволяют произвести установку реле в устройство с питанием 5В и способны коммутировать выходные цепи с напряжением до 30В постоянного тока и с напряжением до 250В переменного тока. Сила тока не должна превышать 10А.

Оптопары такого реле объединены анодами и подключены через перемычку к положительному полюсу (VCC) и поэтому входной сигнал

является инвертированным, т.е. когда на выводе контроллера 1, то реле выключено, а если 0, то включено.

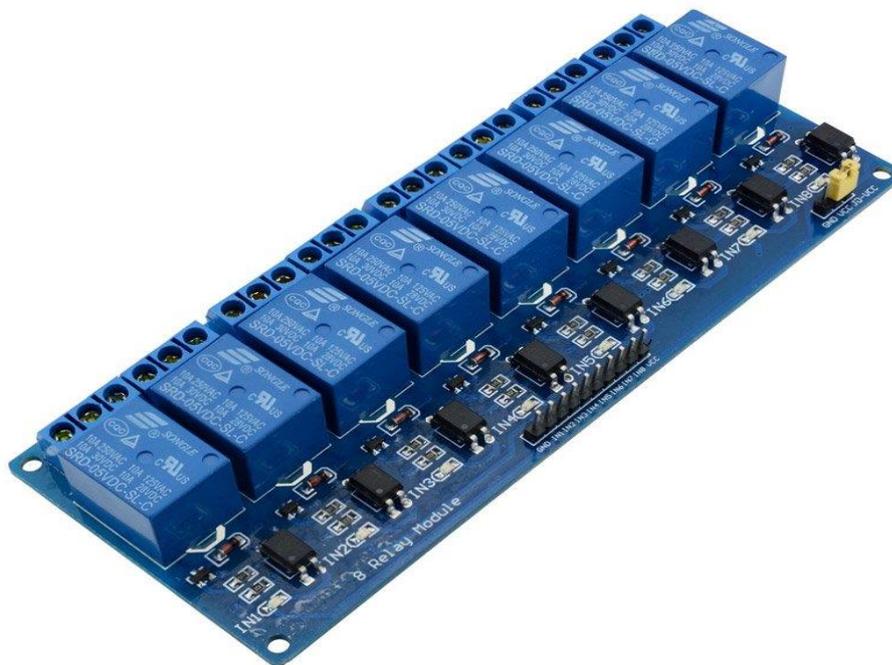


Рисунок 2.8 – Модуль восьмиканального реле

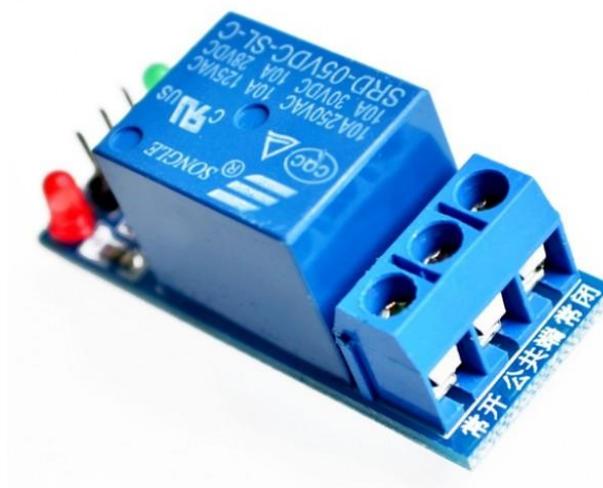


Рисунок 2.9 – Модуль одноканального реле

Два модуля реле подключаются к платформе для прототипирования NI ELVIS II, на основе которой реализован регулируемый источник питания с возможностью выставлять напряжение от 0 до 12 В. Структурная схема подключения представлена на рисунке 2.10.

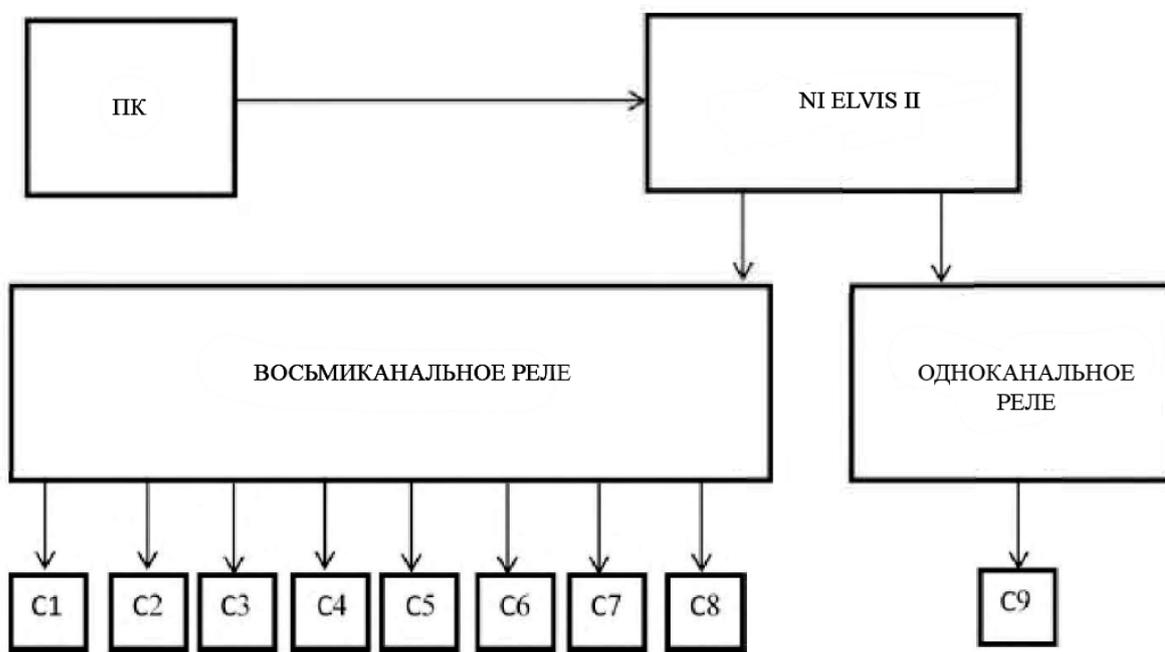


Рисунок 2.10 – Схема подключения осветительных приборов на потолке макета (C1-C9 – потолочные светильники)

2.4 Модульная структура научно-экспериментальной установки

Для проведения полного исследования распределения света в аудитории была разработана научно-экспериментальная установка. Она включает в себя такие составляющие:

- система сбора данных для анализа уровня освещенности в аудитории;
- макет помещения, с отдельным управлением световыми приборами;
- регулируемый источник напряжения.

При помощи данной установки было исследовано полное распределение дневного света, который проходил в окна аудитории. Были определены уровни освещенности в различных точках помещения при различных комбинациях включения потолочных светильников. Модульная структура научно-экспериментальной установки представлена на рисунке 2.11.

ССД осуществляет предварительную обработку, накопление информационных данных и осуществляет их дальнейшую передачу в компьютер. С компьютера же передаются сигналы на NI ELVIS II, который реализован как регулируемый источник питания, о том какое напряжение передать на устройство коммутации и далее на объект управления.

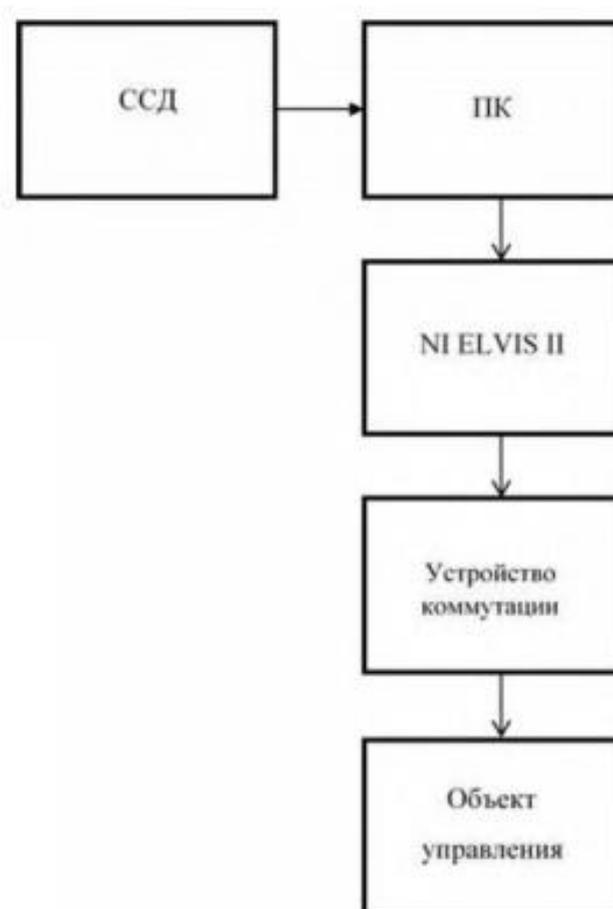


Рисунок 2.11 – Модульная структура научно-экспериментальной установки

2.5 Способ подбора комплекта датчиков освещенности для проведения измерений

Для измерения световых характеристик в аудитории, необходимо знать точные значения уровня освещенности в различных точках. Поэтому надо использовать несколько датчиков одновременно, иначе точных измерений не получить. Полученные с каждого датчика значения могут незначительно отличаться. Поэтому необходимо выбрать один датчик, эталонный датчик, значения которого максимально приближены к показателям цифрового люксметра. В макете помещения устанавливается как минимум 4 датчика освещенности и цифровой люксметр DT-1301 (рисунок 2.12).



Рисунок 2.12 – Цифровой люксметр DT-1301

Люксметр DT-1301 обеспечивает точное отображение уровня освещения в помещении в люксах в широком диапазоне. Люксметр состоит из фотодетектора и счетного устройства. На дисплей выводится вся нужная информация об освещенности.

Подбор датчиков был осуществлен на разработанной научно-экспериментальной установке. Внутри макета аудитории помещают датчики освещенности и люксметр, при этом исключив внешнее проникновение

света, закрыв своеобразные окна. На ПК запускается специальная программа для NI ELVIS II – NI ELVISmx Variable Power Supplies, интерфейс которой представлен на рисунке 2.13. Используя эту программу, можно регулировать уровень подаваемого напряжения на все светильники.

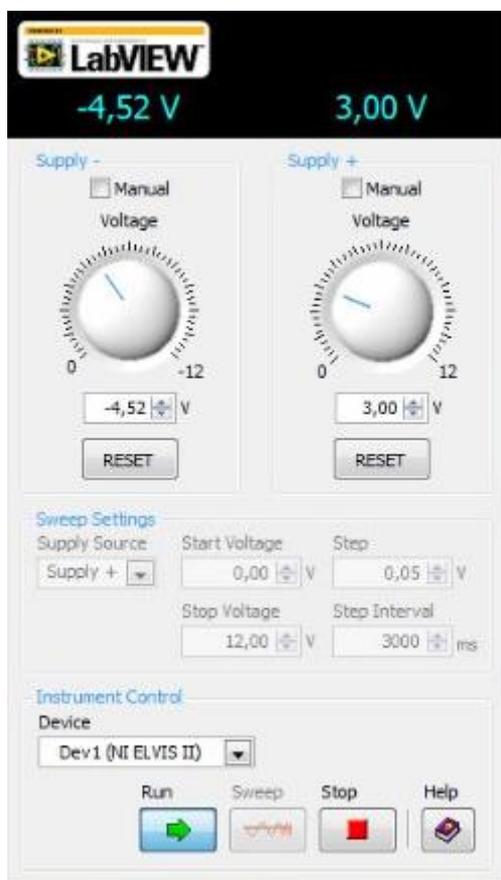


Рисунок 2.13 – Интерфейс программы NI ELVISmx Variable Power Supplies

Измерения с датчиков записываются в файл на компьютере с помощью системы сбора данных. Измерения с люксметра записываются вручную. Чтобы не запускать свет внутрь макета, было решено установить веб-камеру, с помощью которой можно видеть показания люксметра. После анализа результатов выбирается датчик, значение которого наиболее близко к значению люксметра. Затем эталонный датчик и люксметр помещают в макет как можно ближе друг к другу и снова проводят сбор данных. Главное, чтобы не создавалась тень от датчиков друг для друга. Этот эталонный датчик калибруется относительно люксметра.

По полученным измерениям строится зависимость эталонного датчика и цифрового люксметра. Дальнейшая комплектация составляется относительно эталонного датчика.

2.6 Выбор рационального порядка включения светильников

Для того, чтобы можно было определить рациональный порядок включения потолочных светильников, необходимо знать, как будет изменяться уровень освещенности во всех точках помещения, при включении различных комбинаций световых приборов. Для того, чтобы эксперимент получился удачным, необходимо разместить научно-экспериментальную установку в полностью темном помещении. В помещении, где проводится эксперимент включается искусственный свет, который является естественным освещением для макета. Таким образом можно смоделировать фиксированный уровень дневного света, который проходит в окна макета.

На специальной платформе располагаются 4 датчика. Один датчик располагается около стены, второй – под первым рядом светильников, третий – между светильниками и четвертый – под следующим рядом. Эта платформа устанавливается в дальний угол макета и при каждом измерении передвигается на 4 см от стены к окну по одной линии. Таким образом исследуется сначала одна половина помещения, потом вторая. Интервал между измерениями – 5 секунд. Чтобы точно знать, когда можно передвигать датчики на один из контроллеров установлен пьезоизлучатель, который издает звук, когда была производится запись.

Самым первым измерением определяется распределение естественного света в макете. Затем, в зависимости от измерений, включается группа светильников и измерение повторяется.

2.7 Методика определения взаимосвязи внешнего и внутреннего освещения

Для определения переходных характеристик, потолочные светильники объединяются в группы и располагаются параллельно светонесущей стене. К каждой группе светильников подключается реле. Это помогает управлять светильниками независимо друг от друга. Реле подключаются к главному микроконтроллеру, который включает поочередно группы светильников. Все помещение делится на зоны:

- 1 зона – 0-2 м от светового проема;
- 2 зона – 2-4 м от светового проема;
- 3 зона – 4-6 м от светового проема.

Измеряется уровень освещенности при помощи датчиков. Все измерения проходят при различном уровне естественного света в макете аудитории. Один из датчиков устанавливается на окно, остальные на уровне рабочей поверхности по всей площади аудитории. Датчики располагаются около окна, в центре аудитории и около стены. Данные записываются в файл на компьютере и далее анализируются. Структура устройства определения взаимосвязи внешнего и внутреннего освещения представлена на рисунке 2.14, а расположение датчиков – на рисунке 2.15.

В контроллер Arduino UNO загружается программа по определению переходных характеристик. Данная программа позволяет управлять группами светильников и измерять уровни освещенности в разных зонах аудитории. Листинг программы представлен в приложении Б.

При запуске происходит инициализация программы, потом измерение уровня освещенности в трех зонах аудитории. Перед передачей данных на компьютер выполняется пауза. Делается это затем, чтобы исключить вероятность ошибки передачи данных от датчиков. После передачи данных включается первая группа светильников, датчики измеряют уровень

освещенности и после паузы передают данные на ПК. Данные с каждого датчика освещенности попадают в файл на ПК, где:

- первый столбец – уровень освещенности при выключенном искусственном свете;
- второй столбец – уровень освещенности с включенной первой группой светильников;
- третий столбец – уровень освещенности с включенными двумя группами светильников;
- четвертый столбец - уровень освещенности с включенными тремя группами светильников;
- пятый столбец – номер сделанного измерения.

Пример записи данных в файл показан на рисунке 2.16.

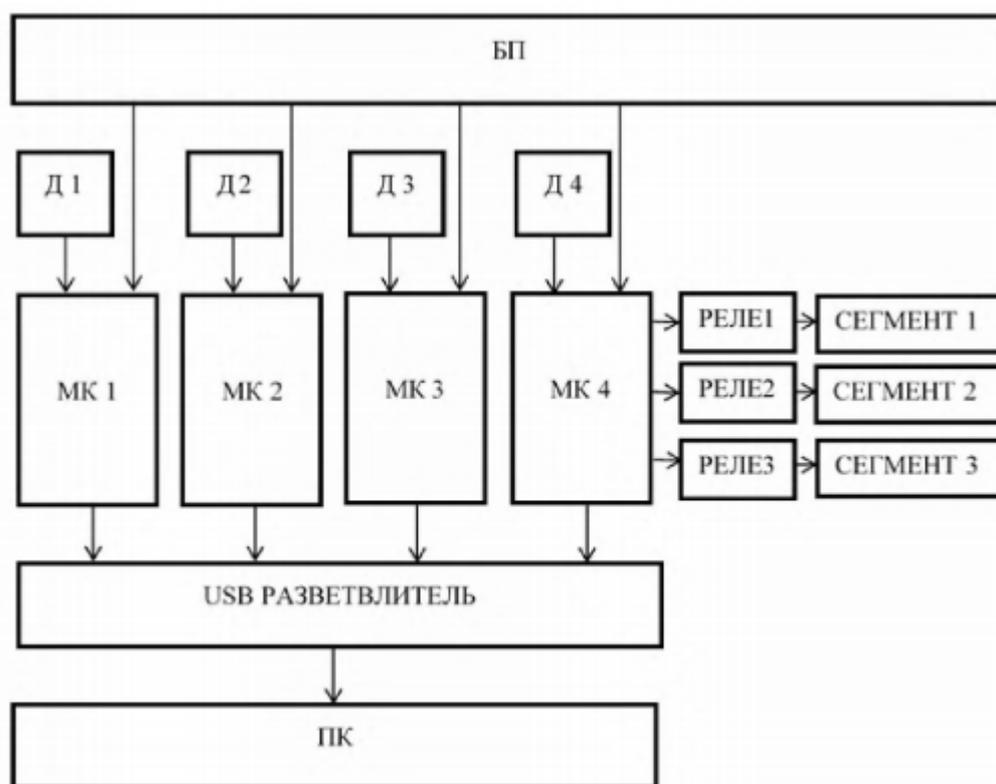


Рисунок 2.14 - Структура устройства определения взаимосвязи внешнего и внутреннего освещения

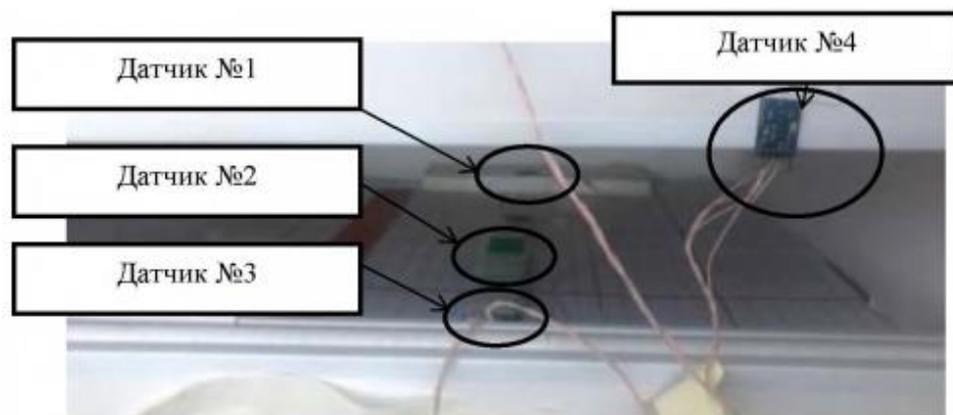


Рисунок 2.15 – Расположение датчиков освещенности

▲	A	B	C	D	E
1	0				
2	182	473	554	656	1
3	180	513	603	657	2
4	184	513	620	663	3
5	192	524	625	668	4
6	186	538	633	722	5
7	194	571	640	724	6
8	207	580	642	740	7
9	226	582	640	777	8
10	224	587	656	785	9
11	235	618	668	792	10
12	307	619	669	795	11
13	315	626	680	818	12
14	310	667	685	846	13
15	320	671	694	847	14
16	332	692	720	849	15

Рисунок 2.16 – Пример записи данных в файл

3 Экспериментальная часть

3.1 Характер распределения естественного света

Как упоминалось ранее, все помещения строятся по строгим нормам и правилам, по которым одним из требований является расположение потолочных светильников строго параллельно светонесущей стене и расположение слева от рабочей зоны светового проема. В большинстве таких помещений дневной свет распределяется почти одинаково и поэтому надо исследовать характер распределения дневного света в различных учебных заведениях и их помещениях. Исследования проводились в учебных помещениях школы иностранных языков Foresight и в МБОУ Гимназия №2 г. Курчатова.

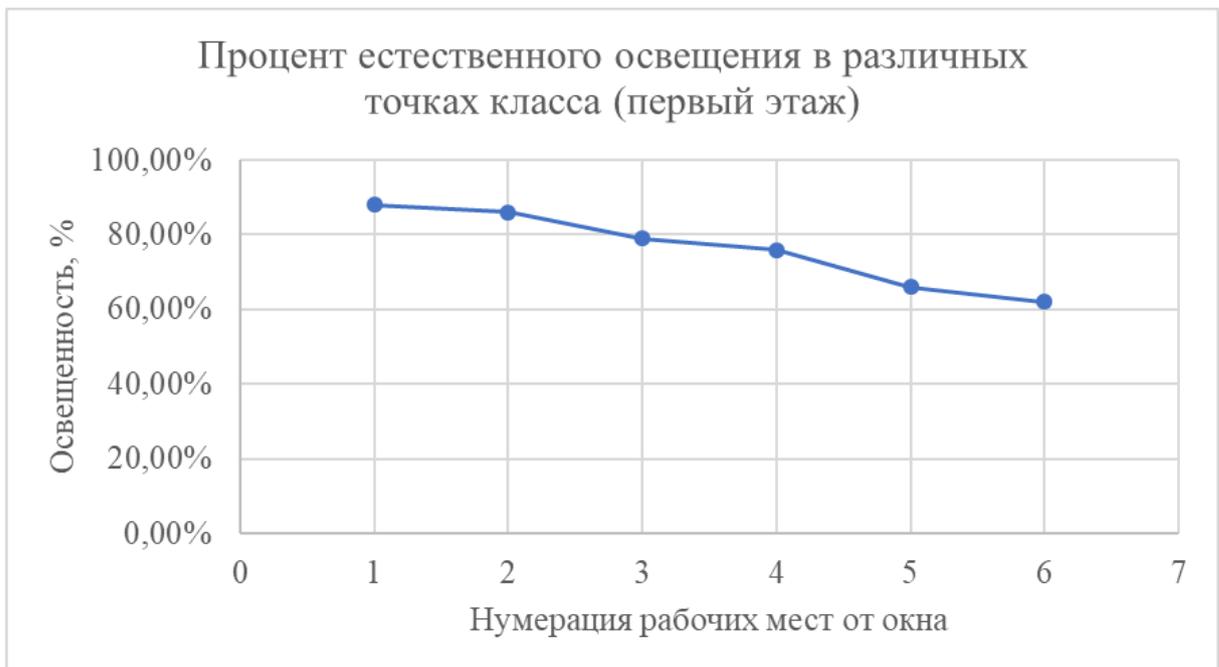
В аудитории школы иностранных языков освещение измеряли с помощью научно-экспериментальной установки на основе модулей GY-30. Один из датчиков был расположен на окне, а другой на рабочей поверхности парты. Парту передвигали по всей площади аудитории на различные расстояния от окон. Данные с датчика на окне приняты за 100%. На рисунке 3.1 представлен процент естественного освещения, при выключенном искусственном освещении, в различных точках аудитории школы иностранных языков Foresight.

В Курчатовской Гимназии №2 измерения были проведены при помощи смартфона, с установленным на него приложением Light Meter Pro, и люксметра Мегеон 21550. Данное приложение можно откалибровать для более точных замеров, если есть рабочий люксметр. Можно также замерять освещенность постоянно или же однократно.

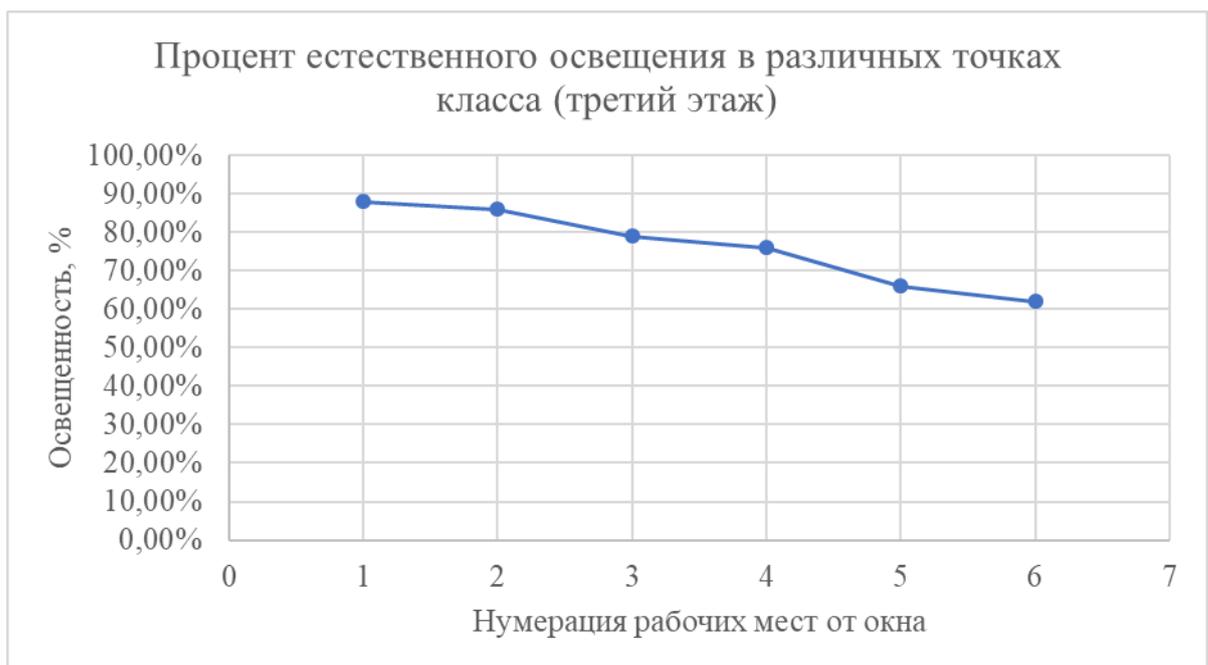


Рисунок 3.1 – Процент естественного освещения в аудитории школы Foresight

Классы расположены на трех этажах школы и свет в окна попадает с различных сторон. Люксметр и смартфон располагались первым делом на окне, затем на каждом ряду парт, за каждой из которых по два рабочих места. Рабочие места школьников располагаются вдоль оконного проема. Данные с люксметра и смартфона, когда они располагались у окна, приняты за 100%. В классе на первом этаже первый ряд парт расположен на расстоянии 1,1 м от окна, а в классе на третьем этаже 0,5м. Между рядами расстояние в обоих классах равно 0,8 м. Измерения проводились на 6 рабочих местах, расположенных в линию. На рисунке 3.2 показан процент естественного освещения на рабочих местах школьников в одном из кабинетов на первом этаже (рисунок 3.2, а) и в кабинете на третьем этаже (рисунок 3.2, б).



а)



б)

Рисунок 3.2 – Процент естественного освещения в: а) – кабинете на первом этаже, б) – кабинете на третьем этаже

В ходе этих исследований было выявлено, что естественный свет распределяется по аудитории неравномерно, а хорошо освещаются только места, которые располагаются близко к окну.

3.2 Подбор датчиков

Для снятия характеристики освещенности в разных частях помещения требуется использование нескольких датчиков одновременно. Для этого, согласно методике из пункта 2.5, определяется эталонный датчик. На рисунке 3.3 можно рассмотреть график сравнения значений на датчиках и на люксметре. Из данного графика видно, что датчик №2 и люксметр показывают почти одинаковые значения. Именно поэтому было решено использовать этот датчик как эталонный.

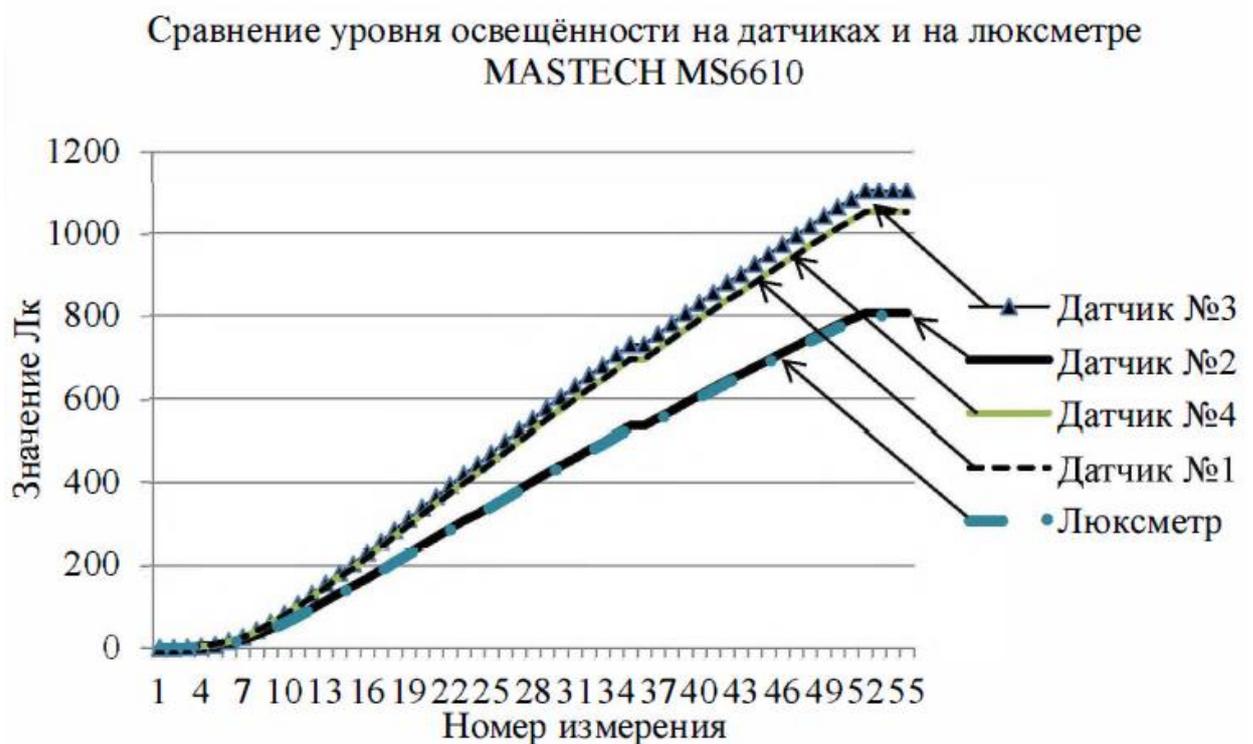


Рисунок 3.3 – Сравнение значений на датчиках и люксметре

Для того, чтобы точно проверить показания, второй датчик устанавливали практически в одном месте с цифровым люксметром. Результат этого эксперимента представлен на рисунке 3.4.

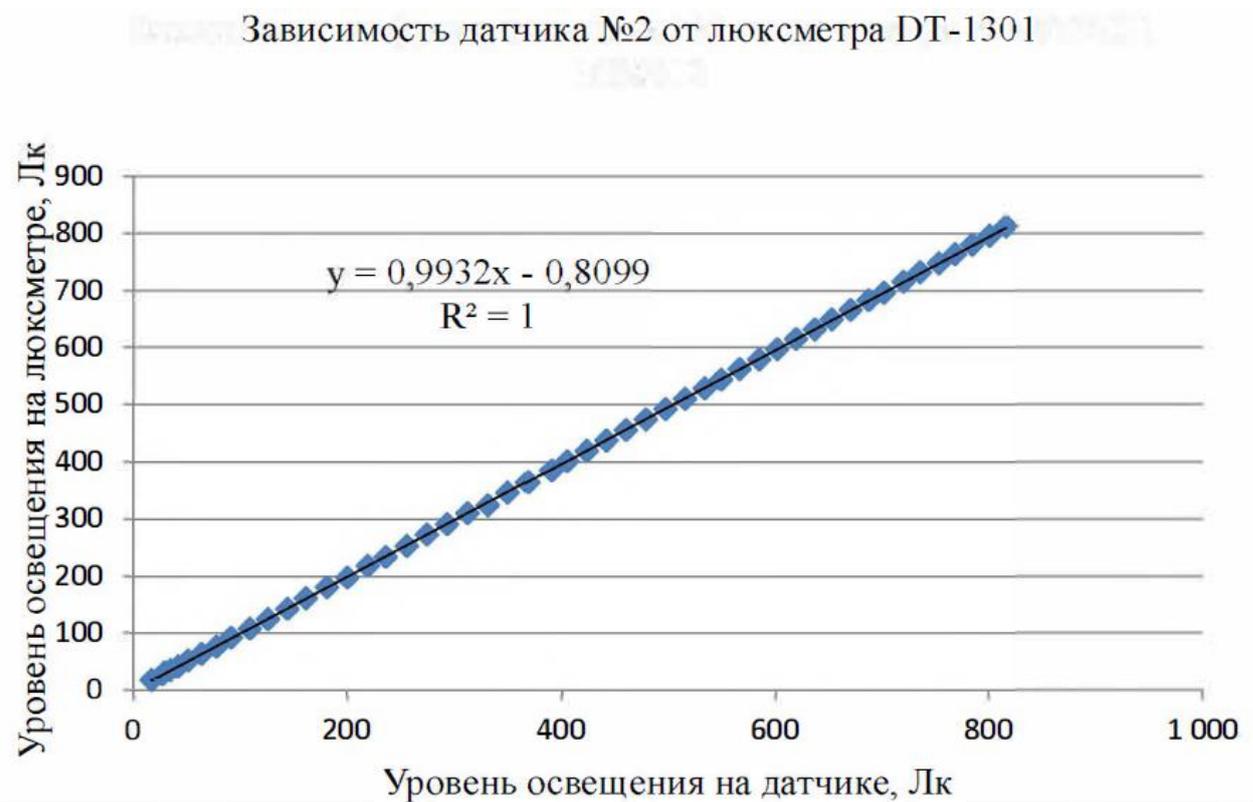


Рисунок 3.4 – Зависимость между эталонным датчиком от люксметра DT-1301

Погрешность составляет 3 лк, в диапазоне от 300 до 500 лк. Зависимость эталонного датчика от люксметра – $y=0,9932*x - 0,8099$. Из этого были вычислены зависимости остальных датчиков от эталонного:

- зависимость датчика №1: $y=0,7683*x + 0,6755$;
- зависимость датчика №3: $y=0,7315*x + 0,6823$;
- зависимость датчика №4: $y=0,7676*x + 0,5005$.

3.3 Мониторинг освещения

В течении всего рабочего дня производились замеры освещенности при помощи датчиков, один из которых был установлен на окне, а остальные располагались в различных точках помещения на разной удаленности от оконного проема. Результаты, которые были получены в ходе этих замеров

представлены на рисунке 3.5. Из графика можно увидеть, что динамика освещенности повторяется в разных точках помещения. И конечно же видна большая разница между освещенностью у окна и около стены.

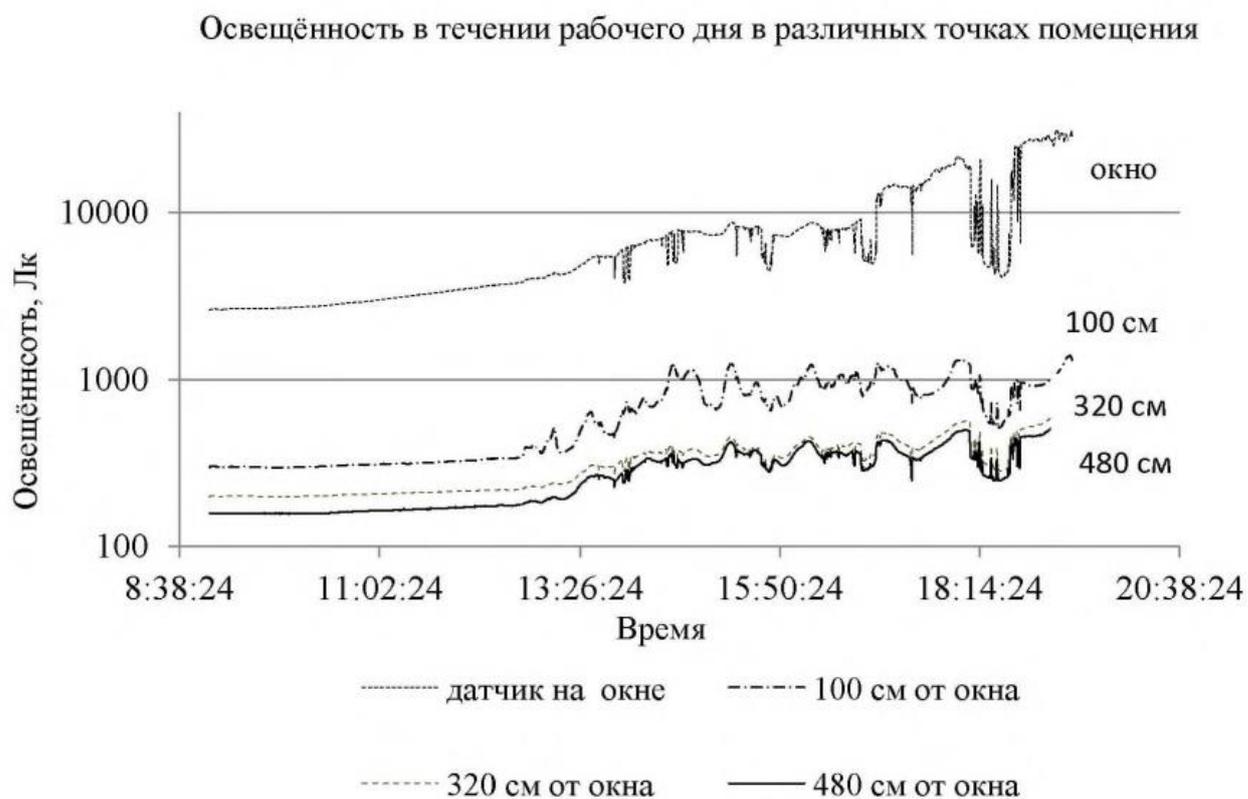


Рисунок 3.5 – Мониторинг освещенности за 1 день

3.4 Определение порядка включения потолочных светильников

В рамках данной работы было проведено исследование о том, каким образом влияет различное включение потолочных светильников на уровень освещенности в каждой точке аудитории. Этот способ подробно описан в пункте 2.6.

При различных комбинациях включения светильников удалось определить характер распределения света в помещении. За 100%

освещенность было выбрано значение в 350 лк. Графики результатов экспериментов представлены на рисунках 3.6 – 3.10.



Рисунок 3.6 – Распределение естественного света по всей площади помещения

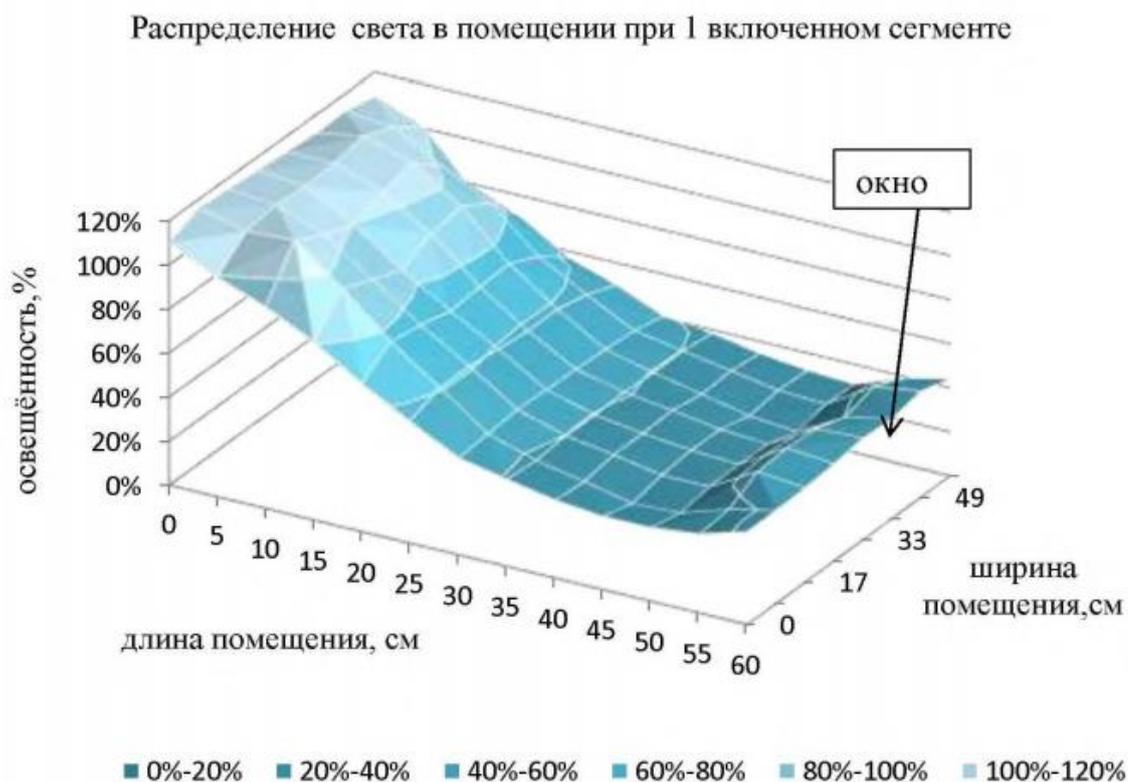


Рисунок 3.7 – Распределение света при 1 включенном сегменте у стены

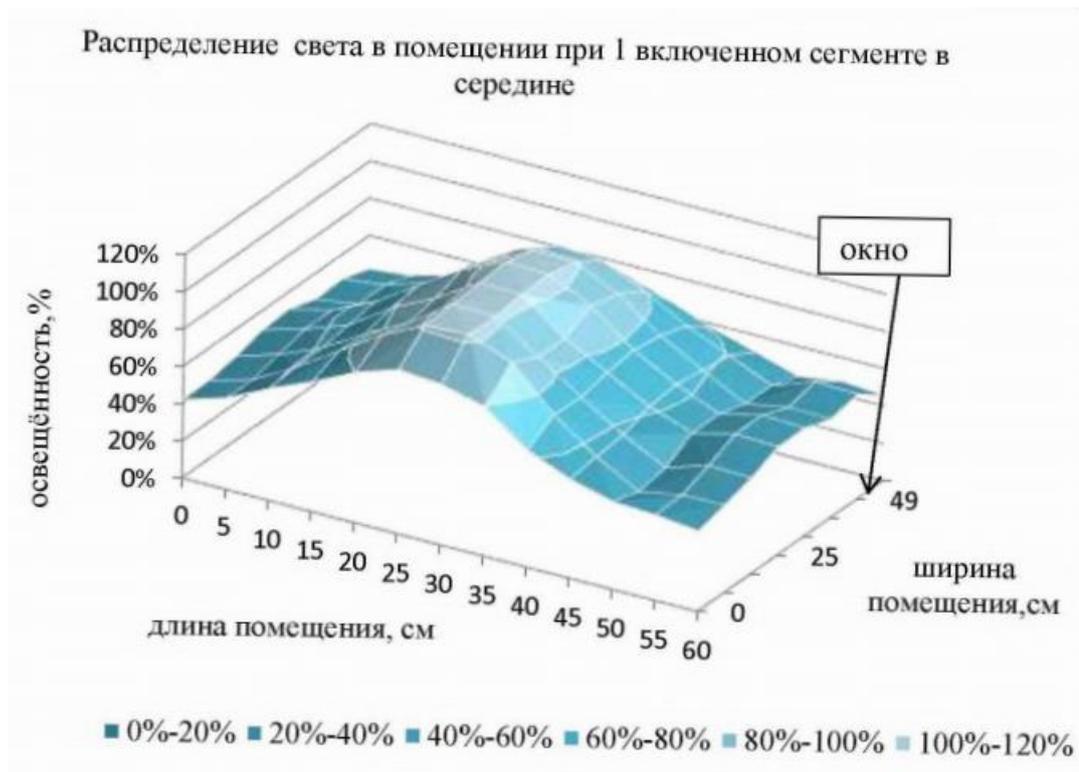


Рисунок 3.8 – Распределение света при 1 включенном среднем сегменте

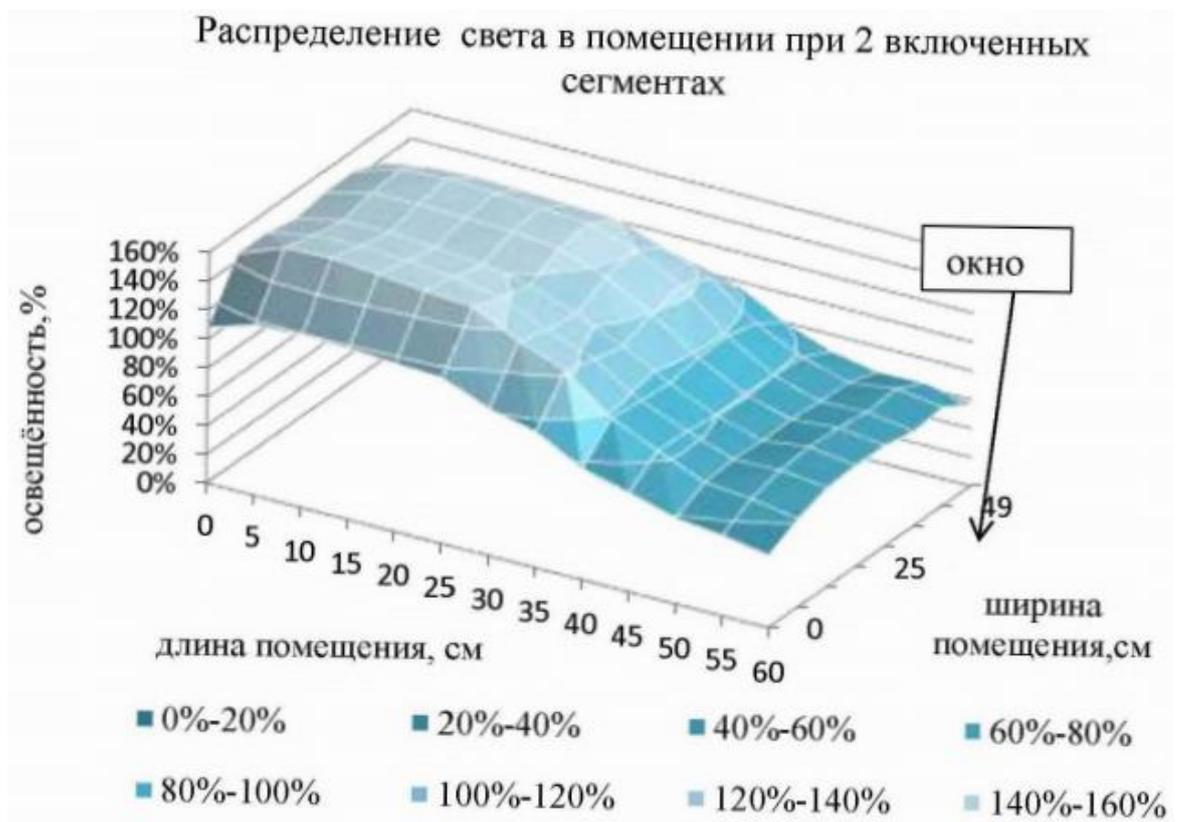


Рисунок 3.9 – Распределение света при 2 включенных сегментах

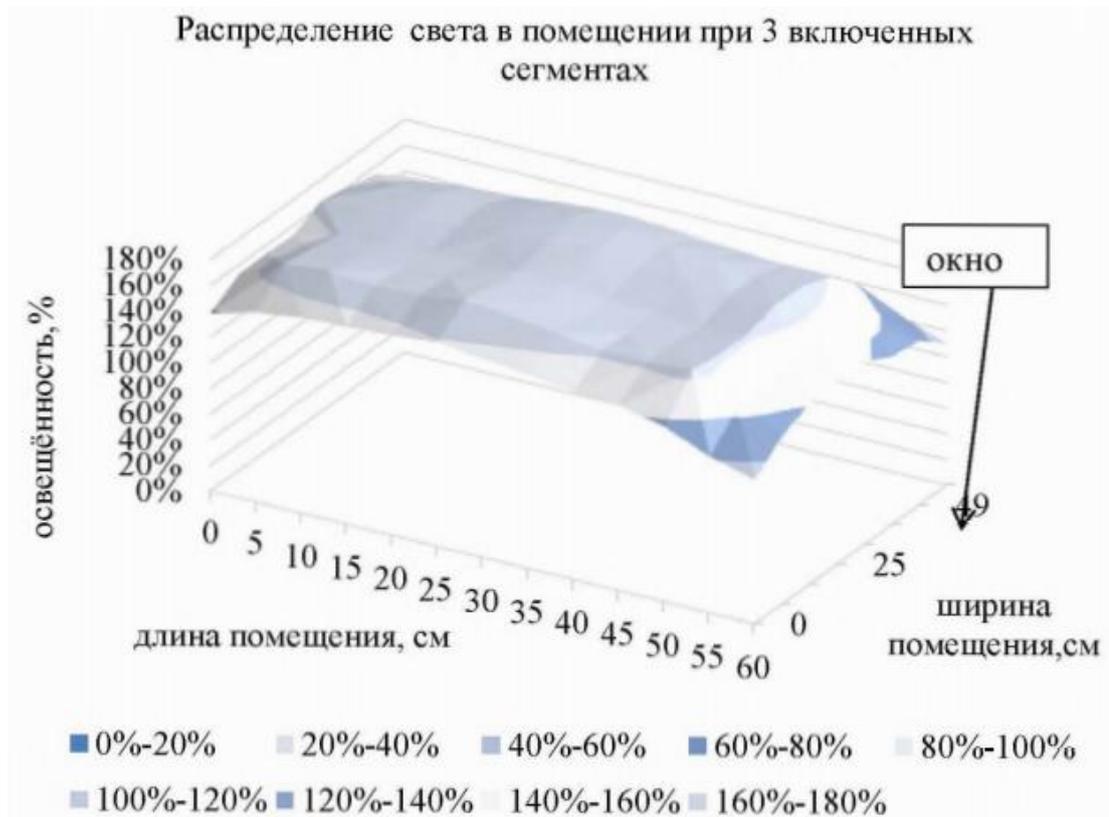


Рисунок 3.10 – Распределение света при 3-х включенных сегментах

При недостаточной освещенности, когда во всех точках аудитории требуется включение всех трех групп потолочных светильников можно наблюдать такие результаты как на рисунках выше. Используя подобный градиент наглядно можно увидеть, что освещенность распределяется неравномерно по помещению. Сильнее всего освещаются именно те части аудитории, которые расположены ближе к окну. При поочередном включении групп светильников уровень освещенности по ширине помещения увеличивается во всех точках помещения. При этом можно заметить, что по длине помещения уровни отличаются менее, чем на 5%. Поэтому целесообразно объединить потолочные светильники группами, которые будут располагаться параллельно световому проему.

Результаты распределения света при достаточной естественной освещенности у окна представлены на рисунке 3.11, а при достаточном уровне у окна и в середине помещения на рисунке 3.12.

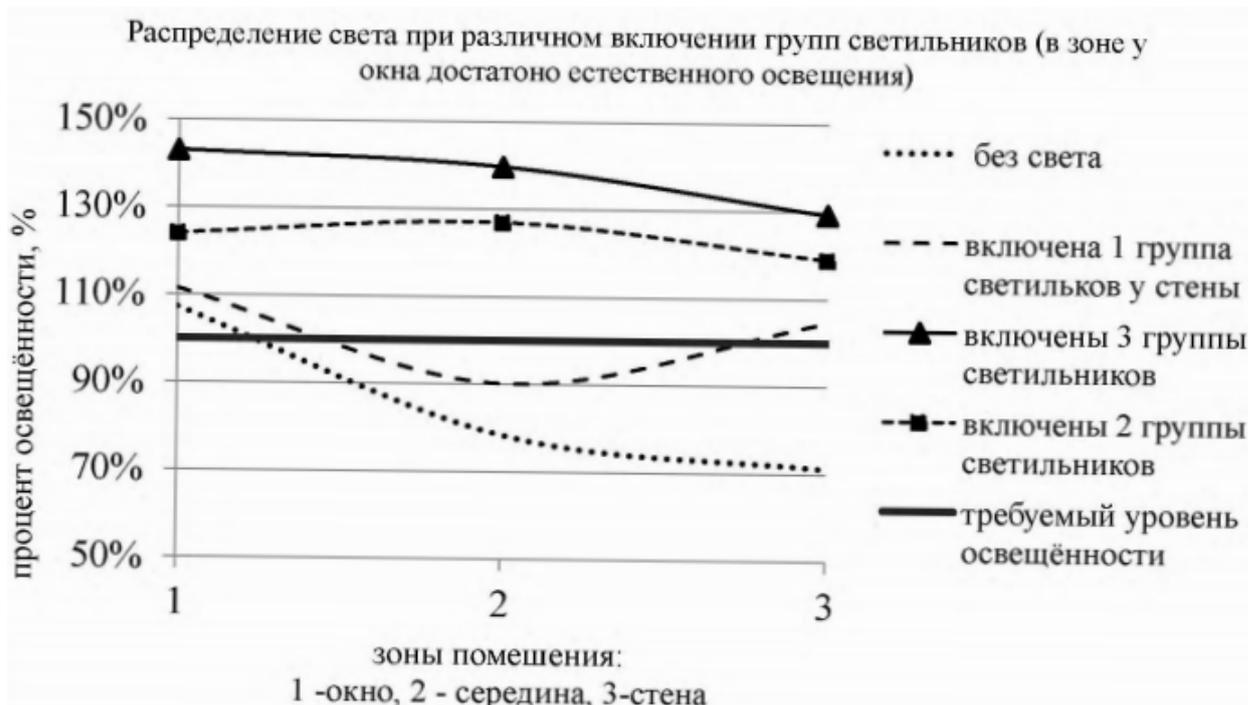


Рисунок 3.11 – Распределение света при различном включении светильников (при достаточном уровне естественной освещенности у окна)

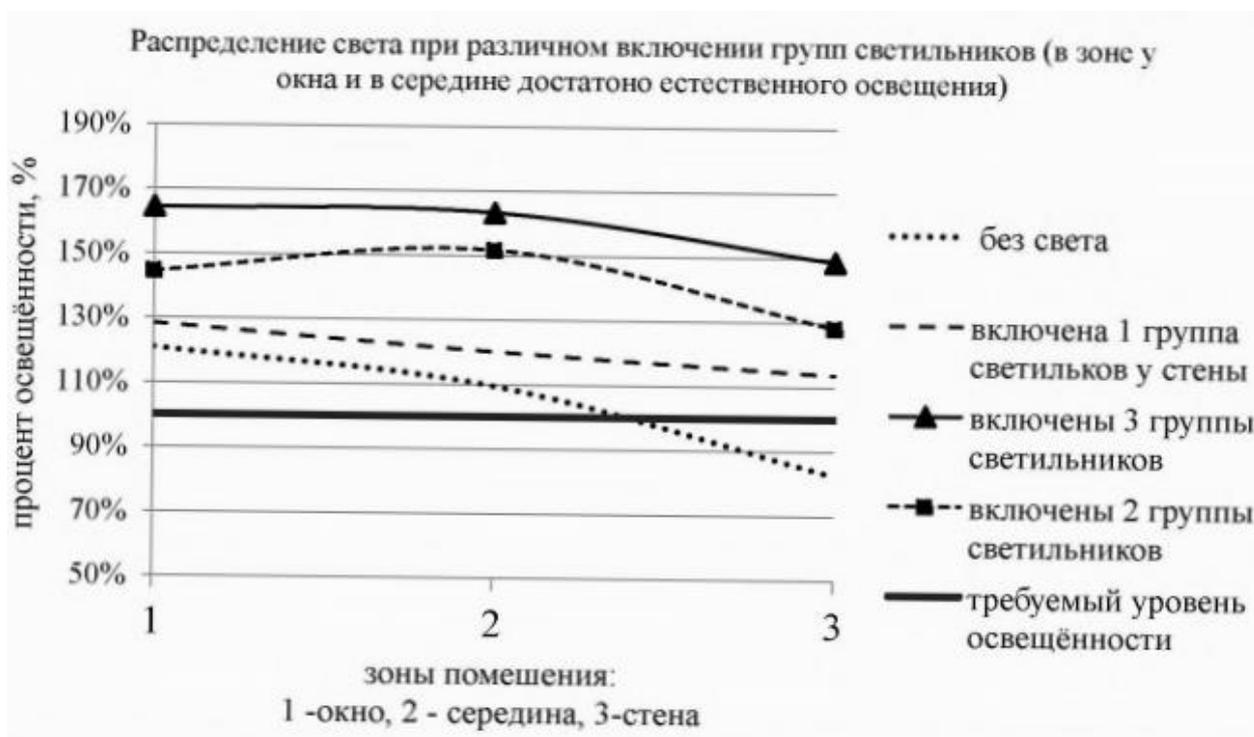


Рисунок 3.12 – Распределение света при различном включении светильников (уровень естественной освещенности у окна и в середине помещения соответствует норме)

Из данных графиков видно, что включение всех светильников является иррациональным, когда освещенность на достаточном уровне и приводит к большим затратам на электроэнергию. Поэтому необходимо включать светильники поочередно и группами. Согласно графикам распределения, во всех типовых учебных помещениях, где свет распределяется по сходным закономерностям.

3.5 Определение взаимосвязи внешнего и внутреннего освещения

В данном эксперименте внешним освещением является свет, который проходит в световой проем. С помощью метода, который описан в пункте 2.7, были определены переходные световые характеристики между внутренним и внешним освещением. Датчики освещенности были расположены в 3-х зонах: 1 м от окна, 3,2 м от окна и 4,8 м от окна соответственно.

Потолочные группы светильников включались поочередно и с помощью полученных характеристик были определены зависимости, графики которых построены на рисунках 3.13 – 3.15.



Рисунок 3.13 – Зависимость внутреннего освещения от значения внешнего свечения

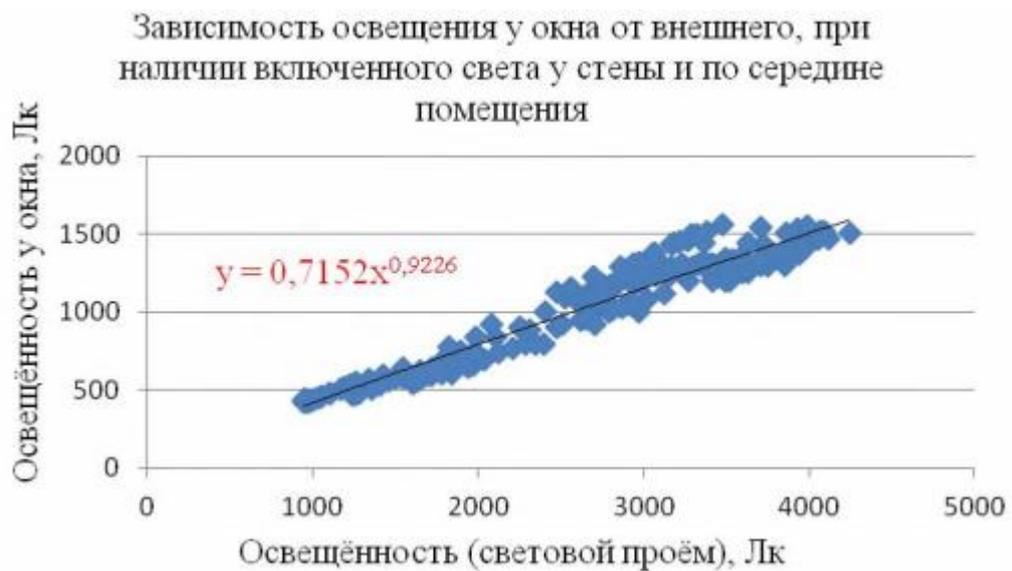


Рисунок 3.14 – Зависимость оконного освещения от внешнего при наличии дальнего и среднего освещения

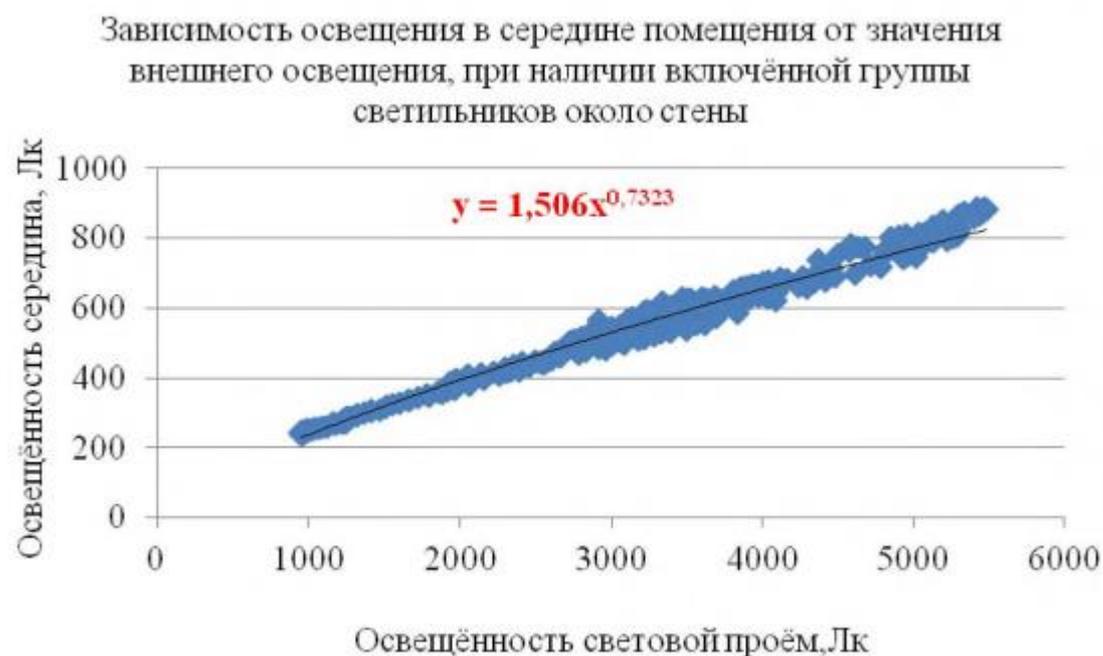


Рисунок 3.15 – Зависимость освещения в середине помещения от значения внешнего освещения при наличии дальнего (у стены)

По результатам эксперимента были вычислены зависимости, которые были запрограммированы в контроллер. Наибольшая погрешность равная 4% получилась при вычислении освещенности у светового проема. При остальных расчетах погрешность варьируется от 2,5% до 1,2%.

В проектируемой системе уровень освещенности установлен в диапазоне от 300 лк до 400 лк. Это необходимо для того, чтобы исключить низкий уровень освещенности.

На рисунке 3.16 представлено сравнение рассчитанного значения освещенности с реальным значением на датчике. Представленные результаты показали, что погрешностью можно и пренебречь.



Рисунок 3.16 – Сравнение реального уровня освещенности на датчике с рассчитанным значением

В этом эксперименте показано, что свет в аудиториях распределяется по строгим зависимостям, которыми можно воспользоваться в модуле управления освещением. Таким образом можно отказаться от бесполезного в таком случае оборудования, чтобы система стала дешевле и выгоднее в использовании.

4 Описание принципа работы модуля

4.1 Состав модуля

По итогам всех экспериментов, создан модуль управления потолочными светильниками в учебных помещениях с односторонним световым проемом. Схема которого представлена на рисунке 4.1.

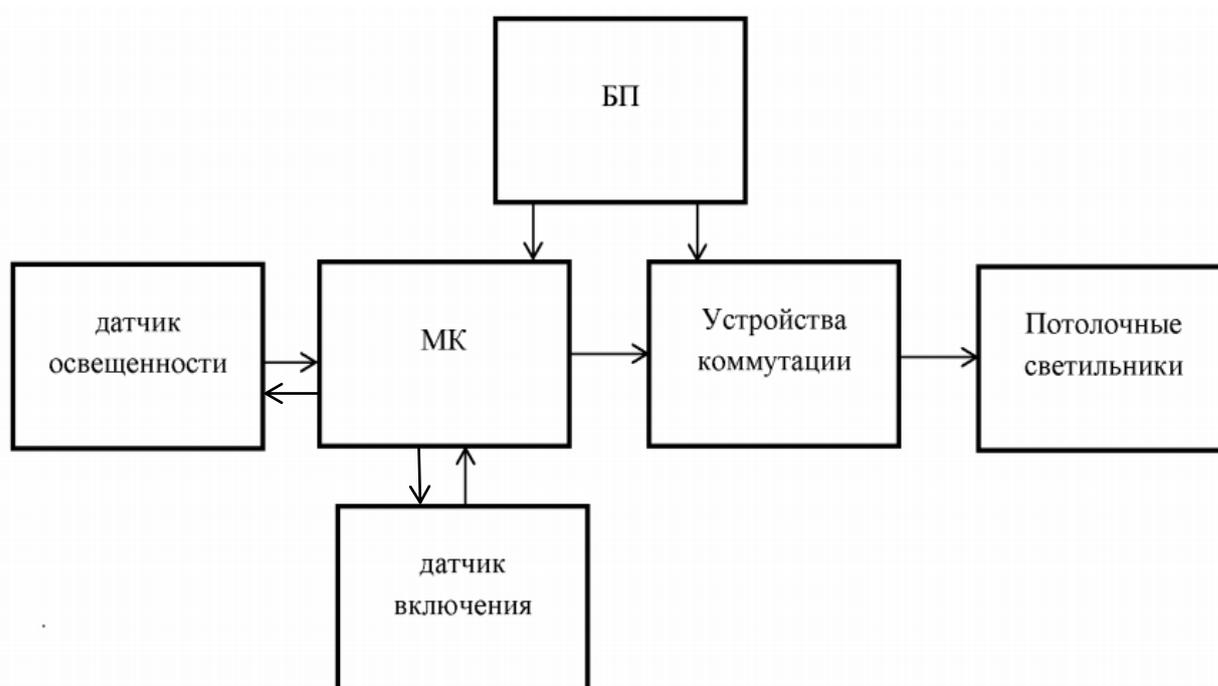


Рисунок 4.1 – Схема модуля управления освещением

Для работы разработанного модуля важно, чтобы потолочные светильники были объединены в группы, которые будут параллельные светонесущей стене.

Модуль управления освещением состоит из представленных ниже компонентов:

- цифрового датчика освещенности GY-30 (датчик освещенности);
- микропереключатель с лапкой MSW-02B (датчик включения);

- плата Arduino UNO (микроконтроллер);
- 3 модуля одноканального реле RA005 (устройства коммутации);
- БП на 220В;
- потолочные светильники.

4.2 Работа модуля управления освещением

Разработанный модуль позволяет управлять включением потолочных светильников и производить протоколирование уровня освещенности. В оконный проем обязательно устанавливается цифровой датчик. Датчик измеряет уровень естественной освещенности. Уровень освещенности в различных точках аудитории определяется по зависимостям, которые были рассчитаны ранее и уже заложены в программу. Если помещение отличается по размерам и наличию световых проемов, то необходимо пересчитывать зависимости для каждого помещения индивидуально и вносить их в программу управления.

Включение потолочных светильников осуществляется группами, в которые они были объединены, параллельно светонесущей стене. Если уровень освещения ниже установленной нормы, то включается дальняя от окна группа светильников. При этом постоянно просчитывается достаточен ли уровень освещения помещения.

Во входную дверь устанавливается микропереключатель, который отвечает за включение модуля. Когда дверь закрывается, система выключается и не расходует электроэнергию. При использовании модуля управления освещением у человека остается возможность управлять светильниками вручную.

4.3 Управление светильниками

При открытии двери в аудиторию, микроконтроллер загружается и включаются все группы светильников в помещении. Если дверь открыта, то инициализируется расчет текущего уровня освещенности на датчике. Чтобы избежать ложных срабатываний, была создана подпрограмма с помощью которой рассчитывается уровень дневного света в помещении. Таким образом удастся обеспечить рациональное включение или отключение светильников. На рисунке 4.2 показан алгоритм работы модуля управления освещением, а на рисунке 4.3 – алгоритм расчета текущего уровня освещенности помещения.

Расчет естественной освещенности в аудитории осуществляется следующим образом:

- модуль принимает решение о включении/выключении группы светильников раз в минуту;
- в течении каждой минуты отслеживается уровень естественной освещенности (измерение осуществляется раз в пять секунд);
- на определенных интервалах, а именно с 1 по 20 секунду, с 21-40 и с 41-60 секунду, выбирается минимальное значение уровня естественной освещенности;
- среди минимальных значений выбирается максимальное, по которому далее рассчитывается уровень освещенности в каждой точке аудитории (рисунок 4.4).

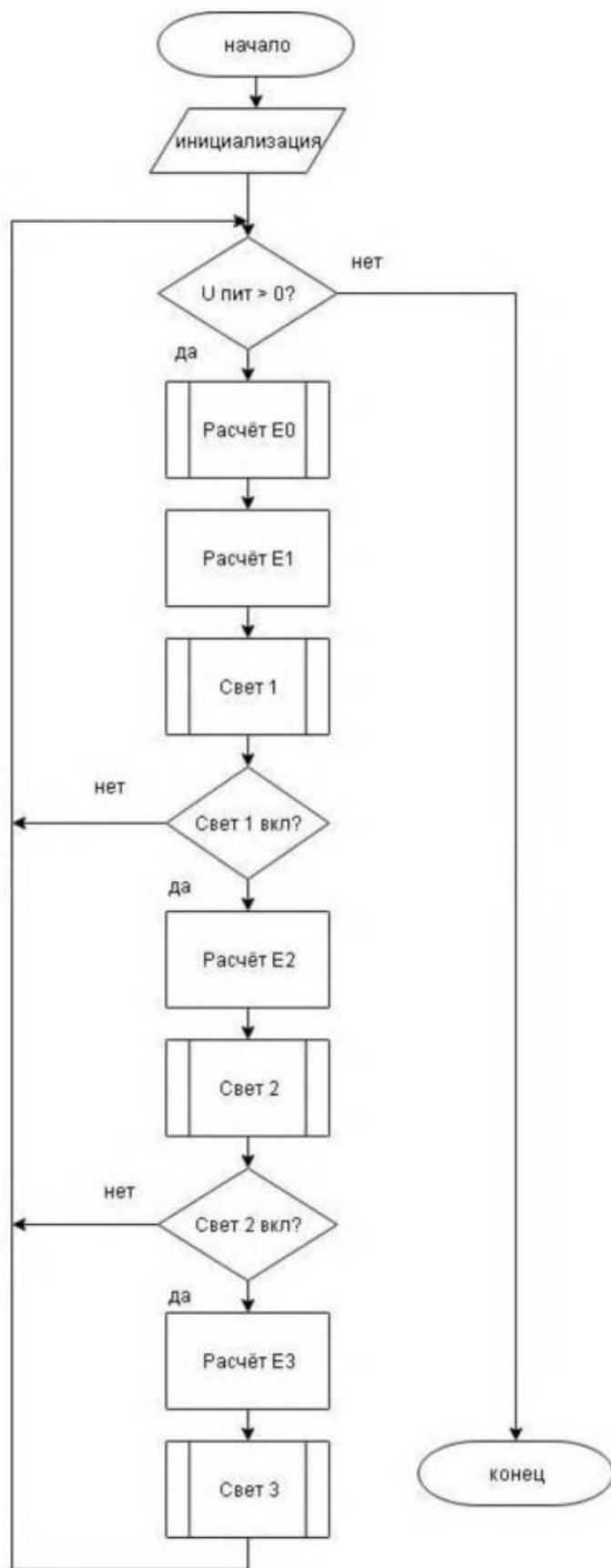


Рисунок 4.2 – Алгоритм работы модуля

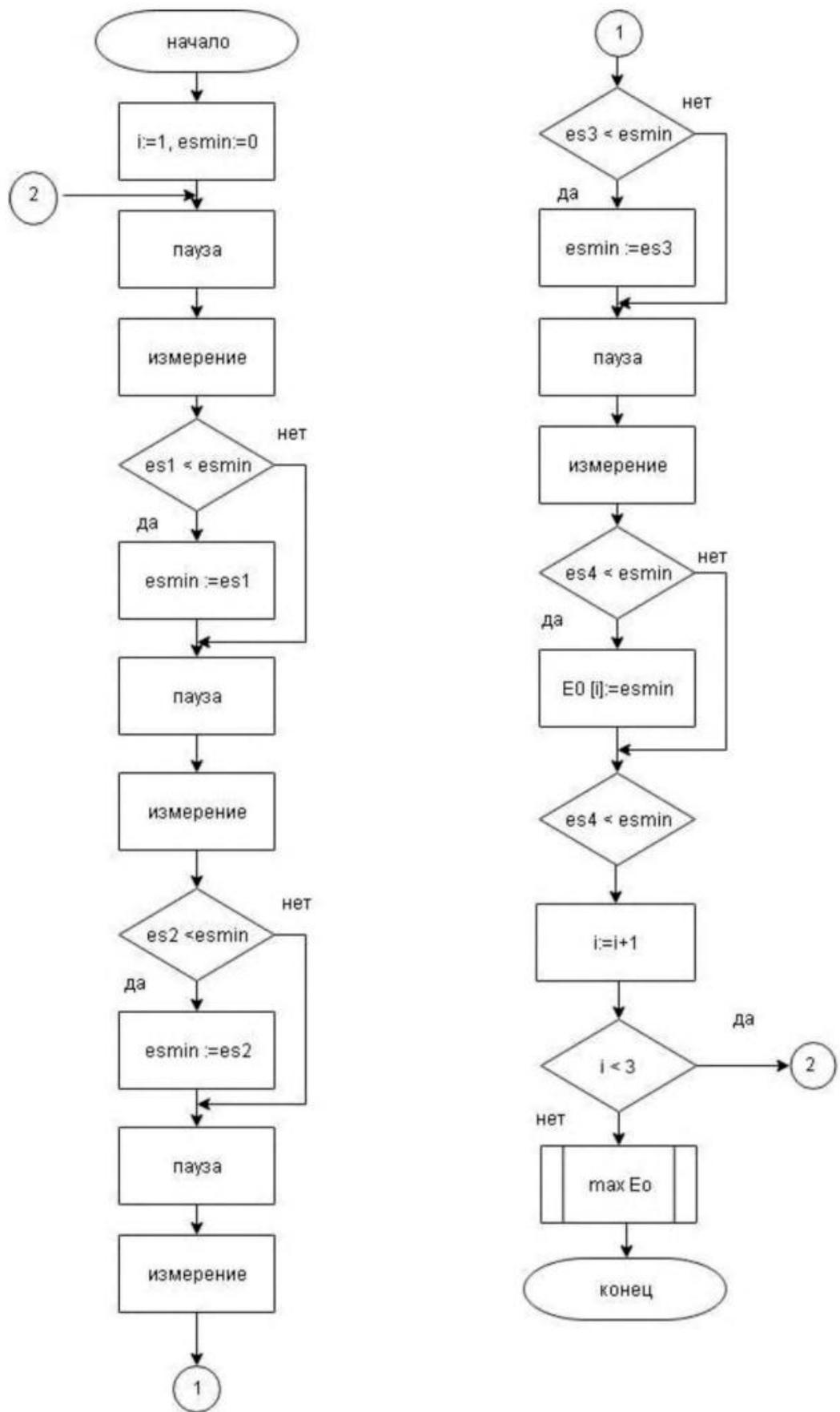


Рисунок 4.3 – Алгоритм расчета текущего уровня освещенности помещения

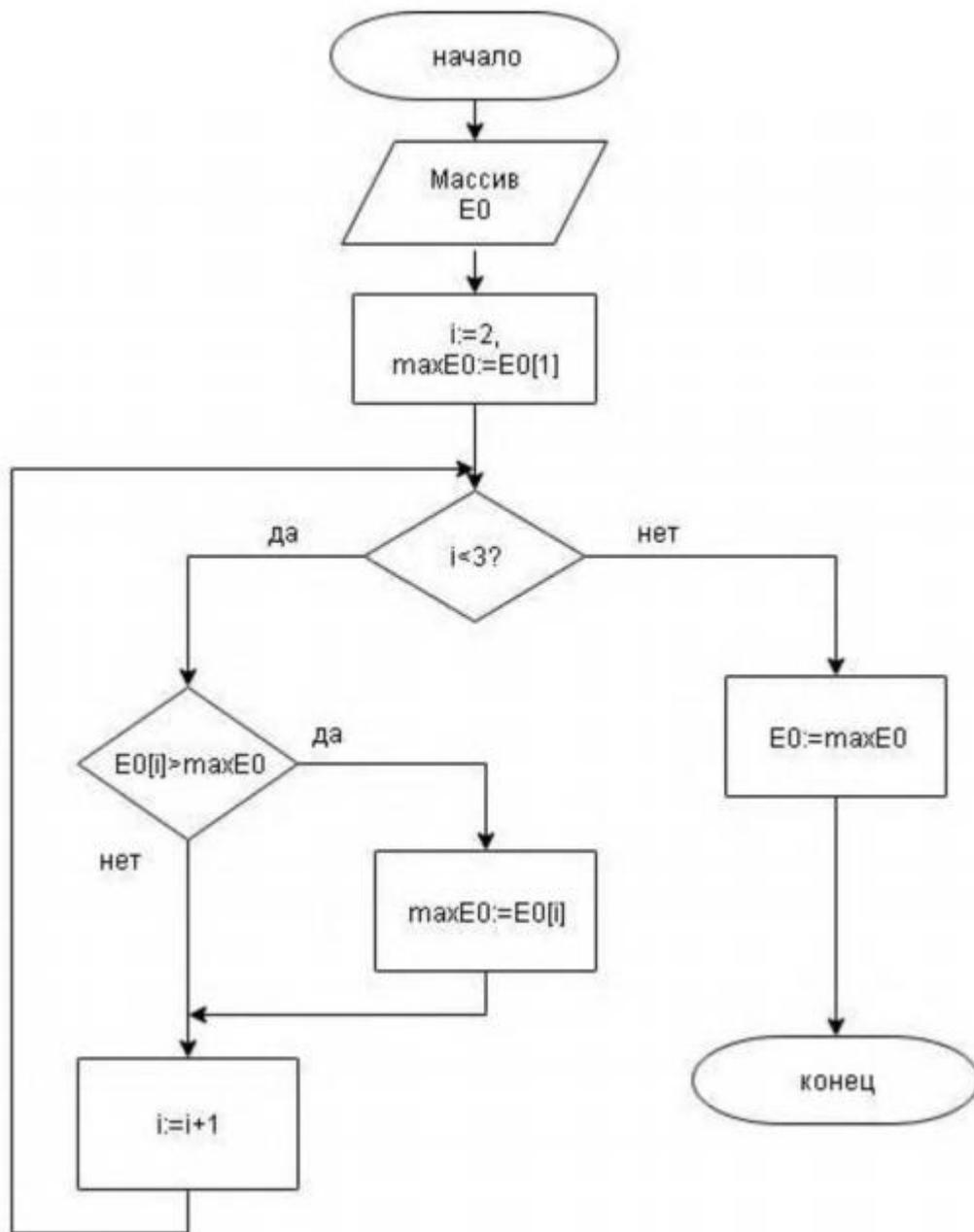


Рисунок 4.4 – Алгоритм определения максимального значения

С помощью полученного значения уровня освещенности в данный момент, происходит определение освещенности в самой дальней точке – у стены. Происходит это по зависимости, которую вычислялась ранее и внесена в программу. Пример: $E1 = 0,1071 * (E0)^{0,9985}$.

Принятие решения о включении или выключении освещения принимается с помощью подпрограммы Свет (i), где i-группа светильников от 1 до 3. Алгоритм действий по включению/отключению сегментов показан на рисунке 4.5.

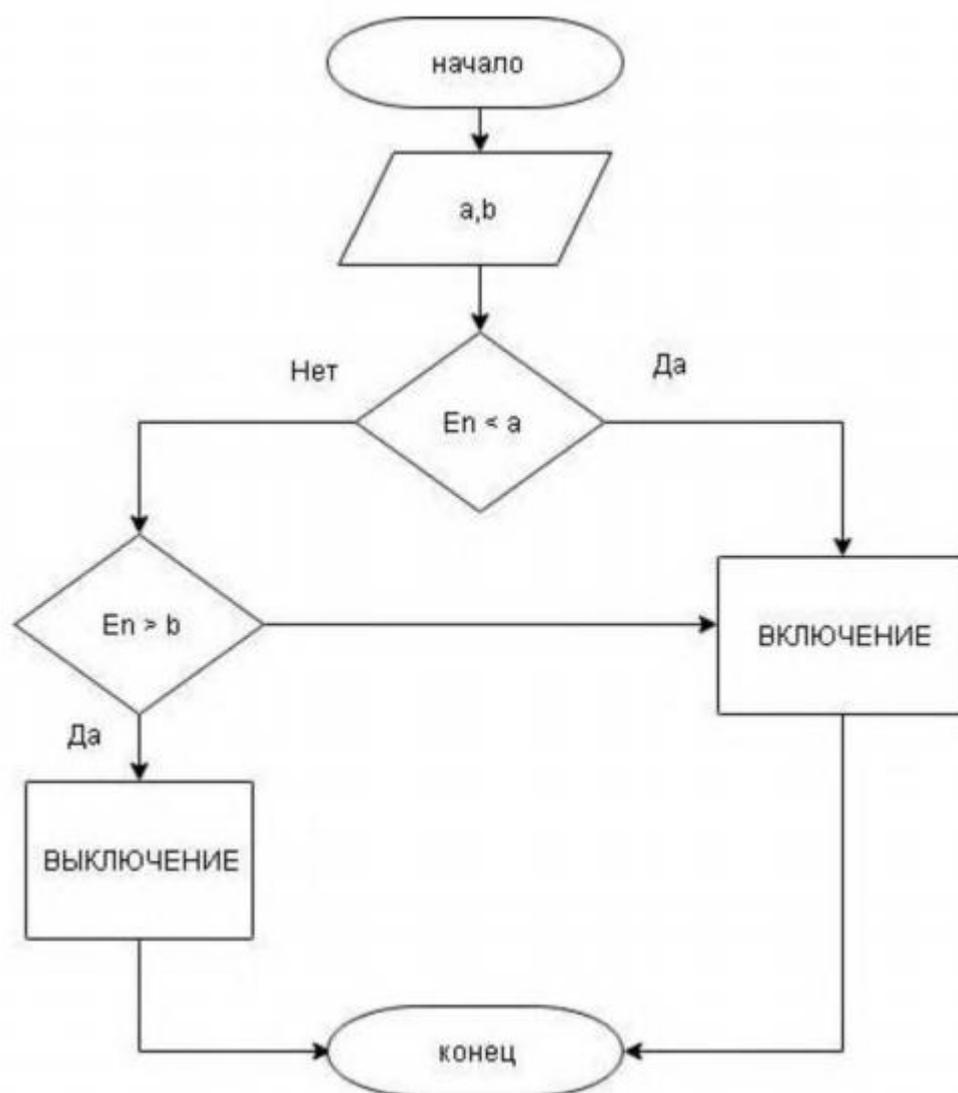


Рисунок 4.5 – Алгоритм управления группами светильников

Значение E_n – это текущая освещенность аудитории, a – порог включения, а b напротив – порог отключения.

В зависимости от нормы освещения для конкретного помещения или аудитории, определяются необходимые пороги по отключению и включению светильников. Чтобы избежать постоянного мерцания света необходимо задать грамотные пороги отключений/включений светильников.

Например, если необходимый уровень освещенности помещения равен 350 лк, но в данный момент освещенность равна 240 лк. Пороги включения и отключения 300 лк и 400 лк соответственно. Тогда сравнивается текущий

уровень освещенности с заданными порогами. Так как текущее значение меньше, чем оба порога, то включается группа светильников.

Далее программа управления освещением проверяет, включена или выключена первая группа светильников, которая находится у стены. Если свет не был включен, то программа возвращается в начало. Если же эта группа светильников включена, то происходит принятие решения по второй группе и, если необходимо после пересчетов, то и по третьей группе.

4.4 Первичная установка модуля в аудитории

Перед первичной установкой модуля необходимо выполнить настройку и определить переходные световые характеристики.

Оборудование, которое устанавливается для настройки модуля:

- Arduino UNO с загруженной ранее программой – 4 шт.;
- датчик освещенности GY-30 – 4 шт.;
- USB-хаб или свободные порты USB в количестве 4 шт.;
- ПК или ноутбук.

Порядок настройки модуля управления освещением:

- 1) датчики необходимо расположить на рабочих поверхностях школьников около стены;
- 2) запустить программу системы сбора данных для снятия световых характеристик;
- 3) определить в какой точке наименьший уровень освещенности;
- 4) датчик, который показал наименьшее значение сохраняет свое положение, два других надо установить на парты в середине или около окна, параллельно датчику около стены;
- 5) четвертый датчик разместить на окно, параллельно остальным;

- б) управляющий контроллер Arduino подключить к сети и потолочным светильникам;
- 7) запустить программу для снятия переходных световых характеристик;
- 8) вычислить зависимости уровней освещенности от внешней освещенности для каждой точки аудитории;
- 9) загрузить полученные данные на платформу модуля;
- 10) установить готовый модуль в помещение.

4.5 Проверка решения на эффективность

Используя построенный макет можно проверить разработанный модуль управления освещением на эффективность. Тестирование системы проводилось 5 мая 2019 г., когда уровень естественной освещенности был высоким и 28 апреля 2019 г., в этот день уровень естественной освещенности был низким.

На рисунке 4.6 показано как использовалось искусственное освещение 28 апреля 2019 года, при этом модуль управления освещением уже установлен.

Белым выделено отключение группы светильников, из чего можно сделать вывод об экономии электроэнергии.

В таблице 4.1 представлен расход электроэнергии без внедрения модуля управления освещением.

Время работы модуля
управления 28.04.2019

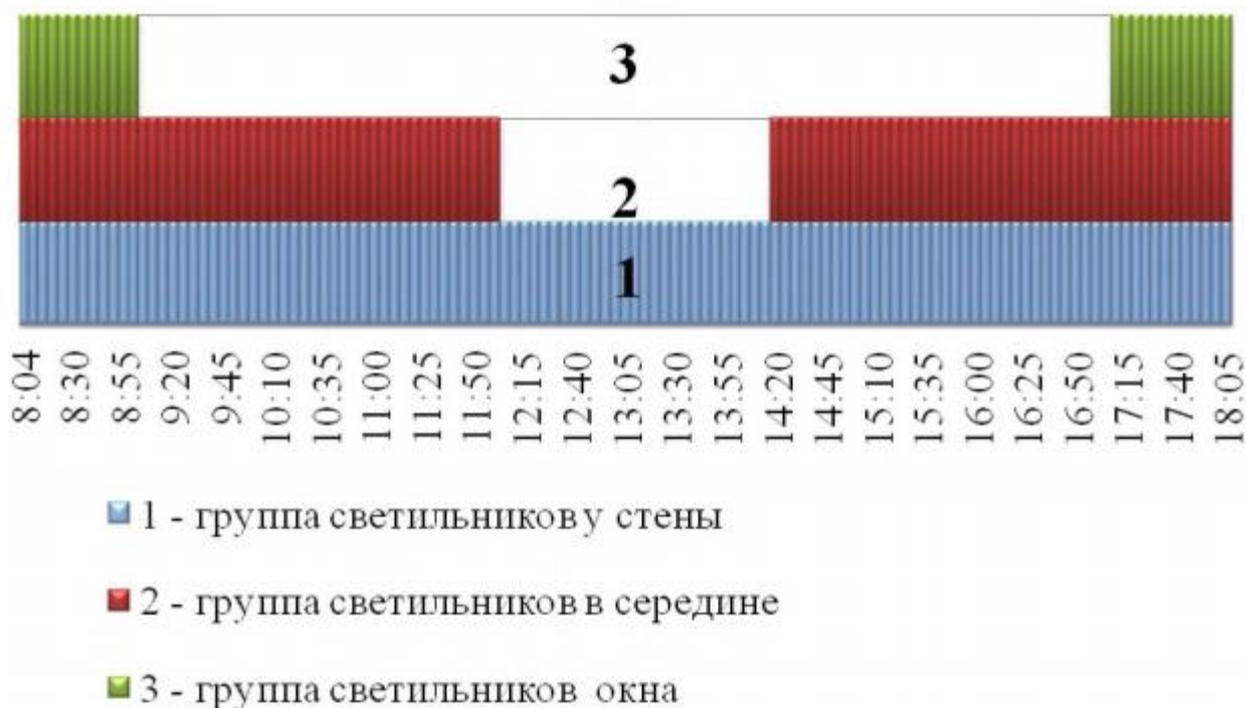


Рисунок 4.6 – Время использования искусственного освещения в разрезе по группам светильников

Таблица 4.1 – Расход электроэнергии без учета работы системы

Зона (сегмент)	Время работы	Расход электроэнергии на освещение
дальняя у стены	10 ч	1,5 кВт*ч
средняя	10 ч	1,5 кВт*ч
ближняя у окна	10 ч	1,5 кВт*ч
		Итого: 4,5 кВт*ч

Без использования автоматизированного управления источниками света, при недостаточной освещенности в одной из зон, требуется включения всех сегментов, что приводит к большему расходу электроэнергии в тех зонах, где это и не требуется.

В таблице 4.2 показана потребляемая электроэнергия с учетом разработанного модуля.

Таблица 4.2 – Расход электроэнергии с внедренной системой управления

Зона (сегмент)	Время работы	Расход электроэнергии на освещение
дальняя у стены	10 ч	1,5 кВт*ч
средняя	10 ч	1,2 кВт*ч
ближняя у окна	10 ч	0,3 кВт*ч
		Итого: 3,0 кВт*ч

Расход составляет 3 кВт*ч, т.е. выигрыш у системы управления освещением составляет 1,5 кВт*ч. Когда такая система установлена повсеместно, она может экономить большое количество затрат на электроэнергию.

Для расчета эффективности системы был произведен анализ работы системы в солнечный день, когда уровень освещенности от дневного света был достаточно высоким.

На рисунке 4.7 наглядно показано время работы групп светильников, при использовании модуля управления освещением.



Рисунок 4.7 - Время использования искусственного освещения в разрезе по группам светильников

Результаты, представленные в таблице 4.3 рассчитаны по нормам требуемого освещения. Оценить действия преподавателя по включению или отключению света не представляется возможным. В связи с этим расход электроэнергии составил 2,7 кВт*ч. В таблице же 4.4 представлен расход электроэнергии, если установлен модуль управления освещением. В солнечный день можно снизить расходы на электроэнергию более чем на 50 %.

Таблица 4.3 – Расход электроэнергии при ручном включении света 05.05.2019г.

Зона (сегмент)	Время работы	Расход электроэнергии на освещение
дальняя у стены	6 ч	0,9 кВт*ч
средняя	6 ч	0,9 кВт*ч
ближняя у окна	6 ч	0,9 кВт*ч
		Итого: 2,7 кВт*ч

Таблица 4.4 – Расход электроэнергии с учетом внедрения разработанного модуля

Зона (сегмент)	Время работы	Расход электроэнергии на освещение
дальняя у стены	6 ч	0,9 кВт*ч
средняя	10 мин	0,025 кВт*ч
ближняя у окна	0	0 кВт*ч
		Итого: 0,925 кВт*ч

4.6 Экономическая эффективность системы

Смета разработанной системы представлена в таблице 4.5. Итоговая стоимость составляет 3612 рублей. Стоимость готовой системы относительно решений, представленных на рынке, достаточно низкая. Цена самой недорогой системы с аналогичным функционалом составляет не менее 10000

рублей и редко когда такие системы управляют только лишь светом, что не подходит для учебных помещений.

Таблица 4.5 – Смета системы управления освещением

№ п/п	Наименование	Количество, шт.	Стоимость, руб.
1	Программируемые контроллер Arduino UNO R3	1	282
2	Цифровой датчик света BH1750FVI (модуль GY-30)	4	480
3	Модуль RA005. Одноканальное реле 250В, 10А (питание 5В)	3	600
4	Блок питания 220В	1	513
5	SM5-05P-45G-G, микрореле с лапкой 250В, 5А	1	55
6	Кабель медный силовой ВВГнг (А)-LS 3x1.5, м	27	1242
7	FTP4-S, Витая пара, м	10	440
ИТОГО			3612

Для того чтобы оценить эффективность созданного решения был проведен мониторинг освещенности в макете помещения в различные дни. Расход электроэнергии в режиме ручного управления рассчитан из минимально необходимого уровня освещения для учебного помещения, аналогичного макету. В таблице 4.6 приведено сравнение расхода электроэнергии с разработанной системой и без нее. Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что система является эффективной, особенно в солнечные дни, так как эффективность решения зависит от погоды и продолжительности светового дня. Если внедрить данную систему

управления освещением в учебные заведения, то можно будет существенно снизить потребление электроэнергии и сэкономить бюджетные средства.

Таблица 4.6 – Расход электроэнергии с системой управления освещением и без

Дата	Расход электроэнергии с 9:00 до 18:00, кВт*ч		Экономия электроэнергии, %
	с СУО	Ручное управление	
28 апреля 2019	3,0	4,5	33
3 мая 2019	3,5	4,5	22
4 мая 2019	2,25	4,5	50
5 мая 2019	0,925	2,71	66
24 мая 2019	1,5	3,15	52
25 мая 2019	2,1	4,5	53
26 мая 2019	1,15	2,7	43
27 мая 2019	2,2	4,5	51

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были рассмотрены и изучены имеющиеся проблемы с искусственным освещением в учебных заведениях, а также рассмотрены нормы СанПиН к организации правильного освещения в учебных помещениях. Из-за того, что в РФ в большинстве школ и университетах учебные классы проектируется с боковым световым проемом, то образуется нехватка естественного света в отдаленных от окна частях помещения, таким образом свет распределяется неравномерно. Таким образом понижается уровень комфорта и качество световой среды учебного помещения. Это увеличивает утомляемость и нервное возбуждение у обучающихся. Для того, чтобы не наносить вред здоровью обучающихся рекомендуется максимальное использование естественного света. Включение/выключение светильников происходит от индивидуального восприятия преподавателя в большинстве учебных заведений, а это может привести к нехватке освещения для обучающихся либо к перерасходу электроэнергии.

Благодаря созданной экспериментальной установке и макета помещения, был определен градиент распределения освещенности естественным светом в помещении. Также были определены уровни освещенности с различными комбинациями потолочных светильников. В результате исследований было выявлено, что свет в учебных помещениях распределяется неравномерно. Более интенсивно освещаются части помещения, находящиеся ближе к оконному проему. Поэтому если включается свет во всем помещении, то неравномерность освещения остается, а около светового проема становится еще и выше нормы. Это приводит к большому расходу электроэнергии, в то время как ее можно было бы экономить. Разница в уровне освещенности по всей длине помещения составляет 1 - 5%, а в месте расположения рабочих мест – 1 - 3%. Также было

обнаружено, что освещение, в определенных локальных точках по ширине помещения, зависит от естественного света, которое поступает через окна. На основании этих данных была разработана методика определения зависимости освещения в локальных точках от естественного и искусственного освещения, был также определен правильный порядок включения светильников. Потолочные светильники необходимо объединять в группы, которые находятся параллельно светонесущей стене и включать их поочередно, в зависимости от уровня естественного света.

Полученная взаимосвязь внутреннего и внешнего освещения позволила отказаться от ненужного оборудования, из-за которого получилось уменьшить стоимость модуля управления потолочными светильниками. Был создан модуль управления для учебных помещений. Он состоит из микроконтроллера и датчика освещенности. В работе модуля используются вычисленные зависимости уровней локальной освещенности, что является его особенностью. Разработанный модуль эффективен и позволяет экономить до 50% электроэнергии в зависимости от продолжительности светового дня. Стоимость системы управления значительно меньше существующих на рынке систем и также она проще в создании

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по вопросам политики энергоэффективности [Электронный ресурс]. - МЭА. 2009. - URL: http://www.iea.org/media/translations/russian/EE_recommendations_russian.pdf (дата обращения 02.02.2019).
2. Гагарин, В.Г. Об оценке энергетической эффективности энергосберегающих мероприятий [Текст] / В.Г. Гагарин, П. Пастушков // Инженерные системы: журнал / АВОК – СевероЗапад. – Санкт-Петербург, 2014. – Выпуск 2. - С. 26-29.
3. Правила поведения, способствующие сохранению энергии в образовательных учреждениях: Методическое пособие по энергоэффективности для образовательных учреждений [Текст] / Центр комплексной энергоэффективности и энергосбережения. - Москва: Энергоиздательство, 2012. - 48 с.
4. Боммел, В.Ван. Качество освещения и эффективность: критический обзор [Текст] / В.Ван Боммел // Светотехника: сб. статей. – Москва, 2016. – Вып. 1. - С. 6-11.
5. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие [Текст] / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова; под общ ред. Л.П. Варфаламеева - Москва: Издательский дом МЭИ, 2014. - 288 с.
6. Шкрадюк, И.Э. Технологическая картина мировой энергетики до 2050 г. [Текст] / И.Э. Шкрадюк, В.А. Чупров. - Москва: WWF России, 2015. - 78 с.
7. Данилов, Н.И. Основы энергосбережения: учебник [Текст] / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2016. - 564 с.
8. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности: Учеб. пособие для ответственных за энергосбережение / Е.А. Борголова,

Ф.Ф. Лавриненко, Ю.Ф. Тихоненко, А.В. Стежка, В.А. Брянцев, М.К. Агеев, Ю.Г. Жокин. - Москва: КЭУ, 2014. - 234 с.

9. Башмаков, И.А. Сравнение мер российской политики по повышению энергоэффективности в промышленности с мерами, принятыми в развитых странах [Электронный ресурс] / И.А. Башмаков, В.И. Башмаков. – Москва: ЦЭНЭФ, 2012. - URL: http://esco.co.ua/journal/2012_4/art23.pdf (дата обращения 09.02.2019).

10. Федюкина Г.В. Современное освещение школ. [Текст] / Г.В. Федюкина; под общей редакцией проф. Азенберга. - Москва: Знак, 2016. – 16 с.

11. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: учебник для вузов [Текст] / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич - Минск: Техноперспектива, 2015. - 321 с.

12. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения [Текст] / Г.М. Кнорринг. – Санкт-Петербург: Энергиздательство, 2016. - 448 с.

13. Савин, В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение [Текст] / В.К. Савин. - Москва: Лазурь, 2015. - 432 с.

14. Блази, В. Справочник проектировщика. Строительная физика: учебное пособие [Текст] / В. Блази; пер. с нем. под ред. и с доп. А. К. Соловьева. - Москва: Техносфера, 2014. - 479 с.

15. Общеобразовательные школы и школы-интернаты. Нормы проектирования: СНиП II-65-73. Общеобразовательные школы и школы-интернаты. Нормы проектирования [Текст]: нормативно-технический материал. – Москва: Стройиздат, 1974. - 33 с.

16. Свод правил естественное и искусственное освещение: СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение [Текст]: нормативно-технический материал. - Москва: Стройиздат, 2011. - 69 с.

17. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Санитарные правила и нормы [Текст]: нормативно-технический материал. - Москва: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003. - 41 с.
18. Брошюра немецкого Общества светотехников (FGL) «Хорошее освещение учебных заведений» [Текст]. № 2. - Москва: Знак, 2017. - 14 с.
19. Система менеджмента энергоэффективности в образовательных учреждениях: Методическое пособие по энергоэффективности для образовательных учреждений [Текст] / Центр комплексной энергоэффективности и энергосбережения - Москва: Энергоиздательство, 2017. - 38 с.
20. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. - Москва: АВОК-ПРЕСС, 2013. – 200 с.
21. Кунгс, Я.А. Экономия электрической энергии в осветительных установках [Текст] / Я.А Кунгс, М.А Фаермарк. - Москва: Энергоатомиздат, 2014. - 161 с.
22. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехники [Текст] / Ю.Б. Айзенберг - Москва: Знак, 2016. - 972 с.
23. Давыденко Ю.Н. 500 Схем для радиолюбителей. Современная светотехника в освещении. Эффективное электропитание люминесцентных, галогенных ламп, светодиодов, элементов «Умного дома». [Текст] / Ю.Н. Давыденко. – Санкт-Петербург: Наука и Техника, 2014. - 320 с.
24. ГОСТ Р 55392-2012. Приборы и комплексы осветительные. Термины и определения [Текст]. - Москва: Стандартинформ, 2014. - 47 с.
25. ГОСТ Р 54350-2015. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний [Текст]. - Москва: Стандартинформ, 2015. – 45 с.

26. Федеральный закон Российской Федерации от 23 ноября 2009г. N261 ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

27. Свод правил по проектированию и строительству естественное освещение жилых и общественных зданий: СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий [Текст]: нормативно-технический материал. - Москва: Госстрой России, 2005. - 82 с.

28. Крюков В.В. Информационно-измерительные системы. Учебное пособие [Текст] / В.В. Крюков. - Владивосток: ВГУЭС, 2010. - 201 с.

29. Парк Дж. Передача данных в системах контроля управления: практическое руководство / Дж. Парк, С. Маккей, Э. Райт; перевод с англ. В.В. Савельева. – Москва: ООО «Группа ИДТ», 2017. - 480 с.

30. Уроки по работе с Arduino Uno / Подключение датчика ВНІ 750 [Электронный ресурс]. – URL: <https://lesson.iarduino.ru/page/podklyuchaem-bhl-750-datchik-osveschennosti-gy-30-gy302-k-arduino> (дата обращения 23.03.2019).

31. Ежегодный доклад Уполномоченного по правам ребенка в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс] / С. Агапитова. – URL: http://assembly.cdnvideo.ru/images/content/Уполномоченный_по_правам_ребенка/Доклад_Агапитовой_2011.pdf (дата обращения 04.02.2019).

32. Датчики освещения. Виды и устройство. Работа и применение [Электронный ресурс]. – URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektroobustrojstvo/osveshhenie/datchiki-osveshcheniia.html> (дата обращения 18.12.2018).

33. Датчики движения для освещения. Виды и работа. Применение [Электронный ресурс]. – URL: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/rozetki-vykljuchатели/datchiki-dvizheniia.html> (дата обращения 18.12.2018).

34. Датчик движения для включения света: принцип действия и способы подключения [Электронный ресурс]. – URL: <https://квант-спб.рф/shema/datchiki-dvizheniya-dlya-vklyucheniya-sveta-shema-i-princip-raboty.html> (дата обращения 18.12.2018).
35. Освещение помещений и рабочих мест [Электронный ресурс]. – URL: <https://websot.jimdo.com/обучение/учебный-курс/освещение-помещений-и-рабочих-мест> (дата обращения 16.01.2019).
36. Плата Arduino Uno R3: схема, описание, подключение устройств [Электронный ресурс]. – URL: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-uno/> (дата обращения 01.12.2018).
37. Букатов А. С. Функциональное энергоэффективное освещение наружных пространств столицы: состояние и тенденции развития [Текст] / А.С. Букатов, А.И. Киричок // Светотехника. – Москва, 2012. – № 6 – С. 38–41.
38. Практические вопросы реализации государственной политики в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.docme.ru/doc/756999/konspekt-lekcij---energoberezhenie> (дата обращения 25.11.2018).
39. Журнал «Канцелярия» - Торговая марка [Электронный ресурс]. – URL: <https://kancelaria.ru/rubrics/trademark/8853/> (дата обращения 27.11.2018).
40. Кучма, В.Р. Гигиенические требования к использованию в школе интерактивных образовательных технологий [Текст]: Учебно-методическое пособие / В.Р. Кучма, М.И. Степанова, И.Э. Александрова. – Москва: Издательство Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, 2016. – 22 с.
41. Возрастная анатомия, физиология и гигиена – БФ ВГУ [Электронный ресурс]. – URL: http://bsk.vsu.ru/docs/education/umm/ppf/ofo/VAFiG_posobie.pdf (дата обращения 09.01.2019).

42. Необходимо как можно раньше выявлять детей группы риска [Электронный ресурс]. – URL: <http://odtdocs.ru/medicina/11007/index.html> (дата обращения 09.01.2019)

43. Коржнева, Т.Г. Исследование эффективности совмещенного освещения с учетом энергетического баланса помещения [Текст]: дис. канд. тех. наук: 05.23.03: защищена 06.07.15 / Коржнева Татьяна Геннадьевна. – Томск, 2015. – 110 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ПРИЛОЖЕНИЕ Б