

УДК 628.92/.97

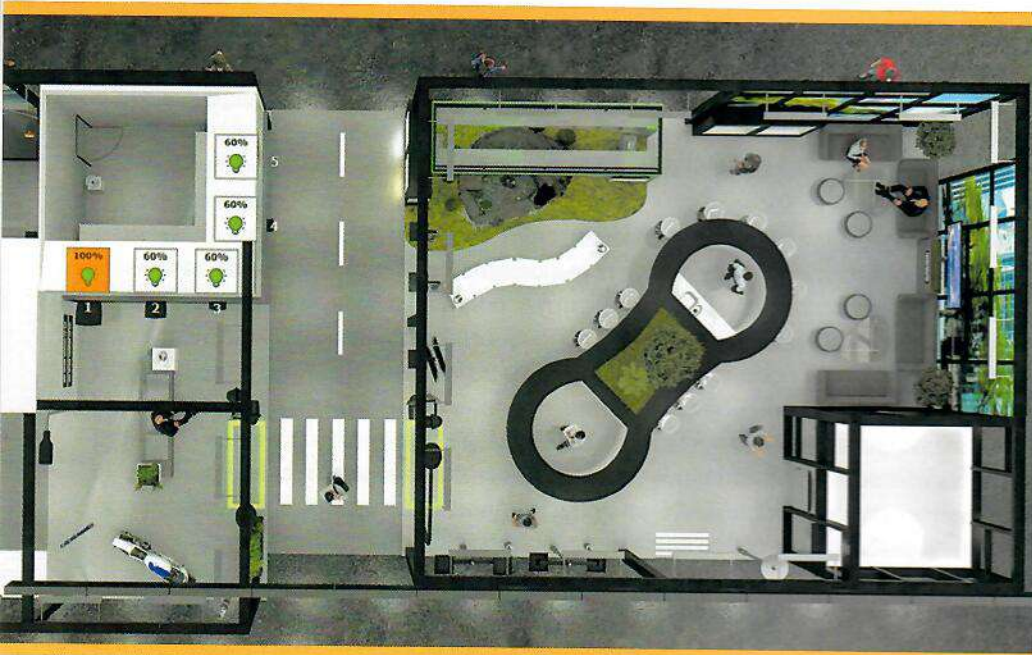
Ключевые слова: энергоэффективность, системы освещения, промышленное предприятие, автоматическое и автоматизированное управление, интеллектуальные технологии, CODESYS.

Искендер Кашкаралиев¹ | Kashkaraliyevl@mpei.ru |
 Андрей Киричок¹ | Андрей Туркин^{1,2}, к. ф.-м. н.

Интеллектуальные системы управления освещением

как инструмент повышения энергоэффективности промышленных предприятий

В статье рассматриваются современные технологии энергоэффективного освещения, их потенциал для снижения энергопотребления на промышленных предприятиях и возможности внедрения интеллектуальных систем управления освещением. Проведен краткий анализ существующих методов оптимизации энергопотребления и предложена модернизация системы освещения на примере ремонтно-механического завода. Рассмотрена схема электроснабжения предприятия и описана система управления освещением на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) с применением платформы CODESYS.



Введение

Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью оптимизации энергопотребления посредством автоматизации процессов включения и отключения освещения. Это связано с несколькими ключевыми факторами, такими как рост тарифов на электроэнергию, ужесточение экологических норм, стремление к устойчивому развитию и необходимость повышения конкурентоспособности предприятий. Учитывая, что на освещение приходится значительная доля общего энергопотребления промышленных объектов, энергосбережение в этой области становится приоритетной задачей.

Энергосбережение освещения определяется рядом параметров, включая долговечность, уровень энергопотребления, а также возможность интеллектуального управления освещением в зависимости от условий эксплуатации [1, 2]. В последние годы в данной сфере произошел значительный технологический прорыв, выразившийся в широком распространении светодиодных систем, интеллектуальных систем управления освещением и адаптивных технологий, позволяющих минимизировать потери электроэнергии [3, 4]. Рассматриваемый вариант по управлению освещением является примером системы автоматического управления освещением для малого предприятия или отдельного производственного цеха. На средних и крупных промышленных предприятиях решения, рассматриваемые в статье, могут быть элементом автоматизированных систем управления производством (MES³) и управления предприятием (ERP⁴).

Анализ методов оптимизации энергопотребления

Методы оптимизации энергопотребления можно разделить на аппаратные и программные.

Аппаратные методы включают модернизацию оборудования и внедрение энергоэффективных технологий, таких как использование энергоэффективных процессоров и микроконтроллеров, применение интеллектуальных сетей электро-

¹ НИУ «МЭИ», Москва.

² МГУ им. М. В. Ломоносова, физический факультет.

³ MES (Manufacturing Execution System) — система управления производственными процессами.

⁴ ERP (Enterprise Resource Planning) — система планирования ресурсов предприятия.

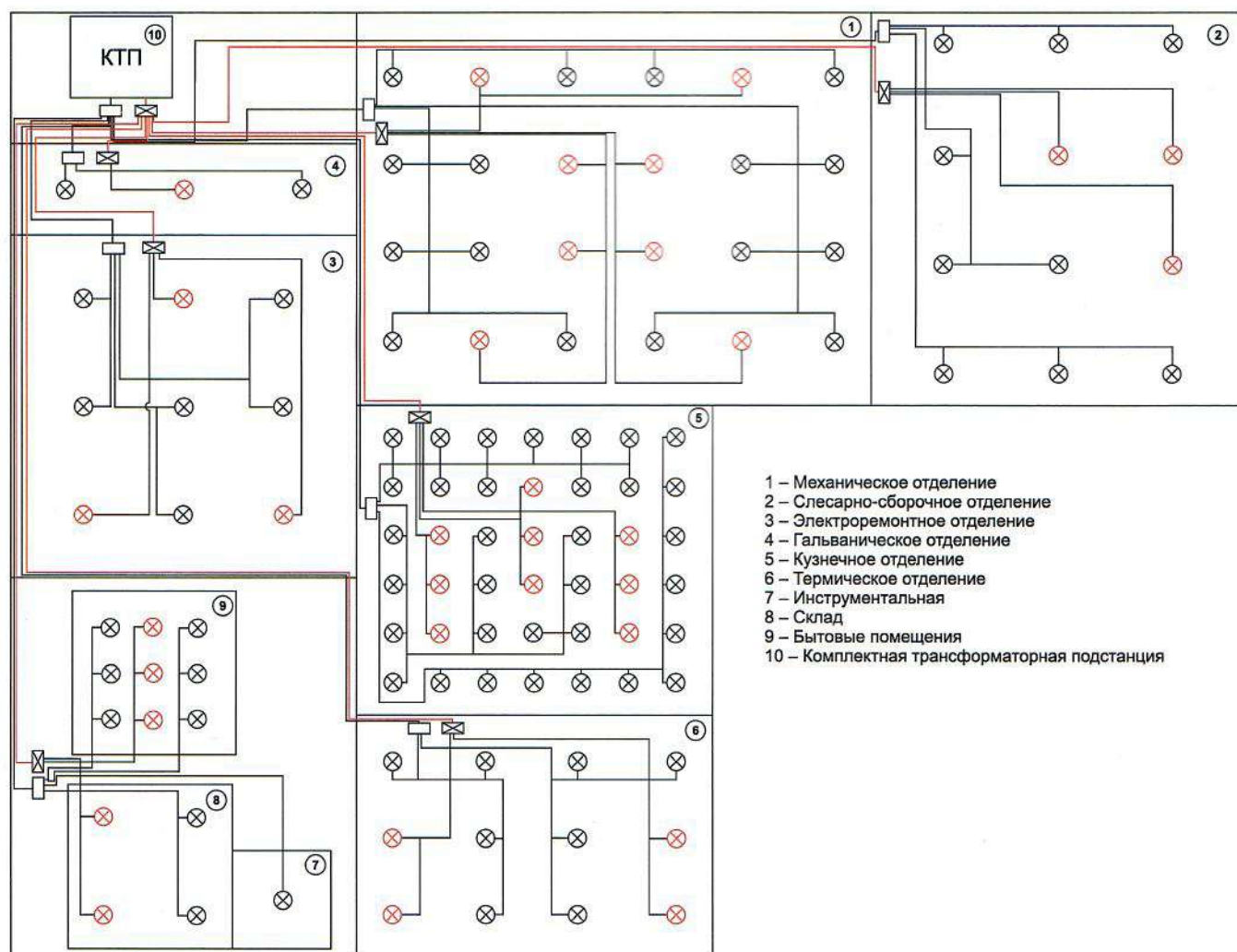


Рис. 1. Схема электроснабжения освещения ремонтно-механического завода

питания, внедрение систем рекуперации энергии и использование альтернативных источников энергии.

Программные методы ориентированы на оптимизацию алгоритмов и управление вычислительными ресурсами — например, алгоритмы управления питанием и оптимизация кода программ.

Автоматизация контроля освещения

Для практической реализации энергоэффективных решений в рамках данного исследования рассматривается внедрение системы управления освещением на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) [5]. В качестве объекта анализа выбран ремонтно-механический завод (рис. 1). Мы анализируем внутреннее освещение, но при дальнейшей работе будет учтено автоматизированное управление наружным освещением по СП 323.1325800 [6].

Оптимизация энергопотребления является многоаспектной задачей, требующей комплексного подхода. Совмещение аппаратных, программных и организационных методов позволяет добиться значительного снижения энергозатрат, что важно как для экономии ресурсов, так и для устойчивого развития.

Аппаратные методы направлены на повышение эффективности использования энергии за счет модернизации оборудования и внедрения энергоэффективных технологий:

- Плюсами аппаратных методов являются:
- высокая эффективность — снижение энергопотребления за счет модернизации оборудования по ГОСТ Р 56228 [7];
- долговременный эффект — внедрение энергоэффективных решений приносит устойчивые результаты;
- возможность работы на аппаратном уровне — оптимизация происходит без изменения программного обеспечения;

- снижение тепловыделения — помогает продлить срок службы оборудования. Минусами аппаратных методов являются:
- высокая стоимость — модернизация аппаратной части требует значительных инвестиций;
- долгий процесс внедрения — замена оборудования требует времени и планирования;
- ограниченная гибкость — изменение параметров требует физического вмешательства;
- не всегда возможно модернизировать существующую технику — некоторые системы трудно адаптировать.

Программные методы позволяют снизить энергопотребление за счет оптимизации алгоритмов работы систем управления освещением и управления вычислительными ресурсами.

Плюсы программных методов:

- гибкость — можно адаптировать без изменения аппаратной части;

- быстрая реализация — программные решения внедряются быстрее, чем аппаратные;
- доступность — часто дешевле, чем модернизация оборудования;
- возможность автоматизации процессов — управление энергопотреблением может происходить динамически.

Минусы программных методов:

- ограниченная эффективность — программная оптимизация не всегда может существенно снизить энергопотребление;
- зависимость от аппаратных возможностей — если оборудование не поддерживает энергосберегающие функции, программные методы малоэффективны;
- сложность разработки — требует внедрения оптимальных алгоритмов управления энергопотреблением;
- возможные проблемы с совместимостью — не все программные решения работают на разных платформах.

Прежде чем разрабатывать программное обеспечение, проанализируем существующие решения различных компаний.

В сфере автоматизации многие из них разрабатывают и предлагают решения для автоматизации различных процессов в различных отраслях:

Siemens — одна из ведущих мировых компаний в области автоматизации. Компания предлагает широкий спектр продуктов и решений, включая программное обеспечение, системы автоматизации и управления, робототехнику и многое другое.

Schneider Electric предлагает широкий спектр продуктов и решений для автоматизации и управления энергетическими системами, зданиями, инфраструктурой и другими сферами. Ассортимент их продукции включает программное обеспечение, контроллеры, исполнительные механизмы, датчики и другие компоненты.

Контроллеры серии «БРИЗ» разработаны компанией «Светосервис ТелеМеханика» для автоматизации управления освещением в городах, населенных пунктах, на транспортных магистралях и архитектурных объектах. Они обеспечивают централизованный контроль и управление системами освещения, способствуя повышению энергоэффективности и снижению эксплуатационных затрат.

Компания «ОВЕН» хорошо известна на российском рынке и занимает сильные позиции в области автоматизации. Компания предлагает комплексные решения, включая аппаратное и программное обеспечение, а также услуги по установке, обслуживанию и поддержке систем автоматизации. Аппаратное решение «ОВЕН» может подойти для разработки программного обеспечения, поскольку эта компания имеет множество преимуществ перед конкурентами:

Продукция «ОВЕН» известна своей высокой надежностью и качеством. Компания стремится производить высокотехнологичные устройства, которые работают стабильно и надежно в течение длительного времени. Это особенно важно в системах автоматизации, где неисправности или неполадки могут привести к сбоям в производственных процессах. Устройства «ОВЕН» являются гибкими и настраиваемыми в соответствии с потребностями клиентов.

Текущие лидеры в области программирования, из состава которых мы проведем анализ и сделаем выборку:

- *TIA Portal* — пакет программного обеспечения, разработанный компанией Siemens для программирования и настройки логических контроллеров. Этот программный комплекс поддерживает несколько языков программирования.

Разработка компании Siemens, также включает расширенные функции — моделирование, диагностика, симуляция и средства визуализации программного кода.

- *CODESYS* — это программно-аппаратный комплекс средств для работы с программируемыми логическими контроллерами. Эта платформа с открытым исходным кодом, которая совместима со всеми языками программирования. Так же, как и его предшественник включает в себя базовые функции по визуализации, диагностики и симуляции программного кода.

Был выбран *CODESYS* в связи с недоступностью *TIA Portal*. Осуществлен подбор, соответствующих комплектующих и разработать алгоритм управления освещением с использованием платформы *CODESYS*. Данный подход позволит не только повысить уровень автоматизации, но и достичь значительного снижения энергопотребления за счет индивидуального и группового управления осветительными приборами.

Для реализации данной системы в качестве основного оборудования были выбраны программируемый релейный контроллер ПР103, производства компании «ОВЕН» (рис. 2) так как по ГОСТ Р 53704 было решено собрать комплексные системы безопасности (КСБ) [8], а также инфракрасный датчик движения *Navigator NS-IRM09-WH* (рис. 3). Такое сочетание аппаратных компонентов позволит обеспечить надежное управление освещением с возможностью адаптации системы под изменяющиеся критерии и условия эксплуатации.

Хотя сам проект реализован в программной среде *Codesys* версии 2.3, его не составит труда интегрировать в другую программную среду. Благодаря тому, что

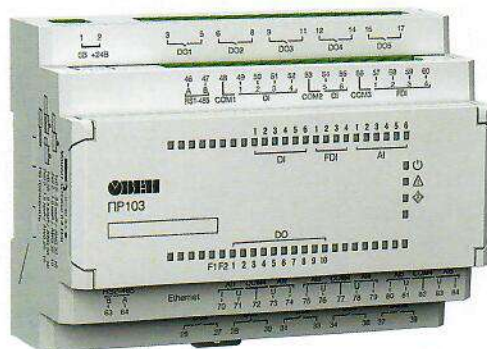


Рис. 2. Релейный контроллер ПР103



Рис. 3. Инфракрасный датчик движения Navigator NS-IRM09-WH

Таблица. Глобальные переменные программы

Название переменной	Тип данных	Описание
ExternalSensor	BOOL	Управление внешним датчиком
InternalSensor	BOOL	Управление внутренним датчиком
ExternalTrigg	BOOL	Детектор переднего фронта
InternalTrigg	BOOL	Детектор заднего фронта
PeopleCount	INT	Управление подсчетом людей в цехе
Lamp1	BOOL	Управление лампой 1
Lamp2	BOOL	Управление лампой 2
Lamp3	BOOL	Управление лампой 3
Lamp4	BOOL	Управление лампой 4
Lamp5	BOOL	Управление лампой 5
Lamp6	BOOL	Управление лампой 6
Lamp1Off	TON	Управление отключением лампы 1
Lamp2Off	TON	Управление отключением лампы 6
Lamp3Off	TON	Управление отключением ламп 2, 5
Lamp4Off	TON	Управление отключением ламп 3, 4
ManualMode	BOOL	Включение ручного режима
ShutDown	BOOL	Аварийное выключение

```

0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003   ExternalSensor: BOOL:=FALSE;
0004   InternalSensor: BOOL:=FALSE;
0005   ExternalTrigg: BOOL:=FALSE;
0006   InternalTrigg: BOOL:=FALSE;
0007   PeopleCount: INT:=0;
0008   Lamp1: BOOL:=FALSE;
0009   Lamp2: BOOL:=FALSE;
0010   Lamp3: BOOL:=FALSE;
0011   Lamp4: BOOL:=FALSE;
0012   Lamp5: BOOL:=FALSE;
0013   Lamp6: BOOL:=FALSE;
0014   PeopleEnt: BOOL:=FALSE;
0015   PeopleOut: BOOL:=FALSE;
0016   PeopleEntering: TON;
0017   PeopleExiting: TON;
0018   VisuStep1: INT:=0;
0019   VisuStep2: INT:=0;
0020   Lamp1Off: TON;
0021   Lamp2Off: TON;
0022   Lamp3Off: TON;
0023   Lamp4Off: TON;
0024   Manual: BOOL := FALSE;
0025   ManualMode: BOOL := FALSE;
0026   ShutDown: BOOL := FALSE;
0027   Sensor1: BOOL := FALSE;
0028   Sensor2: BOOL := FALSE;
0029 END VAR

```

Рис. 4. Глобальные переменные в Codesys

проект выполнен на языке ST «Структурный текст». Например, программный код можно перенести в программную среду *OWEN logic* под выбранную конфигурацию программируемого реле. Для разных промышленных предприятий есть некоторые виды воздействия на светильники в ГОСТ Р 50571.29 [9] (559 Осветительные приборы и установки), но в данной работе он не был использован.

Разработанная программа представляет собой автоматизированную систему управления освещением в производственном цеху, включающую два режима работы: автоматический и ручной. В автоматическом режиме система контролирует количество включенных осветительных приборов. В ручном режиме управление осуществляется пользователем через панель управления, позволяя включать и отключать освещение по мере необходимости.

Основная цель программы заключается в снижении энергопотребления в цеху

за счет меньшего количества времени работы осветительных приборов. В программе реализован автоматический режим управления, который самостоятельно включает освещение при наличии определенного количества людей в помещении.

Программа является универсальным вариантом для обеспечения освещения и эффективного использования энергии. Кроме того, обеспечивает безопасность работы системы освещения, предусматривая аварийное отключение.

Алгоритм (рис. 5) начинается с инициализации глобальных переменных и опроса датчиков. Далее проверяется наличие людей в помещении с помощью внешнего и внутреннего датчиков. Если человек входит в помещение инфракрасный датчик регистрирует сигнал и отправляет его в исполнительное устройство, количество людей в помещении увеличивается или уменьшается на 1 в зависимости от направления движения.

В целом данная программа является важным компонентом для обеспечения надлежащей работы освещения в механическом цехе.

Затем проверяется количество людей в помещении для включения или отключения света. К примеру, в п. 6.5.14 ГОСТ 32396 [10] указано, что в блоках автоматического управления общедомовым освещением, если иное не оговорено потребителем, следует предусматривать:

- фотореле и/или реле времени;
- коммутационные аппараты цепей управления;
- автоматические выключатели типов В, С для защиты групповых цепей.) Если условия выполнены, свет включается или выключается соответственно. Алгоритм завершается концом цикла.

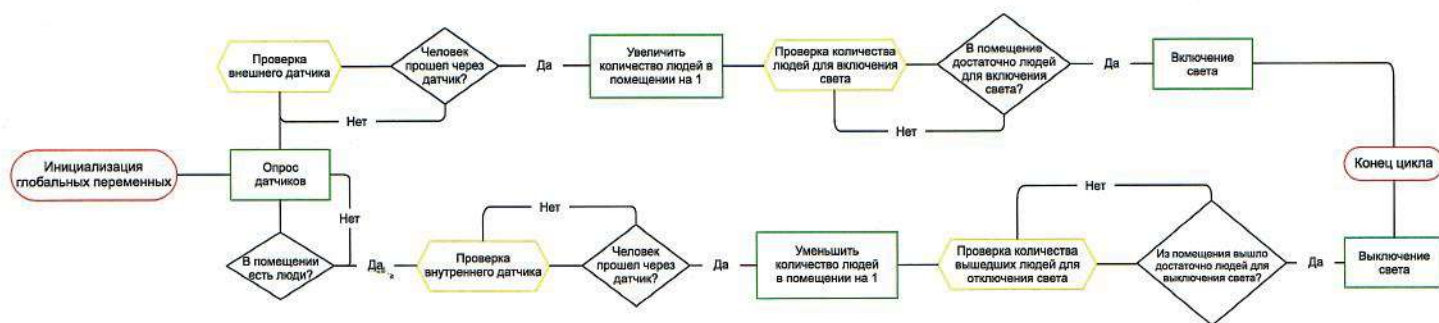


Рис. 5. Алгоритм работы программы



Рис. 6. Стартовый экран визуализации



Рис. 7. Работа в автоматическом режиме



Рис. 8. Завершающий процесс работы

Визуализация программы

Программа начинается с инициализации ряда переменных, включая логические переменные для ламп (рис. 6).

Затем программа делает опрос датчиков, прошел ли объект. Если человек зашел в помещение, то условие на счетчике прибавляется на 1, в зависимости от отправленных сигналов с сенсора. В приоритете будет тот датчик, который сработает первым. Это условие выполняется благодаря детектору фронта. Таким образом, если условие на подсчете людей будет равняться нулю, то внутренний датчик не работает.

Далее программа проверяет различные условия, чтобы определить, следует ли включать или отключать освещение. Например, если зашел один человек, то включится «Лампа № 1» и контроллер будет делать опрос датчиков до тех пор, пока в помещении не зайдет третий человек. После чего включится «Лампа № 6». Если человек выйдет из комнаты, и в опросе программы будет нужное значение, то предыдущая лампа отключится через 2 с. В панели управления значения указаны в миллисекундах.

Также в программе предусмотрен ручной режим работы, при включении этого режима сотрудники цеха могут сами выбирать какой источник света им включить при помощи HMI — панели управления.

Путем выбора светового индикатора на панели, если зеленый — лампа включена, если красный — отключена. Также предусмотрена кнопка аварийного отключения, при нажатии на которую все освещение и датчики отключаются. В данной работе не предусмотрены светильники для аварийного освещения, но, если потребует установка, можно опираться на ГОСТ IEC 60598-2-22 [11] и СП 439.1325800 [12].

В целом программа представляет простую и в то же время надежную систему управления и контроля над освещением в производственном цеху. Есть возможность модернизации для улучшения технической эксплуатации и сбережения энергии путем добавления нового оборудования и обновлением программной составляющей. Программа написана на языке ST (*Structured text*), что позволяет конвертировать код программы в любую программную среду, поддерживающую иную производителя логического контроллера.

Выводы

Целью данного исследования был анализ существующих методов оптимизации энергопотребления и разработка предложений по внедрению интеллектуальной системы управления освещением на примере ремонтно-механического завода. В ходе работы рассмотрена схема электроснабжения предприятия и предложена система управления освещением на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) с использованием платформы CODESYS.

Проанализированы существующие решения различных компаний в части программного обеспечения. Среди лидеров в области автоматизации были определены такие компании, как Siemens и Schneider Electric, предлагающие широкий спектр продуктов и решений для автоматизации различных процессов. Также были рассмотрены контроллеры серии «БРИЗ» от компании «Светосервис Телемеханика», известные своим вкладом в автоматизацию управления освещением.

На основании проведенного анализа был выбран программно-аппаратный комплекс CODESYS, который предоставляет возможности для программирования логических контроллеров, и совместим с распространенными языками программирования. В качестве основного оборудования были выбраны: программируемый релейный контроллер ПР103 производства компании «ОВЕН» и инфракрасный датчик движения Navigator NS-IRM09-WH.

Разработанная система представляет собой систему управления освещением в производственном цеху, включающую два режима работы: автоматический и ручной. В автоматическом режиме система контролирует количество включенных осветительных приборов, а в ручном режиме управление осуществляется пользователями через панель управления.

В рамках дальнейших исследований потенциала энергоэффективности в сфере освещения планируется акцентировать внимание на важности внедрения современных энергоэффективных технологий. Ожидается, что предложенные меры обеспечат значительные экономические и экологические выгоды, улучшат качество жизни, повысят безопасность на промышленных предприятиях. Данная система создана для малых и средних предприятий. Она может стать элементом автоматизации предприятий.

Продолжение работы в этом направлении будет способствовать развитию устойчивых энергетических систем, улучшения условий труда [13] и появлению новых технических решений для использования на малых и средних промышленных предприятиях [14]. ●

Литература

1. Байков В. А. Энергоэффективные технологии в промышленности: теория и практика. М.: МЭИ, 2020.
2. Кузнецов С. В. Современные системы освещения: проектирование и управление. СПб., 2019.
3. Сидоров А. Н. Автоматизированные системы управления освещением на промышленных предприятиях. Екатеринбург, Уральский федеральный университет, 2021.
4. Гусев И. П. Светодиодное освещение: технологии, оборудование, эксплуатация. М.: Техносфера, 2018.
5. Официальный сайт компании ОВЕН. Техническая документация на контроллеры серии ПР103. www.owen.ru
6. СП 323.1325800.2017 «Территории селитебные. Правила проектирования наружного освещения».
7. ГОСТ Р 56228-2014 «Освещение искусственное термины и определения».
8. ГОСТ Р 53704-2009 «Системы безопасности комплексные и интегрированные».
9. ГОСТ Р 50571.29-2009 (МЭК 60364-5-55:2008) «Электрические установки зданий».
10. ГОСТ 32396 «Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий».
11. ГОСТ IEC 60598-2-22-2012 «Светильники Часть 2-22 Частные требования. Светильники для аварийного освещения».
12. СП 439.1325800-2018 «Здания и сооружения. Правила проектирования аварийного освещения».
13. Рослякова С. В., Климова Д. А., Гофман О. О., Басов О. О., Быстрынцева Н. В. Модель влияния искусственного освещения на психофизическое состояние для использования в адаптивных системах управления освещением // Светотехника. 2025. № 1.
14. Трунова И. Г., Елькин А. Б., Масленица О. В., Малафеев О. Ю., Агальцова Т. А. Производственное освещение проектирование и расчет. М., 2023.