

**Камышинский технологический институт (филиал) федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Волгоградский государственный технический университет »**

На правах рукописи

ГАЛУЩАК Валерий Степанович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРООСВЕТИТЕЛЬНЫХ
УСТАНОВОК ЗА СЧЁТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОБАРИЧЕСКИХ
АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

**Специальность 05.20.02-
«Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве»**

**ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

**Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент Сошинов А.Г.**

Камышин 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИЗУЧАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | 13 |
| 1.1 Направления развития систем освещения в сельском хозяйстве..... | 13 |
| 1.2 Направления повышения энергоэффективности освещения в сельском хозяйстве..... | 16 |
| 1.3 Перспективы использования возобновляемых источников энергии для питания систем освещения..... | 25 |
| 1.4 Энергетический потенциал окружающей среды..... | 30 |
| 1.5 Постановка задачи исследования..... | 34 |
| Выводы по главе..... | 35 |
| 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАРУЖНОГО ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ С АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ..... | 36 |
| 2.1 Принцип построения автономного уличного светильника..... | 36 |
| 2.2 Оценка ожидаемой выработки электроэнергии на солнечном электрогенерирующем преобразователе уличного светильника | 42 |
| 2.3 Оценка ожидаемой выработки электроэнергии на ветрогенерирующем преобразователе уличного светильника | 47 |
| 2.4 Разработка математической модели расчёта конструктивных параметров автономного уличного светильника..... | 49 |
| 2.5 Разработка светодиодного источника света повышенной энергоэффективности с компенсирующим эффектом..... | 63 |
| Выводы по главе..... | 66 |
| 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ..... | 68 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.1 | Описание экспериментального макета автономного уличного светильника | 68 |
| 3.2 | Определение электрогенерации на аэроборическом участке при различных скоростях ветра..... | 71 |
| 3.3 | Сравнение энергетических и светотехнических характеристик разработанного источника света с существующими аналогами. | 73 |
| 3.4 | Натурные испытания разработанного источника света в све- тельном аварийного освещения..... | 79 |
| 3.5 | Эксперимент по оценке энергосберегающего эффекта от при- менения разработанного источника света в сельхозпроизводст- ве..... | 80 |
| 3.6 | Выявление потребляемой мощности источника света в авто- номном уличном светильнике для сельских территорий..... | 81 |
| | Выводы по главе..... | 83 |
| 4 | ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ..... | 84 |
| 4.1 | Оценка ожидаемой выработки электроэнергии уличным све- тельным прибором при его установке в Волгоградской области..... | 84 |
| 4.2 | Оценка экономической эффективности систем наружного ос- вещения с различными источниками энергии..... | 88 |
| 4.3 | Разработка критерия оценки экономической эффективности источников света..... | 97 |
| | Выводы по главе..... | 100 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 101 |
| | СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ... | 103 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 104 |
| | ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 120 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время нарастают проблемы в электроэнергетике, вызванные постоянным ростом цен на органическое топливо, сложной ситуацией вокруг атомных электростанций и сопутствующих им объектов атомной энергетики. После аварии на АЭС «Фукусима 1» (Япония) в разных странах прошли многочисленные протесты населения против возведения новых атомных электростанций [70]. Огромны масштабы загрязнения окружающей среды тепловыми электростанциями, сопровождаемые большими объемами выбрасываемых в атмосферу вредных веществ и парниковых газов [86, 99, 100].

В связи с этим в мире увеличивается выработка электроэнергии от экологически чистых возобновляемых источников энергии, несмотря на их большую себестоимость в сравнении с традиционными источниками [25, 33, 34].

В то же время доля электроэнергии, расходуемой на организацию освещения в местах проживания человека, в разных странах составляет 13–20% от общего объема ее производства. Стоимость электроэнергии для целей освещения является значительной статьёй расходов в бюджетах сельских муниципальных образований и одной из важных забот их администраций [6, 87, 117]. Глубокие кризисные явления в энергетике, промышленности, финансовых сферах приводят к постоянному росту тарифов на электроэнергию а также к увеличению затрат на материалы и услуги в сфере электроосвещения [77, 78]. Высокая материалоемкость и низкая надёжность традиционных систем освещения также приводят к росту эксплуатационных затрат [14]. Всё это, в конечном счете, вынуждает глав территориальных администраций сокращать количество осветительных приборов уличного освещения вплоть до полного отказа от уличного освещения в ночные часы, что мы уже наблюдаем в наших сёлах, деревнях и небольших сельских муниципальных образованиях.

Для снижения энергозатрат в производстве и социальной сфере в России в 2009 году был принят Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности ...» [112]. Рядом статей указанного закона предусматривается поэтапное снижение затрат электроэнергии на освещение путем отказа от традиционных ламп накаливания и перехода на энергосберегающие источники света с привлечением возобновляемых источников энергии [67, 82,90,94,111]. Также рядом положений указанного закона предусматривается снижение потребления электроэнергии на освещение путем внедрения энергосберегающих осветительных систем в производстве и в быту, в том числе и на селе.

Сельское хозяйство в большинстве регионов России – дотационная отрасль. Сельскохозяйственные организации и сельские поселения располагают недостаточным бюджетом, основную долю затрат в котором составляют расходы на электроэнергию и другие ресурсы. Для объектов сельского хозяйства характерна малая плотность потребления электроэнергии, в том числе на нужды освещения, что приводит к большим затратам электроэнергии при ее передаче от питающего центра к приемникам [66].

Большинство сельскохозяйственных объектов располагается на территориях с большими значениями удельной солнечной инсоляции и умеренными ветрами. При планировании мероприятий повышения энергосбережения в освещении в сельской местности необходимо учитывать указанные специфические особенности сельскохозяйственных объектов [46, 48, 65].

В этой связи актуальность данной работы состоит в необходимости разработки новых осветительных приборов с более совершенными характеристиками энергетической эффективности [4, 14, 43, 79].

В современных осветительных приборах (ОП) применяются разнообразные источники света, отличающиеся мощностью светового потока, спектром генерируемого излучения и светоотдачей. Одним из важнейших показателей рассматриваемой группы источников света является светоотдача, которая изменяется от 3 лм/Вт для лампы накаливания до 150 лм/Вт для натриевых дуго-

вых ламп. Однако к настоящему времени технические возможности повышения энергетической эффективности применяемых источников света полностью исчерпаны.

Указанные причины стимулируют как рост исследований в области разработки новых источников света, так и увеличение объемов практического применения осветительных приборов нового поколения при постоянном поиске оптимальных соотношений стоимости сооружения, минимизации затрат на эксплуатацию и высокого уровня потребительских свойств системы освещения.

Сегодня все более очевидна необходимость в применении в системах электрического освещения сельских территорий и сельскохозяйственных производств новейших технологических решений из областей возобновляемых источников энергии, оптоэлектроники, светотехники, электротехники [76,117, 121, 135,142].

Не менее актуальным является проведение новых экспериментальных исследований, направленных на создание современных конструкций осветительных приборов, с использованием инновационных технологий.

Одним из наиболее перспективных направлений в повышении энергетической эффективности осветительных приборов является применение в качестве источников световой энергии твердотельных светодиодов [2,71]. Сверхнизкое электропотребление светодиодов позволяет рассматривать наружное освещение сельских территорий с совершенно новых позиций [44,47,53,54,55]. В частности, становится возможным снижение затрат на эксплуатацию систем освещения вплоть до полного отказа от покупной электроэнергии за счет использования возобновляемых источников энергии [7,30,32, 38,58,61, 62].

Степень разработанности темы. Работа базируется на основе фундаментальных трудов по проблемам создания энергоэффективного источника света русского учёного О.Н.Лосева, который открыл «эффект Лосева» и впервые указал на возможность использования светоизлучающих диодов в качестве источников света, М. Мухитдинова [88], подробно систематизировавшего накопленные знания о светодиодах, российского лауреата нобелевской премии

Ж.И.Алфёрова, построившего теорию гетеропереходов в полупроводниковых структурах, позволившей увеличить квантовый выход рекомбинационных излучений в видимом спектре электромагнитных волн, а также работ практического применения светодиодов О.А. Займидорога, И.Е.Проценко, В.Н.Самойлова [20]. В последние годы отечественные учёные Л.А. Абрамова, О.Е. Железнякова [1], А.А. Ашрятов [13], С. Н. Ивлев [74], В.Р. Сайфутдинова, Р.Х. Тукшаитов [98], Ю.А. Цапюк [3] значительно расширили прикладные аспекты полупроводниковой светотехники. Существенный вклад в развитие теории светодиодов внесли зарубежные учёные: американец Г. Раунд, наблюдавший в 1907 году рекомбинационное свечение кристалла карборунда, Ф. Шуберт [80,132], сообщивший мировой общественности о создании в 2000 году светодиода белого света, японские исследователи И. Акасаки, Х. Аmano [119], С. Накамура [136], ставшие лауреатами Нобелевской премии по физике 2014 года за создание нового энергоэффективного и экологически чистого источника света – синих светодиодов. На основе теоретических положений и результатов экспериментов, изложенных в этих работах, в настоящем исследовании был разработан энергосберегающий светодиодный источник света с эффектом компенсации реактивной мощности в сети потребителя и светодиодная матрица для сельского осветительного прибора наружного освещения.

Проблемам использования возобновляемых источников энергии посвящены фундаментальные труды Д. С. Стребкова [105], П.П. Безруких [15,16], Н. В. Харченко [115], С. Н. Удалова [110], И.В. Баума, В.И. Виссарионова [12, 18].

Указанные работы являются основой настоящего диссертационного исследования, однако, в них не рассматривалось совместное применение светодиодных источников света с их электроснабжением за счёт солнечной и ветровой генерации на базе аэробарического эффекта.

Цель работы - повысить энергоэффективности сельскохозяйственных электроосветительных установок путём использования светодиодов и возобновляемых источников энергии.

Задачи исследований:

- провести анализ отечественных и мировых тенденций развития электрического освещения и обосновать принципы построения энергоэффективных осветительных установок с учетом специфических особенностей сельского хозяйства;
- разработать и обосновать конструктивно-технологическую схему автономного осветительного прибора для сельской местности с использованием возобновляемых источников энергии;
- разработать математическую модель и выполнить программную реализацию оптимизационного расчёта конструктивных параметров осветительных приборов наружного освещения аэробарического типа;
- провести разработку и экспериментальные исследования энергосберегающего источника света для применения его в современных осветительных приборах сельскохозяйственного производства;
- выполнить сравнительную оценку экономической и энергетической эффективности предложенных инженерных решений.

Научная новизна исследований работы заключается в следующем:

на основе анализа тенденций развития наружного освещения предложено использование в сельской местности осветительных приборов с аэробарическими автономными источниками энергии;

разработаны конструктивно-технологическая и электрическая схема автономного осветительного прибора на светодиодных источниках света с их электроснабжением от устройства преобразования солнечной и ветровой энергии (защищена патентом на полезную модель РФ № 92936);

разработан и апробирован светодиодный источник света с эффектом повышения коэффициента мощности в сети сельского потребителя (защищён патентом на полезную модель РФ № 79741);

разработана компьютерная программа оптимизационных расчётов новых осветительных приборов с достижением нормативных светотехнических и электротехнических характеристик систем освещения, построенных на их базе (защищена свидетельством о государственной регистрации № 2013615418);

предложен комплексный критерий оценки экономической эффективности источника света для потребителя.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке конструкторско-технологической и электрической схемы ветросолнечного автономного осветительного прибора аэробарического типа; в получении теоретических зависимостей для расчёта электрогенерации в аэробарическом участке с программной реализацией оптимизационных расчётов конструкций осветительных приборов этого класса, в теоретическом обосновании, разработке и экспериментальном исследовании источника света с эффектом повышения коэффициента мощности в сети сельского потребителя, имеющего пониженное электропотребление, по сравнению с аналогами, в разработке методики оценки экономической эффективности источника света для потребителя.

Результаты диссертационной работы используются предприятием ООО «Светозар» (Россия, г. Волгоград, ул. Никитина, 2) при постановке на производство светодиодных источников света общего и наружного освещения, а также в учебном процессе, при выполнении курсовых и дипломных работ, чтении курса лекций по дисциплине «Основы электрического освещения» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль подготовки «Электроснабжение».

Методология и методы исследования. В работе использованы общенаучные методы исследования: метод статистического анализа и обобщения

технических результатов, математического моделирования, численные методы программирования, экспериментального исследования новых осветительных приборов, методы сравнения светотехнических и энергетических характеристик, методы оценки эффективности инвестиционных проектов. В работе использовались вновь разработанная компьютерная программа «СТРАЖ», внесённая в государственный реестр, и программа светотехнических расчётов «Dialux».

Положения, выносимые на защиту:

обоснование достаточности ветровой и солнечной электрогенерации на сельскохозяйственных территориях России для круглогодичного функционирования автономного осветительного прибора наружного освещения;

конструкторско - технологическая и электрическая схемы ветросолнечного автономного осветительного прибора аэробарического типа наружной установки для сельских систем освещения ;

полученные аналитические выражения, оптимизационный расчёт и его программная реализация конструктивных параметров автономных осветительных приборов аэробарического типа с использованием солнечной и ветровой энергии в сельской местности;

разработанный и апробированный светодиодный источник света с эффектом повышения коэффициента мощности в сети сельского потребителя, имеющий пониженное до 20 % потребление электроэнергии в сравнении с существующими светодиодными источниками света;

экспериментально полученная оптимальная эквивалентная термодинамическая температура и мощность светодиодного источника автономного осветительного прибора для наружного освещения сельских территорий;

комплексный критерий оценки экономической эффективности источника света для потребителя, коррелирующий с рассчитанным по стандартной методике системным эффектом от внедрения энергосберегающего источника света.

Степень достоверности и апробация результатов обеспечена применением основных положений теоретических основ энергетики, электротехники и светотехники, достаточной сходимостью теоретических и экспериментальных данных, полученных в натурных экспериментах, использованием современных поверенных средств измерений, применявшихся в экспериментальных исследованиях, заключений сертифицированных светотехнических лабораторий по объектам, разработанным в диссертационной работе.

Основные научные положения выводы и рекомендации диссертационной работы докладывались и были одобрены на следующих конференциях:

международной научно-технической конференции «Электротехника и энергосбережение» (Украина, г. Мариуполь, 2008 г.); международной научно-технической конференции «Проблемы электро-техники, электроэнергетики и электротехнологии» (ТГУ, г. Тольятти, 2009 г.); на VII Международной научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» (г. Саранск, 2009 г.); международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (СГТУ им. Гагарина Ю. А., г. Саратов, сентябрь 2014 г.); на IX Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в обучении и производстве» (КТИ (филиал) ВолгГТУ, г. Камышин, октябрь 2014 г.); на XII Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» (г. Саранск, 2015 г.).

По теме диссертации опубликована 43 печатных работы, в том числе 6 – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Получены: 1 патент РФ на изобретение, 3 патента РФ на полезную модель и

свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ. Общий объём публикаций - 9,43 п.л., из которых 4,23 п.л. принадлежат лично соискателю.

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложений. Она изложена на 127 страницах компьютерного текста, включает в себя 42 рисунка, 25 таблиц, и 6 приложений. Список использованных источников содержит 145 наименований, в том числе 25 на иностранном языке.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ИЗУЧАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Направления развития систем освещения в сельском хозяйстве

В настоящее время наблюдается бурный рост систем наружного освещения во всем мире. В муниципальных образованиях России администрации уделяют все большее внимание разработке стратегии развития наружного освещения, выделяя всё большие финансовые средства на его организацию [91,109].

Широкий временной диапазон деятельности в сельхозпроизводстве по суткам требует организации высокоэффективного освещения как с точки зрения обеспечения высоких светотехнических характеристик, так и минимизации затрат на его создание и эксплуатацию.

Согласно классификации А.Ф. Федорищева [113], в общем случае при выборе направления стратегии развития освещения используется 5 критериев:

1. Обеспечение нормальных зрительных условий требуемого уровня освещённости объекта определяется нормативными документами в зависимости от разряда зрительной работы, характеристик объекта, времени суток и астрономической широты его расположения [72,95]. Электрическое освещение в Российской Федерации регламентируется как федеральными, так и региональными нормами и правилами. В настоящее время в нашей стране действует федеральный свод правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение» [102]. В странах СНГ освещение нормируется межгосударственными строительными нормами МГСН 23-05-95 [85]. В странах Евросоюза применяется интернациональный стандарт ISO 8995.

2. Обеспечение безопасности, т.е. снижение ДТП и противоправных проявлений в темное время суток [127].

3. Эстетичность – удовлетворение эстетических запросов общества.

4. Выполнение общественной функции, т.е. создание гармоничной световой среды.

5. Обеспечение экономической эффективности, т.е. минимизация капитальных и эксплуатационных затрат на систему наружного освещения.

В большинстве случаев экономический критерий является решающим фактором для потребителя. Затраты на организацию уличного освещения в основном складываются из двух составляющих:

- затраты на создание системы уличного освещения, включающие в себя проектно-изыскательские работы, стоимость оборудования, строительномонтажных и пуско-наладочных работ;

- эксплуатационные затраты, включающие в себя затраты на оплату покупной сетевой электроэнергии и проведение профилактического обслуживания и ремонта оборудования системы уличного освещения. Указанные затраты составляют 40% всех затрат муниципалитетов на эксплуатацию различного электротехнического оборудования [8].

Расходы на электроэнергию, производимую для целей освещения, непрерывно возрастают, в том числе и на селе. В таблице 1.1 приведены данные о потреблении электроэнергии сельхозпотребителями Волгоградской области за период с 2008 по 2012 гг.

Таблица 1.1-

Потребление электроэнергии сельскохозяйственными потребителями
Волгоградской области

| Наименование групп потребителей | Потребление электроэнергии, тыс. кВт·ч | | | | |
|------------------------------------|--|---------|---------|---------|---------|
| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
| Сельхозпроизводство | 340 132 | 334 531 | 318 686 | 183 341 | 178 990 |
| Сельское население | 332 755 | 346 007 | 376 283 | 391 985 | 425 553 |
| Сельские муниципальные образования | 102 020 | 96508 | 94 606 | 198 359 | 187 967 |
| Всего | 784 898 | 779 055 | 791 540 | 775 696 | 794 522 |

Динамику потребления электроэнергии можно проследить на графиках, представленных на рисунке 1.1.

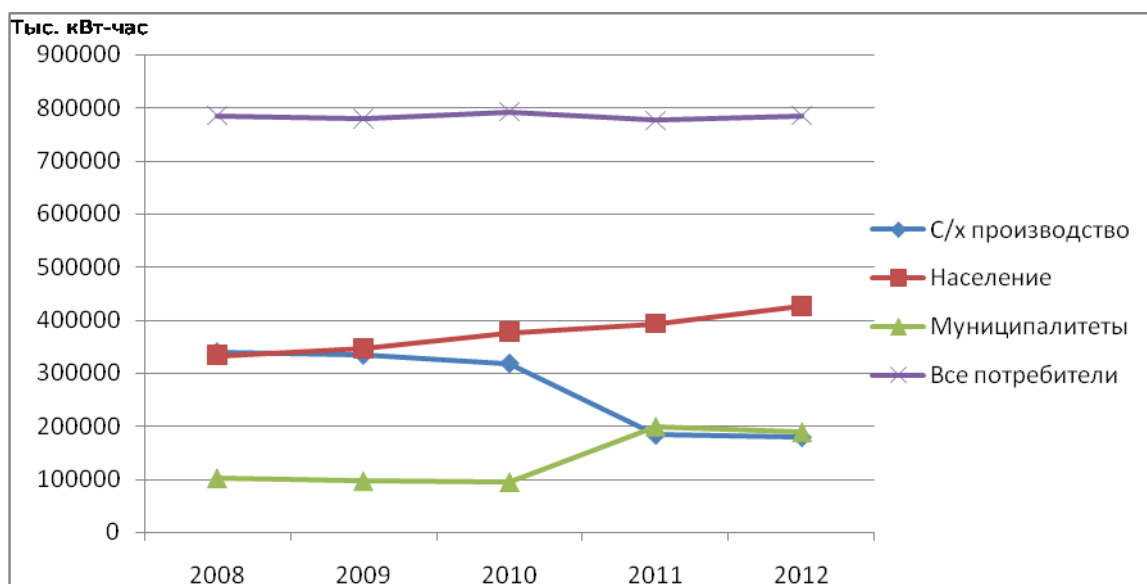


Рисунок 1.1 Динамика потребления электроэнергии на селе

Как следует из приведённых данных, потребление электроэнергии на селе остаётся практически неизменным уже довольно длительный период. При этом наблюдается устойчивый рост потребления электроэнергии сельским населением и снижение электропотребления с/х производством.

В то же время затраты на оплату покупной электроэнергии на селе растут, и связано это, прежде всего, с непрерывным ростом тарифов на неё. При этом рост тарифов на электроэнергию почти вдвое превышает инфляцию и вместе с газом представляет «разгонный блок» инфляционных процессов в экономике государства (таблица 1.2) [91].

Таблица 1.2-

Динамика темпов прироста цен на электроэнергию, газ и индексов инфляции за 2001–2011 годы

| Года | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | Средняя |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| ЭЭН | 17,6 | 10 | 82,5 | 16,4 | 24,7 | 19,8 | 12,6 | 14 | 24,5 | 10 | 8,9 | 21,9 |
| Газ | 68,2 | 56,8 | 20,6 | 21,4 | 34,1 | 18,4 | 14,8 | 25,2 | 36,6 | 20 | 9 | 29,6 |
| Инфл. | 18,6 | 15,1 | 12 | 11,7 | 10,9 | 9 | 11,9 | 13,3 | 8,8 | 8,8 | 6,1 | 10,4 |

Не являются исключением и тарифы на энергоносители в сельских регионах. За период с 2008 по 2012 годы наблюдается неизменный рост тарифов на электроэнергию по Волгоградской области (рисунок 1.2).

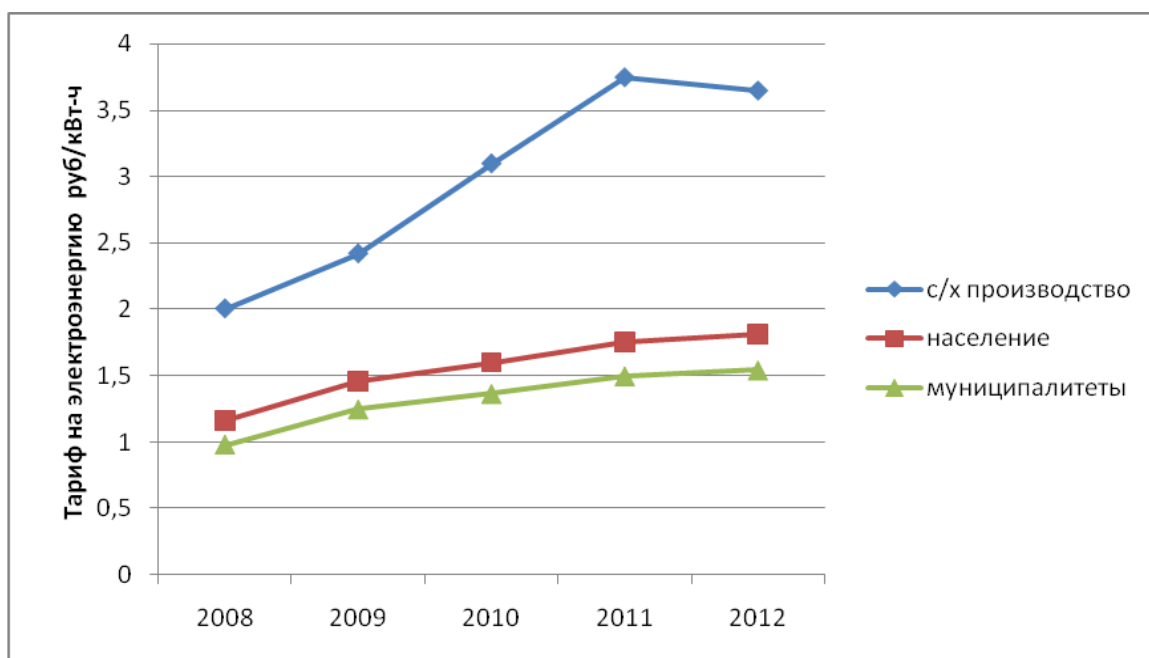


Рисунок 1.2 Динамика изменения тарифов на электроэнергию для сельского потребителя Волгоградской области

Установлено, что затраты на покупную электроэнергию непрерывно увеличиваются для всех групп сельских потребителей при практически неизменном потреблении электроэнергии.

1.2 Направления повышения энергоэффективности освещения в сельском хозяйстве

Энергетическая эффективность осветительного прибора в значительной степени зависит от установленного в нём источника света и состояния светотехнической арматуры светильника. Повышение энергетической эффективности осветительного прибора и, как следствие, обеспечение энергосбережения имеют ряд направлений [19,51,9,106].

Наиболее простой способ организации энергосбережения – это переход в уличном освещении от ламп накаливания и дуговых ртутных ламп (ДРЛ) на дуговые натриевые лампы типа ДНаТ и ДНаО. В результате такой замены средняя мощность одного светильника наружного освещения снижается более чем на 20%. При этом светоотдача остается на прежнем уровне или даже повышается. В сельском быту и в сельхозпроизводстве при проведении мероприятий по энергосбережению в светильниках общего освещения заменяют лампы накаливания на энергосберегающие.

Светотехнические характеристики различных источников света представлены в таблице 1.3 [9].

Таблица 1.3-

Светотехнические характеристики источников света

| Тип источника света | Средний срок службы, тыс. ч | Индекс цветопередачи, Ra | Световая отдача, лм/Вт | Удельная световая энергия, вырабатываемая за срок службы (среднее значение), млн. Вт·час |
|--|-----------------------------|--------------------------|------------------------|--|
| Лампы накаливания (ЛН) | 1 | 100 | 8-17 | 0,013 |
| Люминесцентные лампы (ЛЛ) | 10-20 | 57-92 | 48-104 | 1,140 |
| Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) | 5-15 | 80-85 | 65-87 | 0,780 |
| Дуговые ртутные лампы (ДРЛ) | 12-24 | 40-57 | 19-63 | 0,738 |
| Натриевые лампы высокого давления (НЛВД) | 10-28 | 21-60 | 66-150 | 2,050 |
| Металлогалогенные лампы (МГЛ) | 3,5-20 | 65-93 | 68-105 | 1,020 |

Выбор источника света обусловлен, прежде всего, требованиями экономичности осветительной установки и правильной цветопередачи. Затраты на

эксплуатацию того или иного источника света определяются его стоимостью и сроком службы (таблица 1.4).

Как следует из приведенной таблицы, существует значительный разброс в эксплуатационных характеристиках и ценах для различных источников света. Удельная стоимость не в полной мере отражает затраты потребителя на организацию освещения, поэтому для более точной оценки различных источников света в настоящей работе введён новый показатель – комплексный критерий, учитывающий затраты на покупную электроэнергию, затраты на обслуживание источников света и др. Кроме того, люминесцентные ртутные лампы представляют собой экологически опасный объект и их замена на металлогалогеновые лампы или светодиодные источники света существенно уменьшает эту опасность [64,68]. В таблице 1.4 приведены эксплуатационные характеристики современных источников света.

Таблица 1.4-

Эксплуатационные характеристики источников света

| Источники света | Потребляемая мощность, Вт | Создаваемый световой поток, лм | Парковый срок службы, час | Средняя цена, руб./шт. | Удельная стоимость, руб/лм |
|----------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|
| Светодиодная лампа | 7 | 950 | 50 000 | 400 | 0,421 |
| Лампа накаливания | 100 | 1080 | 1000 | 12 | 0,011 |
| Люминесцентная лампа | 40 | 3000 | 10 000 | 60 | 0.02 |
| ДРЛ | 125 | 6000 | 8 000 | 350 | 0,058 |
| ДНаТ | 100 | 9200 | 8 000 | 450 | 0,048 |

Быстрое развитие полупроводниковых технологий и оптоэлектроники привело к созданию приборов, в которых реализуются новые принципы генерации света на основе светоизлучающих диодов [126, 128, 129, 145].

В светодиодах происходит преобразование энергии инжектированных в базовую область электронно-дырочного перехода электронов в энергию светового излучения с высокой (теоретически до 400 лм/Вт) эффективностью преобразования электрической энергии в световое излучение [131, 144]. Прогноз изменения характеристик различных источников света в ближайшие годы приведен на рисунке 1.3 [11].

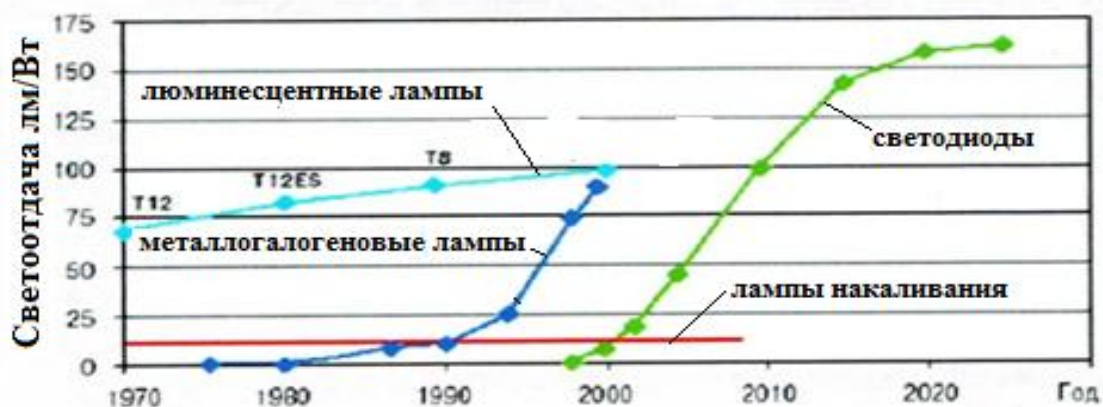


Рисунок 1.3 Прогноз изменения характеристик источников света

Появление столь эффективного источника света, как светодиод, приведёт в ближайшие годы к радикальному изменению ситуации в организации освещения на сельских территориях и в сельхозпроизводстве.

Часть сельхозпродукции производится в условиях регулируемого климата, в частности в теплицах, где помимо поддержания температурных режимов необходимо обеспечивать соответствующие условия для фотосинтеза. Фотосинтез является основой жизнедеятельности растений, в том числе и выращиваемых в искусственных климатических условиях.

Режимы освещённости растений, обеспечивающие процессы фотосинтеза, должны быть воспроизведены в теплице максимально приближенными к освещённости растений на открытом грунте. А это существенно энергозатратная электротехнология. Поэтому задача организации энергоэффективного освещения теплицы распадается на ряд самостоятельных составляющих, а именно:

1. Спектральный состав излучения тепличных источников света должен быть максимально приближен к спектру солнечного излучения.

2. Осветительные приборы должны потреблять минимальное количество электроэнергии, т.е. обладать наивысшей светоотдачей.

3. В осветительных сетях теплицы должно быть установлено оборудование, автоматически поддерживающее заданный режим освещения по времени суток с учётом фактической естественной освещённости теплицы.

Все указанные направления взаимосвязаны экономически и могут быть решены только в симбиозе аграрных и технических знаний. Существенно улучшить технико-экономические показатели систем освещения теплиц позволяет применение светодиодных источников света с заданным спектром излучения.

Спектральный состав светодиодных источников света разнообразен и целенаправленно может быть сформирован на стадии изготовления светодиода. Известно, что комплексное воздействие света на растения определяется спектральным диапазоном длин волн 280–750 нм. На рисунке 1.4 приведен график спектральной зависимости эффективности фотосинтеза от длины волны светового излучения [10].

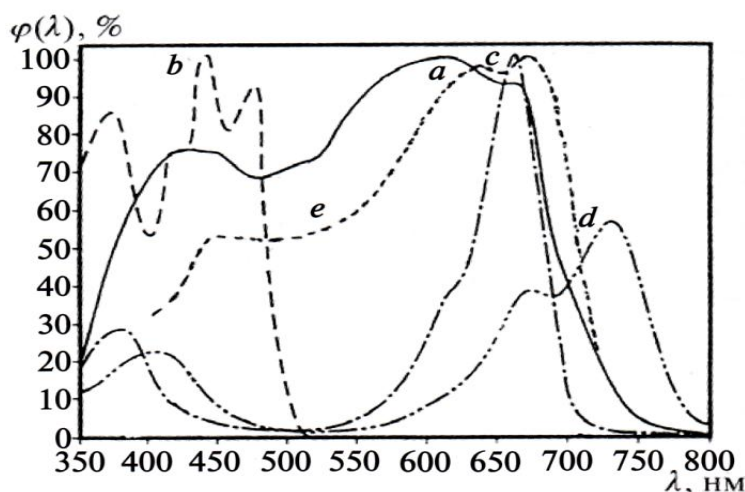


Рисунок 1.4 Относительные спектральные кривые воздействия оптического излучения на растения:

а – поглощение фоторецепторами растений; б – поглощение коротковолнового фотопигмента; с – поглощение красной формы фотохрома; d – поглощение дальней красной формы фотохрома; e – эффективность фотосинтеза растений

Светодиоды по своей физической природе – монохроматические источники света. Однако применяя сочетания светодиодов различных полупроводниковых систем и используя люминофоры, можно изготовить источник света заданного спектрального состава, включая и получение белого света [133,143].

Светодиодные источники красного света появились одними из первых в результате планомерных работ с полупроводниковыми соединениями типа АШВV. На основе системы GaAs создаются светодиоды инфракрасного диапазона оптического спектра с длиной волны излучения 870 нм. Светодиоды красного свечения видимой части оптического спектра изготавливают на основе полупроводниковых соединений AsP/GaAs. Система AlInGaP/GaAs позволяет выполнять светодиоды яркого свечения в красном (626 нм), оранжевом (610) и жёлтом(590) спектральных диапазонах.

Светодиодные источники зелёного свечения изготавливают на основе GaN структур с гомогенным р-п переходом, в частности структура InGaN/GaN позволяет создать светодиодный источник света зелёного свечения, обладающий высокой яркостью [130]. Светодиодные источники света голубой и синей части спектра оптического диапазона создаются на базе твёрдых растворов In-GaN. Спектры излучения наиболее распространённых полупроводниковых светодиодных систем приведены на рисунке 1.5 [116].

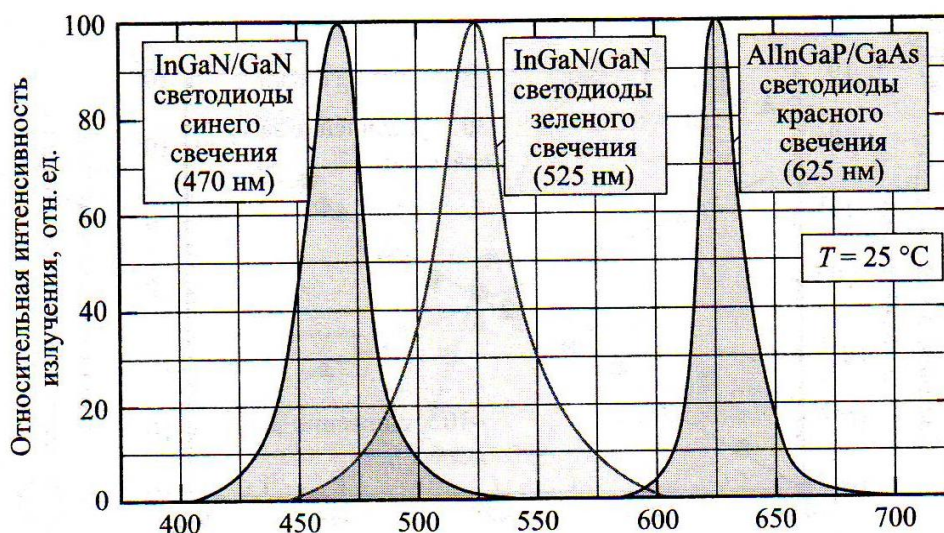


Рисунок 1.5 Спектры излучения светодиодов красного, зелёного и синего свечения на основе гетероструктур материалов АШВV

Таким образом, оперируя различными полупроводниковыми структурами, можно создать монокристалльный светодиод практически любого спектра излучения. Однако такие сложные технологии не всегда приводят к созданию светодиодов низкой стоимости. Целесообразнее получать заданный спектр излучения комбинацией дешевых монохроматических светодиодов в конструкции самого светильника, предназначенного для обеспечения требуемой светоккультуры выращиваемых в теплице растений.

Примером светодиодов для аграрного применения могут служить мощные светодиоды компании LED Engin в 1-, 4-, 12- и 24-кристальном исполнении. Наряду с мощными светодиодами белого цвета (холодный, нейтральный, теплый) LED Engin предлагает светодиоды красного, «глубокого» красного (Deep Red) и «далекого» красного (Far Red – экстремально красный, граница видимого спектра между красным и инфракрасным), зеленого, синего и янтарного цветов, а также специальные светодиоды Dental Blue и ультрафиолетовые (365 нм и 400 нм) светодиоды (рисунок 1.6).

Конструктивное исполнение комбинированных источников света выполняется, как правило, формированием светодиодов разных спектров излучения в одном корпусе.



Рисунок 1.6 Светодиоды компании LED Engin

| | |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| Количество кристаллов | 24 или 25 (в зависимости от типа) |
| Размер (Д×Ш×В), мм | 12,0 × 12,0 × 6,7 |
| Номинальный рабочий ток, мА | 700 |
| Максимальный ток, мА | 1200 |
| Тепловое сопротивление, °С/Вт | 0,6 |

Однако при большом наборе монохроматических светодиодов создание и тем более управление такой полупроводниковой структурой затруднено. Поэтому разработчики всё чаще обращаются к оптическим системам с удалённым люминофором по аналогии с люминесцентными лампами.

В то же время в светодиодных лампах удалённый люминофор можно имплантировать в мягкие силиконовые оболочки. Пример конструктивного исполнения такой светодиодной лампы показан на рисунке 1.7.

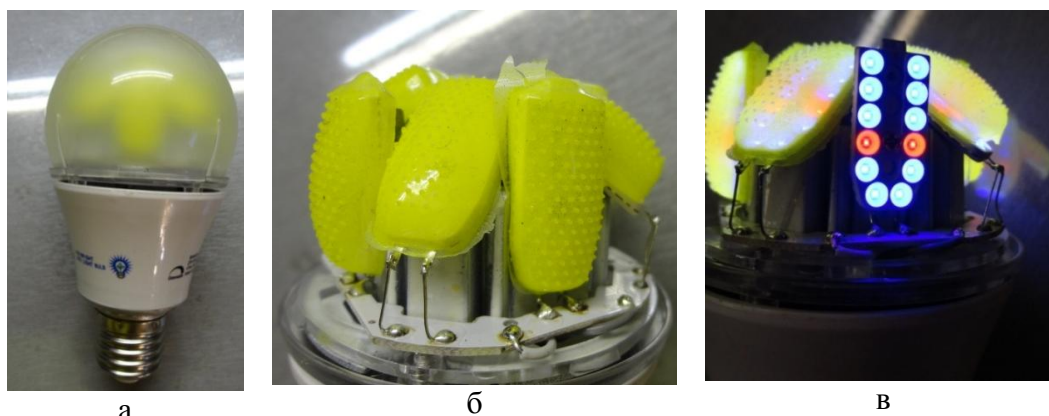


Рисунок 1.7 Светодиодная лампа с удалённым люминофором:

а – общий вид светодиодной лампы с удалённым люминофором; б – оболочки удалённого люминофора одеты; в – свечение группы монохроматических светодиодов со снятой оболочкой

Таким образом, используя современные технологии, можно создать светильник для тепличного освещения практически любого спектра излучения с уровнем светоотдачи в 80–100 люменов на ватт, что позволит снизить потребление электроэнергии теплицей в 2–3 раза по сравнению с используемыми сейчас металлогалогеновыми лампами дугового разряда [14].

Пример использования светодиодного светильника со специальным спектром излучения приведен на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 Светодиодный светильник для теплиц УСС БИО
и пример его применения

Наметившиеся тенденции расширения применения светодиодов коснутся также и уличного освещения на селе. Так, страны Юго-Восточной Азии уже поставляют на потребительский рынок первые светодиодные лампы для целей бытового освещения, где недостаточная сила света единичного светодиода компенсируется комбинацией нескольких десятков светодиодов в одной конструкции. Уже созданы светодиодные прожекторы на GOB светодиодах, создающие световой поток в 13 300 лм и более [42,64,101].

Другим важным элементом наружного освещения является система управления освещением. В современных системах освещения сельскохозяйственных производств наиболее перспективным является установка ящиков управления освещением типа ЯУО 6030. Он содержит, помимо элементов защиты и приборов учета, фотоэлектрические датчики «день – ночь» и таймер режима включения. Датчики «день – ночь» включают освещение только в темное время суток, а таймер позволяет задавать время работы системы освещения по графику включения (например, по времени дойки коров или по графику освещения теплиц). Это позволяет максимально экономично расходовать покупную электроэнергию и обеспечивать режимные графики освещения растений, исходя из условий фотосинтеза [89,118].

1.3 Перспективы использования возобновляемых источников энергии для питания систем освещения на селе

Ряд зарубежных и отечественных производителей начали планомерное завоевание рынка светильников уличного освещения поставками новейших высокоэкономичных светодиодных уличных светильников. Однако такие светильники также должны подключаться к электрической сети с оплатой, расходуемой на освещение электроэнергии.

Как указывалось ранее, большую часть затрат на уличное освещение составляют расходы на покупную сетевую электроэнергию и на профилактическое обслуживание и ремонт электросети уличной системы освещения.

Электроснабжение рассматриваемых осветительных приборов осуществляется от невозобновляемых источников энергии через промышленные питающие электрические сети. Схема построения электрических сетей современных систем наружного освещения включает в себя КТП 10/0,4 кВ, вводно-распределительный шкаф (ВРШ) наружного освещения, кабельную распределительную и воздушную групповую линии. Электрические сети уличного освещения выполняются на напряжение 220/380В трехфазного переменного тока частоты 50 Гц. Используется система TNС с глухозаземленной нейтралью. В состав сетей уличного освещения входит значительное количество оборудования и материалов. Все это включается в статьи затрат на строительство системы уличного освещения.

В главе 4 приведен расчет экономических показателей применения классических систем освещения, который свидетельствует о том, что установка системы электроснабжения освещения от промышленной энергосистемы составляет 90% капитальных затрат на всю систему освещения.

При оценке эффективности затрат на мероприятия по энергосбережению подсчитано, что при повышении тарифа на электроэнергию в три раза экономические преимущества светильника класса АА, подключаемого к сети с покупной электроэнергией, нивелируются. В то же время высокий уровень светоотдачи

светодиодов позволяет создать конструкции энергонезависимых светильников для сельской местности, в которых электроснабжение может быть обеспечено другими способами [35, 39, 40].

Повышение энергетической и экономической эффективности осветительных приборов, по мнению значительной части научно-технической общественности, видится в полном отказе от использования покупной сетевой электроэнергии в системах освещения и переходе на питание от возобновляемых источников энергии [15,21, 24].

Задача снижения затрат на уличное освещение за счет отказа от присоединения уличных светильников к промышленной электросети частично уже решалась. Так, были изобретены и уже поставляются на рынок уличные светильники с питанием от солнечной энергии, в которых имеются панели солнечных батарей, аккумуляторы, накапливающие электрическую энергию днем и выдающие ее в темное время суток.

Недостатком такой конструкции являлась необходимость иметь установленную мощность солнечных батарей в 3–4 раза большую мощности источника света и столь же большую ёмкость аккумуляторов. Это определяется тем, что время генерирования электроэнергии солнечной батареей для средней полосы России составляет около 2000 часов в год, а время работы уличного светильника в темное время суток (с учетом рассветных и закатных сумерек)– около 4000 часов. Недостающее время работы компенсируется повышением мощности генерации и аккумуляирования, что приводит к увеличению массы и габаритов уличного светильника, а соответственно и его стоимости.

Примером практического использования в уличном освещении возобновляемых источников энергии является светодиодная лампа на солнечной батарее MHL-06 FX, выпускаемая корпорацией DURALED .

В Объединенных Арабских Эмиратах в Dubai Internet City установлены два пилотных уличных светильника с питанием от солнечной энергии. Число солнечных дней в точке установки составляет 356 в году. Если результаты испытаний пилотных моделей окажутся положительными, повсеместное внедре-

ние «солнечных» светильников будет проводиться в рамках правительственной программы перехода на альтернативные источники энергии .

Поскольку светодиодные светильники, как правило, имеют малую мощность потребления электрической энергии, их автономное питание чаще всего производится от солнечных батарей. Однако это не может обеспечить надёжного освещения в северных широтах, так как здесь имеются периоды времени от нескольких дней до месяцев, когда солнца нет, а значит, отсутствует подпитка аккумуляторов новыми порциями электроэнергии. С целью увеличения режима электрогенерации и доведения его до 5 000 часов в год и более различными исследователями разработаны ветросолнечные осветительные устройства и светильники (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 Внешний вид ветросолнечных осветительных устройств

Известный европейский концерн Philips разработал адаптивные уличные светильники нового поколения (рисунок 1.10). Эти фонари могут работать автономно и менять интенсивность освещения. Они называются цветком и внешне его напоминают. Источниками света в Light Blossom являются светодиоды, которые автоматически включаются, как только на улице темнеет .



Рисунок 1.10 Светильники наружного освещения с использованием ВИЭ

Если рядом с Light Blossom никого нет, то он работает в экономном режиме, излучая минимум света. При появлении человека интенсивность освещения увеличивается. Светильники оснащены солнечными батареями, которые используются для накопления энергии. Когда солнца нет, положение лепестков Light Blossom изменяется и светильник превращается в ветрогенератор. Положение лепестков Light Blossom меняется автоматически, в зависимости от времени суток и погоды.

Польская компания Elgo Lighting Industries S.A. производит установку Elgo Sunwind. В ней для получения электроэнергии используются ветрогенератор с диаметром ветрового колеса 1,38 м, дающий номинальную мощность 300 Вт, а также солнечная батарея с максимальной мощностью 130 Вт. Минимальная скорость ветра составляет 2,5 м/с, номинальная – 10 м/с, максимальная – 50 м/с. Электроэнергия накапливается гелиевым аккумулятором емкостью 120 А·ч высота мачты – 7,2 м. (рисунок 1.11).

Большинство из рассмотренных светильников обеспечивает при высоте подвеса 6,5 метров уровень освещенности поверхности в ждущем режиме 0,5 люкс (что соответствует нормативным требованиям на аварийное освещение), и 10 люкс в режиме полного включения (что обеспечивает нормативные требования на освещение тротуаров и дорог категории Б, В и сельских дорог).



Рисунок 1.11 Ветросолнечная осветительная установка Elgo Sunwind

Особое значение для сельской местности имеет охранное освещение с питанием от промышленной электросети. Охранное наружное освещение предусматривается при наличии ограждения периметра машино-тракторного парка, скотного двора, свинокомплекса или зернотока. Для него нормируется горизонтальная освещенность 0,5 лк или такая же освещенность с внутренней стороны вертикальной плоскости ограждения. Электрические групповые сети охранного освещения выполняют кабельными или воздушными линиями, опоры светильников совмещают со стойками ограждений. Питание осуществляется от ВРУ ближайших к периметру зданий. Как правило, это затратные системы освещения, что связано с их резервированием для повышения надёжности. В то же время охранное освещение могло бы быть запитано полностью от автономных источников, а также в нём могли бы использоваться светодиодные источники света, энергоэффективные современные генераторы и накопители энергии [56, 59, 69].

1.4 Энергетический потенциал окружающей среды

Солнечная радиация – гигантский возобновляемый источник энергии на Земле. Годовое количество поступающей на Землю солнечной энергии составляет $1,05 \cdot 10^{18}$ кВт·ч [94]. Плотность потока солнечной энергии у верхней границы атмосферы на поверхность, расположенную перпендикулярно направлению солнечных лучей, составляет 1353 Вт/м^2 и называется солнечной инсоляцией – J . Так как Земля вращается вокруг Солнца по эллиптической орбите, величина солнечной энергии поступающей на землю изменяется на 7% в течение года: от 4710 до 5036 кДж/(ч·м²) [115]. Поток солнечного излучения представлен всем спектром электромагнитных волн. Наибольшая плотность потока солнечного излучения, поступающего на Землю, находится в диапазоне $0,3 \div 2,5$ мкм. Тепловое излучение поверхности Земли находится в диапазоне длин волн $5 \div 25$ мкм (рисунок 1.12) [110].

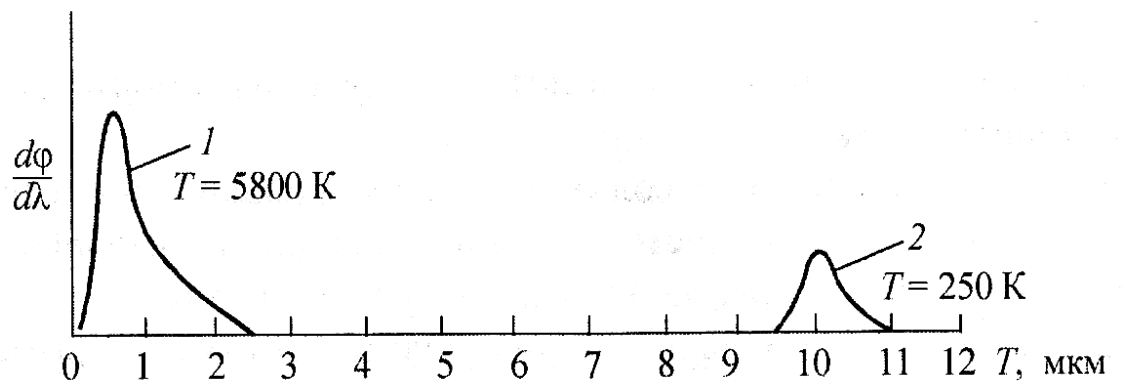


Рисунок 1.12 Спектральное распределение коротковолнового излучения Солнца (кривая 1) и длинноволнового излучения Земли (кривая 2)

Спектральное излучение Солнца (кривая 1) подобно распределению интенсивности излучения абсолютно чёрного тела при $T = 5800 \text{ К}$. Солнечный спектр, доходящий до верхних слоёв атмосферы, можно разделить на три основные области:

- ультрафиолетовое излучение ($\lambda < 0,4 \text{ мкм}$) – 9%;
- видимое излучение ($0,4 \leq \lambda \leq 0,7 \text{ мкм}$) – 45%;

- инфракрасное излучение ($\lambda > 0,7$ мкм) – 46%.

При прохождении солнечного коротковолнового излучения через атмосферу имеют место различные виды взаимодействия: поглощение, рассеяние, отражение. Суммарное действие всех этих факторов приводит к тому, что фактически измеренная максимальная инсоляция для средней полосы России составляет 900 Вт/м², которая и будет использоваться нами в теоретических расчётах. Солнечная инсоляция сильно изменяется от одной точки земной поверхности к другой. Степи Астрахани получают значительно больше света, чем территория Санкт-Петербурга (таблица 1.5).

Таблица 1.5-

Годовая инсоляция одного квадратного метра горизонтальной площадки

| Город | Годовая инсоляция, МВт |
|-----------------|------------------------|
| Архангельск | 0.85 |
| Екатеринбург | 1.1 |
| Москва | 1.01 |
| Новосибирск | 1.14 |
| Омск | 1.26 |
| Санкт-Петербург | 0.93 |
| Астрахань | 1.38 |
| Волгоград | 1,21 |
| Ростов-на-Дону | 1.29 |

При нахождении величины инсоляции какого-либо района необходимо учитывать несколько факторов:

- влияние времени года, обуславливающее более низкую освещенность и долготу дня зимой;
- характер местности, освещаемой Солнцем (наличие загораживающих солнце деталей рельефа);
- местные погодные условия (облачность, туман, дождь);

- длительность солнечного облучения, т.к. солнечные лучи, падающие на освещаемую поверхность под очень малым углом, малопригодны для использования.

Россия обладает также значительными ветроэнергетическими ресурсами. Ветроэнергетический потенциал Волгоградской области может быть оценен по результатам многолетних наблюдений метеостанциями, которые для наглядности сведены в одну карту (рисунок 1.13) [84].

Волгоградская область расположена на юго-востоке Русской равнины, вдали от океанов и морей. Поэтому климат области континентальный, с холодной, малоснежной зимой и продолжительным жарким, сухим летом. Весна короткая, осень теплая и ясная.

Летом наблюдается приток воздушных масс с Атлантического океана. Пройдя над разогретой поверхностью Русской равнины, они иссушаются, нагреваются и почти не умеряют жару. С Атлантического океана и Средиземного моря приходят циклоны. Чаще они бывают зимой, поэтому погода в этот период более изменчива. Летом часто вторгаются сухие, горячие массы воздуха из Казахстана, тогда воцаряется жара до $39-45^{\circ}$. В течение месяца колебания температур могут составлять $30-32^{\circ}$, а в течение года – $70-80^{\circ}$.

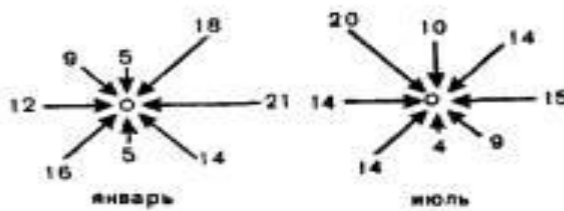
В июле суточные колебания могут достигать $11-12^{\circ}$. В Заволжье в течение года выпадает всего 270–300 мм осадков, на северо-западе – 400–500 мм. Количество осадков колеблется по годам. Например, в засушливом 2010 г. в Волгограде их выпало 124 мм, а во влажном 1915 г. – 715 мм. Как следует из приведённых данных по оцениваемым населённым пунктам России, солнечная энергия дает от 800 до 1300 кВт· час энергии на один квадратный метр горизонтальной поверхности.

Ниже будет показана принципиальная возможность использования солнечной и ветровой энергии для питания осветительных приборов на сельских территориях Нижнего Поволжья.

КЛИМАТИЧЕСКАЯ КАРТА



ВОЛГОГРАД



Длина стрелки соответствует повторяемости данного направления ветра в процентах от общего числа наблюдений без штилей

Масштаб 1 мм = 2%

УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ

ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА (в °С)

ПРЕОБЛАДАЮЩЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ ВЕТРА

— — — — — Изотермы января

====+20==== Изотермы июля

-38 Абсолютный минимум температуры

+40 Абсолютный максимум температуры

➔ в январе

➡ в июле

ГОДОВОЕ КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ (в мм)



менее 300 350 400 450 более

Рисунок 1.13 Климатическая карта Волгоградской области

1.5 Постановка задачи исследования

Актуальность и необходимость проведения дальнейших изысканий в данном направлении не вызывает сомнений, об этом свидетельствует значительный интерес, проявляемый к этому вопросу как в научных кругах, так и среди фирм-производителей светотехники [97,122, 123,125,138]. Поэтому количество исследований в этой области, безусловно, будет расти и увеличится объём практического использования приборов наружного освещения нового поколения при постоянном поиске оптимальных соотношений стоимости сооружения, минимизации затрат на эксплуатацию и высокого уровня потребительских свойств системы освещения согласно вышеприведённым критериям [26,41,73,98,114].

На пути к созданию высокоэффективного осветительного прибора всё еще остается множество неясных процессов и нерешённых задач, несмотря на большое количество научных исследований и публикаций по отдельным вопросам и попытки построения обобщенных методов решения этой проблемы [17, 83, 120,139,140].

Не менее актуальным является проведение новых экспериментальных исследований, направленных на создание современных конструкций осветительных приборов, с применением инновационных технологий [28, 29, 45, 99,105, 133, 141].

В то же время в рассмотренных конструкциях автономных светильников энергетический потенциал окружающей среды, по нашему мнению, используется недостаточно эффективно [103,104,107, 108, 134,137], что сказывается на надежности работы системы освещения. Данная проблема приводит к тому, что автономные системы освещения не получают широкого распространения.

Решением описанных проблем является создание такого автономного осветительного прибора, в котором использовались бы высокоэффективные источники света с обеспечением их электроснабжения от солнечной и ветровой энергии.

Выводы по главе

1. На основе полученных данных потребления электрической энергии сельхозпотребителями Волгоградской области, установлен непрерывный рост финансовых затрат сельских потребителей электроэнергии при практически неизменном электропотреблении, что обосновывает необходимость поиска новых технологий в осветительной технике в сельском хозяйстве без применения покупной электроэнергии.

2. В результате анализа литературных источников выявлено, что светодиодное освещение позволяет выполнить осветительные устройства по всему спектру видимого света, включая задачи фотосинтеза растений. При этом осветительные приборы на светодиодах существенно энергоэффективней по сравнению с широко распространёнными на селе другими источниками света.

3. Установлено, что использование в полной мере доступной на обширных открытых сельских территориях энергии солнца и ветра способно обеспечить надежную работу систем освещения в круглосуточном и круглогодичном графике их работы.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАРУЖНОГО ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ С АВТОНОМНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ПИТАНИЯ

2.1 Принцип построения автономного уличного светильника

В основу принципа построения предлагаемого осветительного прибора – автономного уличного светильника аэробарического типа – положена концепция создания в одном корпусе устройства, включающего в себя солнечную электрогенерирующую установку, ветровую электрогенерирующую установку, накопитель электрической энергии, светильник со светодиодными источниками света и электронную систему управления режимом работы уличного освещения (Приложение1)[5]. Фактически предложен автономный осветительный энергокомплекс, последовательного преобразования различных энергий (автономный уличный светильник), не требующий внешнего электроснабжения (рисунок 2.1).

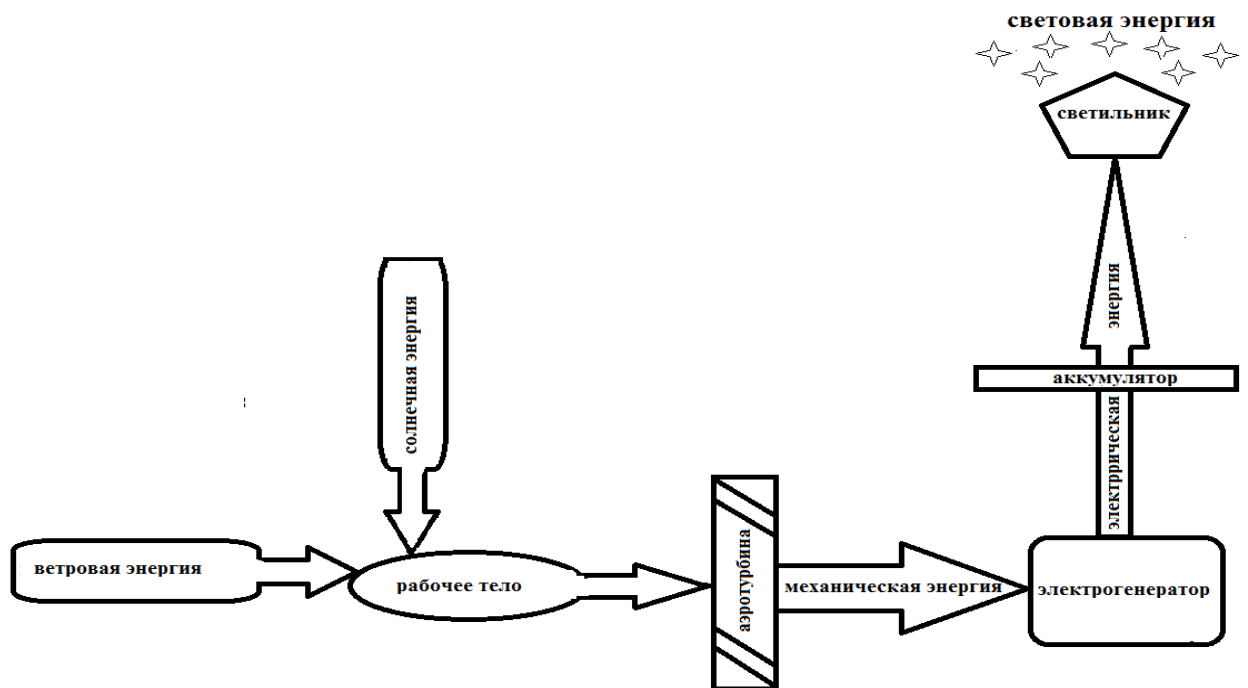


Рисунок 2.1 Последовательность энергетических процессов, происходящих в автономном уличном светильнике аэробарического типа

Этим предложением решена одна из актуальных проблем на селе: отказ от покупной электроэнергии для целей наружного освещения улиц хуторов, деревень, центральных усадеб, а также зернотоков, животноводческих комплексов, площадок хранения сельхозтехники и др. [36].

Важным требованием к уличному светильнику для сельской территории является возможность его изготовления из общедоступных, серийно выпускаемых промышленностью материалов, деталей и узлов. Таким образом, вторым преимуществом предлагаемой конструкции уличного светильника является доступность деталей, что обеспечивает низкую конечную стоимость изделия.

Третье преимущество предлагаемой конструкции уличного светильника – повышенная вандалоустойчивость изделия, препятствующая повреждению светильника посторонними лицами из хулиганских побуждений, что позволяет устанавливать уличный светильник на неохраемых обширных сельских территориях, часто удалённых на большие расстояния от органов охраны правопорядка. Задача решена высоким капотированием и защитой основных узлов прочными стальными стенками, не повреждаемыми даже выстрелами из охотничьего ружья.

В предложенном устройстве для целей преобразования лучистой солнечной энергии и кинетической энергии ветра в электрическую форму используется один и тот же агрегат – аэровакуумный турбогенератор (аэротурбогенератор)– турбомашина, по имеющимся у нас сведениям, ранее никогда не применявшаяся для целей освещения. Аэротурбогенератор, установленный в аэробарическом участке автономного осветительного прибора, может генерировать электроэнергию либо только под действием солнечного излучения, либо только под действием ветра, а также при их совместном комбинированном действии в солнечный и ветреный день (суховей).

Достигается это путём воздействия солнечной и ветровой энергии на промежуточный энергоноситель – воздух во внутренней полости трубчатой

опоры светильника, который и является рабочим телом, приводящим в действие аэротурбогенератор (рисунок 2.2).

Воздействие на промежуточный энергоноситель солнечной энергии осуществляется путём нагрева стенки «тёплого ящика» трубчатого аэробарического участка солнечным излучением. В результате теплообменных процессов между стенкой и воздухом, находящимся внутри трубы, последний разогревается, его плотность уменьшается и возникает самотяга воздушного потока со скоростью, зависящей от степени нагрева стенки [81].

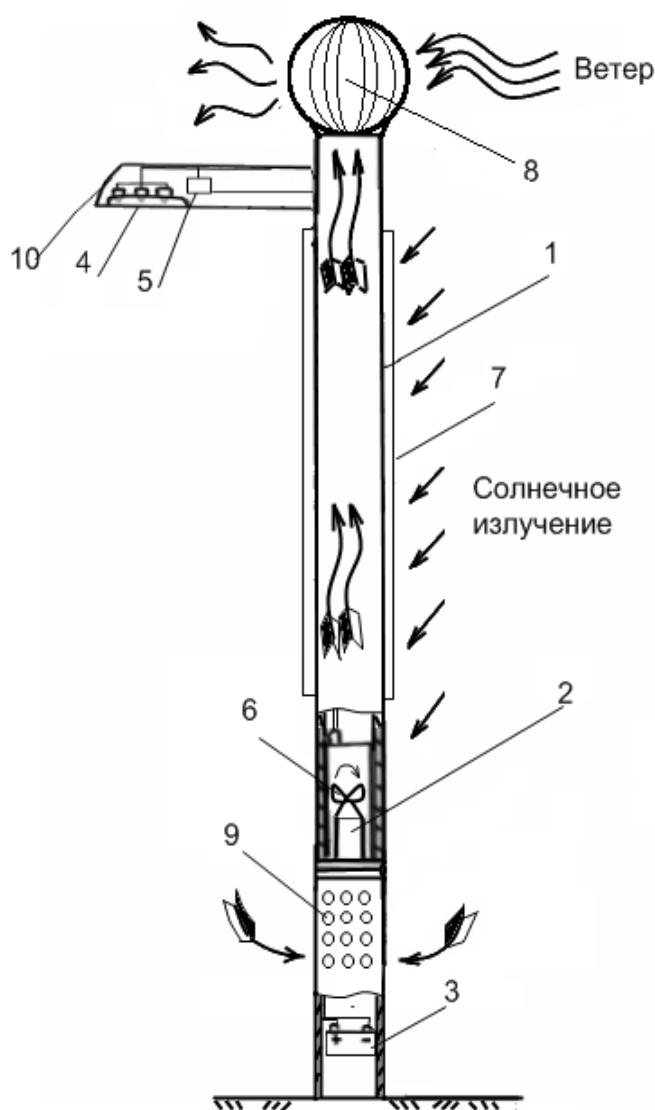


Рисунок 2.2 Автономный уличный светильник

Восходящий от самотяги поток воздуха приводит во вращение аэротурбогенератор, который вырабатывает электроэнергию. Электроэнергия запасается

в аккумуляторе, от аккумулятора получает питание светильник. Воздействие на промежуточный энергоноситель ветровой энергии осуществляется путём создания разряжения активным дефлектором, установленным в верхней части трубчатого аэробарического участка. В результате возникшего в дефлекторе под напором наружного ветрового потока разряжения находящийся внутри трубы воздух приходит в движение в виде восходящего от нижнего конца аэробарического участка к верхнему концу. Восходящий поток воздуха приводит во вращение аэротурбогенератор, который вырабатывает электроэнергию, направляемую далее в аккумулятор электрической энергии. Развиваемая аэротурбогенератором электрическая мощность зависит от скорости восходящего потока воздуха внутри аэробарического участка, а скорость восходящего потока воздуха зависит, в свою очередь, от создаваемого ветром разряжения в дефлекторе [50, 52].

Конструктивно автономный уличный светильник состоит из трубчатой опоры 1, внутри которой образуется аэробарический участок с расположенным в нижней части электрогенератором 2 и аккумулятором электрической энергии 3. В верхней части опоры установлена светодиодная панель 4 и блок управления освещением 5, содержащий датчик освещённости, датчик движения и акустический датчик. Аэротурбогенератор состоит из двух узлов: типового электрогенератора 2 и аэровакуумной реактивной турбины 6, жёстко установленной на его валу. Так как аэровакуумная турбина развивает до 2000 об/мин, то установка редуктора между турбиной 6 и электрогенератором 2 не требуется, что существенно упрощает и удешевляет всё устройство.

Наружная стенка опоры выполнена в виде “теплого ящика” 7, остекленного прозрачным поликарбонатом. Наружная стенка опоры, являющаяся лучепоглощающей поверхностью и для эффективного поглощения солнечного излучения, зачернена селективным покрытием из чёрного хрома. В верхней части опора оснащена активным дефлектором 8 для использования энергии ветра. Ниже аэротурбогенератора в опоре имеются отверстия 9 для входа наружного

воздуха. Светодиодная матрица 4 и блок управления освещением 5 установлены и закреплены в прочной стальной антивандальной консоли 10.

В солнечную погоду за счёт прогревания стенки «тёплого ящика» 7 аэробарического участка в нём возникает самотяга, воздушный поток внутри полрой опоры получает восходящее движение, подсасывая наружный воздух через отверстия 9. При движении восходящий потока воздуха вращает аэровакуумную турбину 6 и она приводит во вращение электрогенератор 2, вырабатывающий электроэнергию. Когда дует ветер (вне зависимости днём или ночью), в дефлекторе 8 возникает разряжение, что приводит к высасыванию воздуха из внутренней полости опоры 1. Высасываемый воздух создаёт восходящий поток, который при движении вращает аэровакуумную турбину 6, и она приводит во вращение генератор 2. Генератор вырабатывает электроэнергию и заряжает ёю аккумулятор 3.

Днём блок управления освещением 5 отключен от питания датчиком освещённости (фотореле «день» – «ночь»). В ночное время датчик освещённости подключает питание на блок управления освещением 5 и при приближении пешехода датчик движения блока управления освещением 5 включает светодиодную матрицу 4, которая вспыхивает и освещает окружающее пространство. По мере удаления пешехода датчик движения выключает питание светодиодной матрицы. В ночное время при приближении автотранспорта акустический датчик блока управления освещением 5 также включает светодиодную матрицу 4. По мере удаления автомобиля акустический датчик выключает питание светодиодной матрицы 4. С наступлением рассвета датчик освещённости полностью отключает питание блока управления освещением 5 и светодиодная матрица гаснет вне зависимости от наличия вблизи пешеходов и автотранспорта, так как она постоянно находится при достаточной освещённости в выключенном состоянии. Этим достигается значительная экономия электроэнергии, затрачиваемой на освещение, что снижает потребную генерирующую мощность и ёмкость аккумуляторов [37].

Принципиальная электрическая схема автономного уличного светильника приведена на рисунке 2.3. Электроэнергия вырабатывается электрогенератором G1 на номинальном напряжении 6 В постоянного тока. Ток через контроллер заряда аккумулятора поступает на зарядку аккумулятора GB1.

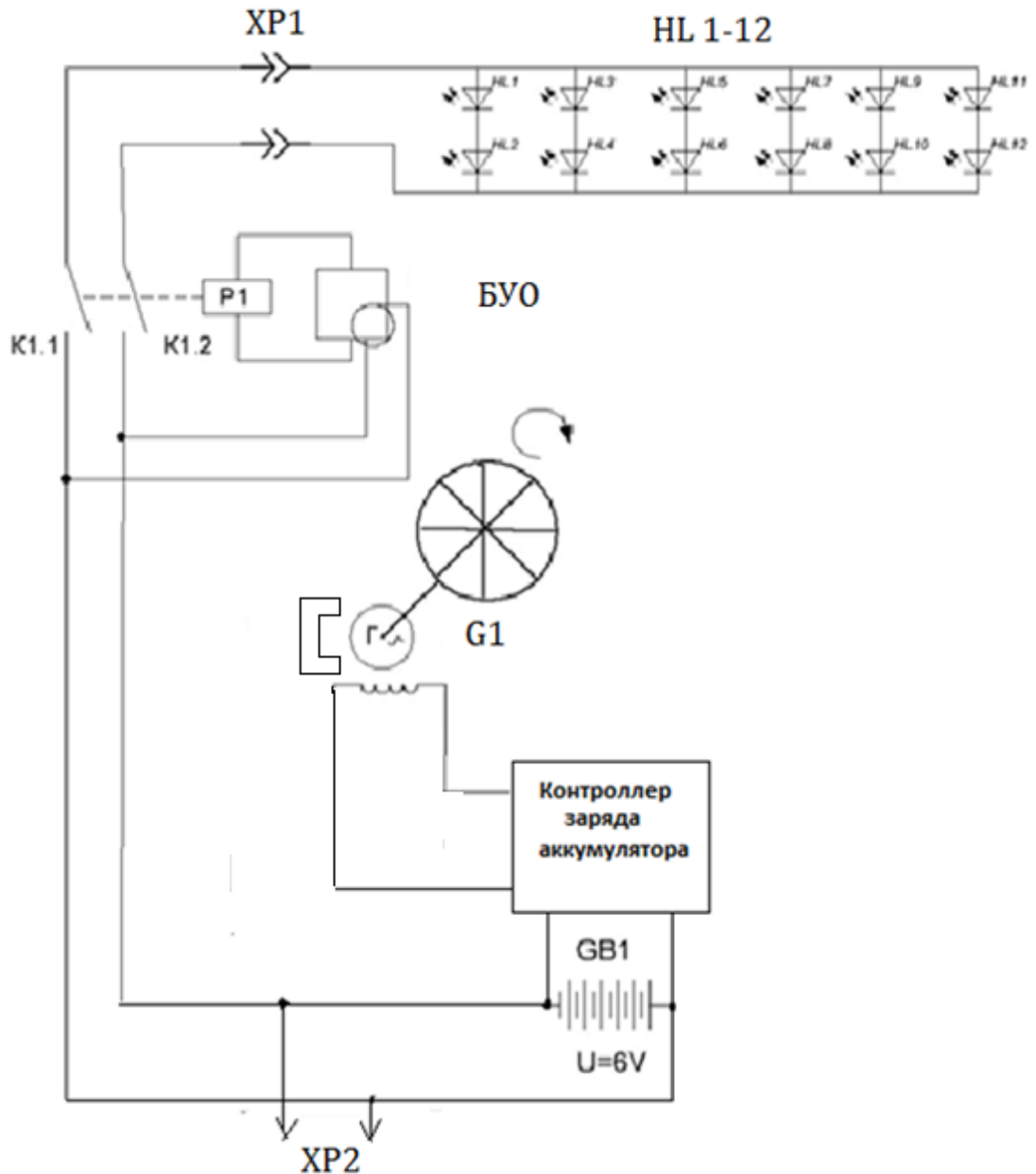


Рисунок 2.3 Электрическая схема уличного светильника

Контроллер позволяет точно выдерживать номинальный режим заряда аккумулятора. Если аккумулятор полностью заряжен, то электропитание от ге-

нератора через блок управления освещением (БУО) подаётся прямо на светодиодный светильник. Светодиодная матрица светильника HL1-HL12 работает при номинальном напряжении постоянного тока 6В, при токе 3А, что соответствует потребляемой мощности 18Вт. Если генератор не вырабатывает электроэнергию, то питание на светильник подаётся непосредственно от аккумулятора. БУО включает в себя четыре режимных устройства: фотореле «день» – «ночь», разрешающее включение светильника только в тёмное время суток; акустический датчик, включающий светильник при приближении автомобиля на расстояние 120 – 150 м; датчик движения, включающий светильник при приближении пешехода на расстояние 10 – 12 м, а также таймер выдержки света во включённом состоянии, настроенный на время выдержки 8 - 10 секунд. По истечении этого времени светильник гаснет, расход электроэнергии прекращается. Штепсельный разъём ХР2 позволяет подключить к электросети светильника стороннего потребителя (шуруповёрт, машинку для стрижки овец, переносной светильник и др.) соответствующего номинального напряжения.

Такое сочетание управляющих воздействий способствует рациональному расходованию выработанной и запасённой в аккумуляторе электроэнергии, обеспечив круглосуточную, круглогодичную работу системы наружного освещения при любых климатических условиях.

2.2 Оценка ожидаемой выработки электроэнергии на солнечном электрогенерирующем преобразователе уличного светильника

В основу расчёта потока солнечной энергии принята традиционная схема движения солнца по небосводу, показанная на рисунке 2.4. За расчётную точку поверхности Земли принята точка А. Она характеризуется соответствующими углами относительно центра Земли -широтой местности φ , часовым углом ω , и склонением солнца δ [116].

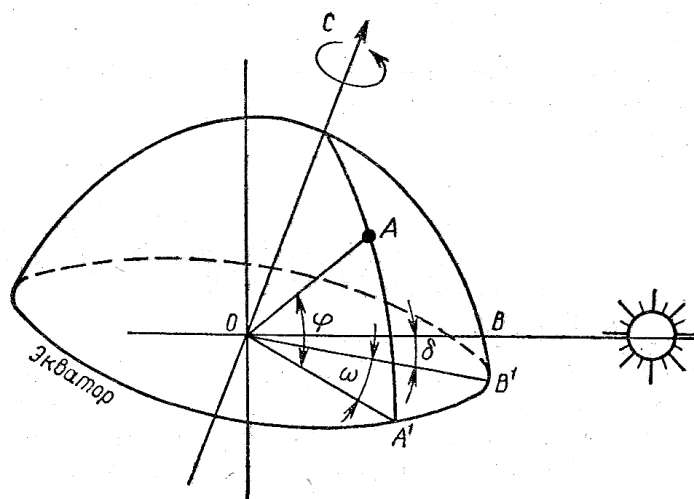


Рисунок 2.4 Схема движения Солнца по небосводу

Для оценки этой точки относительно Солнца используют угол α (угол высоты Солнца), z – зенитарный угол Солнца, a – азимут Солнца, которые показаны на рисунке 2.5. Азимут поверхности a измеряется как угол между нормалью к поверхности и направлением на юг ($\alpha + z = 90^\circ$).

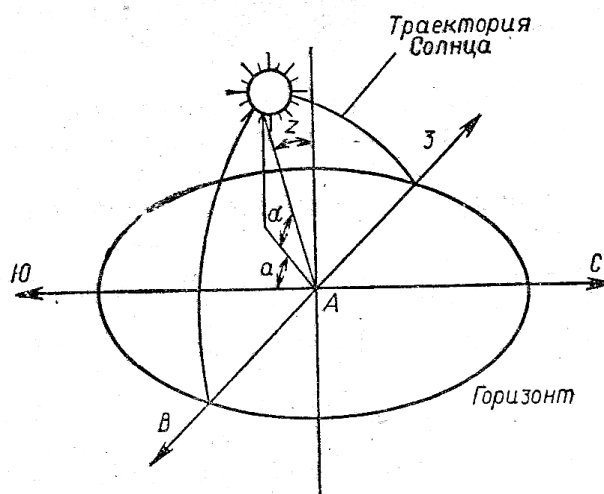


Рисунок 2.5 Схема положения точки А на земной поверхности относительно солнечных лучей

Если отсутствуют метеоданные по приходу солнечной энергии в точке установки осветительного прибора, то по данным соседних метеорологических станций можно найти средние значения продолжительности солнечного сияния

τ_{ci} для каждого месяца и произвести расчет ежемесячной действительной суммы прихода солнечной энергии \mathcal{E}_i по известной формуле А.Ангстрема [12]:

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{0i} \cdot \left[a_i + b_i \cdot \frac{\tau_{Ci}}{\tau_{0i}} \right], \quad (2.1)$$

где a_i, b_i – эмпирические коэффициенты ($a_i + b_i = 1$), зависят от рассматриваемой местности в точке расчётов;

τ_{0i} – астрономическая возможная продолжительность солнечного сияния для данной местности в течение i -го месяца, ч/мес.;

τ_{Ci} – эмпирическая продолжительность солнечного сияния для данной местности в течение i -го месяца, ч/мес.;

\mathcal{E}_{0i} – возможный среднемесячный приход солнечной энергии на m^2 поверхности в i -тый месяц при безоблачном небе:

$$\mathcal{E}_{0i} = J_0 \cdot \cos i \cdot \tau_{0i}, \quad (2.2)$$

J_0 – мощность солнечного излучения в рассматриваемой точке, Вт/м²;

i – угол падения солнечных лучей на произвольно ориентированную лучепоглощающую поверхность, град.

Угол падения солнечных лучей на поверхность, имеющую азимут a и угол наклона к горизонту β , определяется по известной формуле [116]:

$$\cos i = \sin \beta \cdot [\cos \delta (\sin \varphi \cdot \cos a \cdot \cos \omega + \sin a \cdot \sin \omega) - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos a] + \cos \beta \cdot (\cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin \varphi), \quad (2.3)$$

где φ – широта местности, град;

δ – склонение солнца, град;

a – азимут цилиндрической поверхности светильника, град;

ω – часовой угол солнца, град.

Продолжительность светового дня от восхода верхнего края Солнца до его захода с учетом рефракции рассчитывается по формуле:

$$\cos t = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \cdot \sin dt}{\cos \varphi \cdot \cos dt}, \quad (2.4)$$

где t – часовой угол восхода (захода) Солнца, град;

δ – склонение Солнца, принимает значения от $+23^{\circ}27'$ до $-23^{\circ}27'$:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (2.5)$$

Здесь n – порядковый номер дня, отсчитываемый от 1 января.

$$dt = p - R - r_0 \text{ (мин.)}, \quad (2.6)$$

где p – параллакс Солнца, мин.;

R – радиус диска Солнца, мин.;

r_0 – горизонтальная рефракция, мин.

Угол склонения становится равным нулю два раза в год в дни весеннего и осеннего равноденствия.

Схема расчётных углов для разрабатываемой конструкции лучепоглощающей поверхности аэробарического участка ветросолнечного уличного светильника приведена на рисунке 2.6.

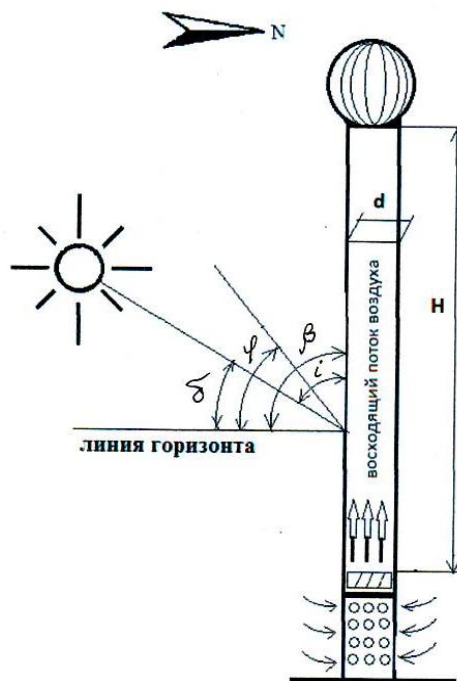


Рисунок 2.6 Схема углов, принятых в расчётах аэробарического участка

Вероятность λ того, что рассматриваемый час будет солнечным, вычисляется выражением:

$$\lambda = \frac{\tau_c}{\tau_D}, \quad (2.7)$$

где

τ_c – действительное время солнечного сияния, час/год;

τ_D – дневное время в год, час/год.

В процессе суточного, помесячного и годового движения Солнца по небосклону происходит изменение угла падения лучей Солнца на лучепоглощающую поверхность аэробарического участка. Как указывалось выше, угол падения солнечных лучей на произвольно ориентированную поверхность, имеющую азимут a_{Π} и угол наклона к горизонту β , определяются по формуле (2.3). Исходя из рисунка 2.6, угол падения лучей i на вертикальную поверхность аэробарического участка (при $\beta=90^\circ$) вычисляется по формуле:

$$\cos i = \cos \delta \cdot (\sin \varphi \cdot \cos a_{\Pi} \cdot \cos \omega + \sin a \cdot \sin \omega) - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos a. \quad (2.8)$$

Так как мидель цилиндрического аэробарического участка всегда ориентирован на юг, $a = 0$, поэтому выражение (2.5) принимает вид:

$$\cos i = \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - \sin \delta \cdot \cos \varphi. \quad (2.9)$$

Учитывая, что λ , мощность солнечного излучения в рассматриваемой точке J_0 и широта местности φ задаются исходя из природно-климатических условий в точке установки светильника, получим выражение для определения ожидаемой выработки электроэнергии $\mathcal{E}_{солн}$ на солнечный преобразователь автономного светильника:

$$\mathcal{E}_{солн} = J_0 \cdot \lambda \cdot \tau \cdot H \cdot d \cdot \eta \cdot (\cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - \sin \delta \cdot \cos \varphi), \quad (2.10)$$

где H – высота аэробарического участка, м;

d – внешний диаметр лучепоглощающей поверхности, м

τ – продолжительность расчетного дня, час.

η – коэффициент полезного действия преобразователя.

2.3 Оценка ожидаемой выработки электроэнергии на ветрогенерирующем преобразователе уличного светильника

Мощность, которую развивает ветрогенератор, определяется скоростью ветра, а также площадью ометания (т.е. площадью геометрической фигуры, которую «описывают» вращающиеся лопасти ветроколеса). В установившемся режиме мощность не зависит от количества лопастей. Мощность идеального ветрогенератора вычисляется по формуле:

$$P_B = 0,5 \cdot \rho \cdot S_0 \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_g \cdot \eta_b, \quad (2.11)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

S_0 – площадь ометания ветроколеса, м²;

v – скорость ветра, м/с;

C_p – безразмерный коэффициент использования энергии ветра (зависит от конструкции ветроколеса);

η_g, η_b – коэффициент полезного действия электрогенератора и мультипликатора соответственно.

Изменения скорости ветрового потока в произвольной точке с достаточной точностью могут быть описаны с помощью функции распределения Вейбулла $-p(v)$, имеющей два параметра – формы k и единиц измерения c (рисунок 2.7) [110].



Рисунок 2.7 Функция распределения вероятностей Вейбулла при значении параметра распределения $k = 2$ для различных скоростей

Вероятность того, что скорость ветра в течение любого периода времени будет находиться на уровне v , представлена в виде следующего выражения:

$$p(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \text{ при } 0 < v < \infty, \quad (2.12)$$

где p – единица изменения параметра, час/год;

v – величина скорости ветра м/сек;

k – параметр распределения;

c – параметр единиц измерения, равный среднегодовой скорости ветра.

Вероятность того, что скорость ветра будет находиться в пределах от нуля до бесконечности в течение рассматриваемого периода, равна 1:

$$\int_0^{\infty} p(v) dv = 1. \quad (2.13)$$

При рассмотрении периода времени 1 год необходимо функцию вероятности выражать в часах. Единицей измерения параметра p будет являться час в год. В этом случае интеграл (2.13) принимает значение 8760 часов. При этом, значения среднемесячных скоростей ветра \bar{v} для каждой территории хорошо известны за длительные (20 и более лет) периоды наблюдений, поскольку они являются нормативной величиной статистической отчётности метеостанций России.

Так как уличный светильник имеет относительно малые габариты по сравнению с ветроагрегатами промышленного назначения, то в нём могут быть использованы ветронаправляющие устройства для управления набегающим воздушным потоком (конфузоры, диффузоры, активные дефлекторы). Скорость ветра для трогания ветроколеса при использовании таких устройств относительно мала (не более 2м/сек), а максимально эффективная 20м/сек. Коэффициент использования энергии ветропотока C_p может достигать 40% ($C_p=0,4$). Исходя из вышеприведённого, продолжительность диапазона рабочих скоростей $\tau_{ветер}$ ветрогенерации в точке установки светильника для расчётного периода T будет равна:

$$\tau_{ветр} = T \int_0^{20} p(v) dv. \quad (2.14)$$

Используя (2.11 и 2.14), получим выражение для расчёта годовой выработки электроэнергии $\mathcal{E}_{ветр}$ ветрогенерацией:

$$\mathcal{E}_{ветр} = C_p \cdot P_B \cdot \tau_{ветр} \cdot F, \quad (2.15)$$

где F – площадь, ометаемая ветроколесом, м².

2.4 Разработка математической модели расчёта конструктивных параметров автономного уличного светильника

Для разработки математической модели составляется расчётная схема ветросолнечного автономного осветительного прибор (рисунок 2.8).

Учитывается, что ветросолнечный автономный уличный светильник работает циклически.

Первый цикл – работа в тёмное время суток, когда светодиодная матрица светильника потребляет необходимую мощность и освещает прилегающую территорию. Работа по первому циклу возможна при двух режимах:

- 1) светильник питается напрямую от азротурбогенератора;
- 2) светильник питается от аккумулятора – когда ветровой поток недостаточен, а солнечное излучение отсутствует (безветренная ночь).

Второй цикл – работа в светлое время суток, когда накапливается энергия по одному из 3-х режимов: 1) солнечная генерация заряжает аккумулятор (ветер отсутствует); 2) ветрогенерация заряжает аккумулятор (когда солнечного излучения недостаточно); 3) режим зарядки аккумулятора от комбинированного воздействия солнечного излучения и ветра.

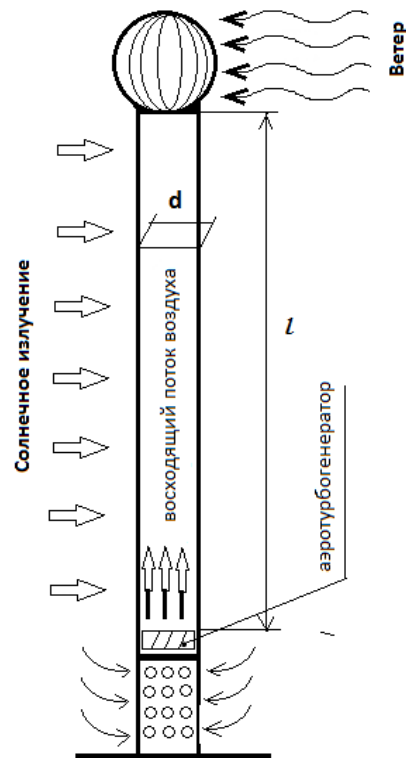


Рисунок 2.8 Расчётная схема ветросолнечного автономного уличного осветительного прибора:

d – диаметр аэробарического участка; l – полная длина аэробарического участка

Эти циклы повторяются ежесуточно, а переход от режима к режиму осуществляется системой управления автоматически в соответствии со структурной схемой (рисунок 2.9).

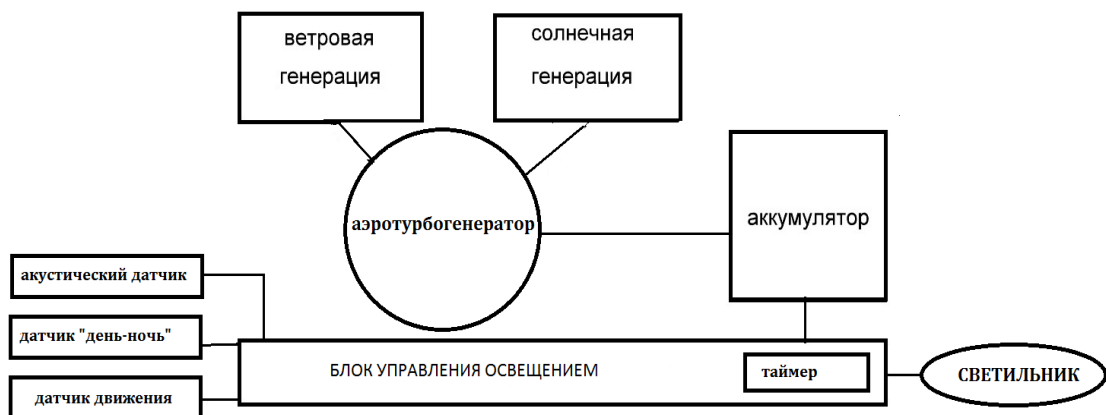


Рисунок 2.9 Структурная схема ветросолнечного автономного осветительного прибора

Для обоснования возможности работы светильника необходимо определить требуемую мощность светильника и доказать, что в габаритах, представленных на рисунке 2.2, можно создать достаточную мощность электрогенерации и накопления электроэнергии автономного ветросолнечного осветительного прибора.

Для конкретизации результатов принимаются условия окружающей среды Саратовской и Волгоградской областей.

Мощность светильника P_{CB} рассчитывается по методу удельной мощности w усредненному значению удельной мощности, получающейся при применении наиболее рациональных источников света:

$$P_{CB} = w \cdot F_0, \quad (2.16)$$

где w – удельная приведённая мощность системы освещения Вт/м²;

F_0 – освещаемая площадь, м².

В справочных данных учитываются характеристики w устаревших источников света. Для светодиодных светильников будем исходить из нормируемой освещённости улиц и дорог сельских поселений 2–10 лк. Как установлено экспериментами в пределах данной работы (глава 3), светодиодная матрица обеспечивает заданную нормируемую освещённость при потребляемой мощности 20 Вт на высоте подвеса 6,5 м.

Для быстрой оптимизации диаметра и высоты аэробарического участка в зависимости от точки установки ветросолнечного уличного светильника была разработана математическая модель процессов, происходящих в аэробарическом участке. Основой модели расчёта электрогенерации с использованием аэробарического эффекта стала его схема, представленная на рисунке 2.8. В данной модели полагается, что возникновение аэробарического эффекта – восходящего потока воздуха – происходит либо отдельно за счёт прогрева стенок опоры и появления самотяги в трубчатой полости опоры, либо за счёт разряжения, создаваемого дефлектором под действием напора ветра, а также совместным действием нагрева стенок и разряжения, создаваемого дефлектором. Полная система уравнений, описывающая процессы, происходящие в аэ-

робарическом участке, должна состоять из уравнений для расчёта нагрева воздуха во внутренней части участка через стенку «тёплого ящика» солнечным излучением; уравнения, описывающего образование самотяги под действием температурного напора; выражения для расчёта скорости восходящего потока воздуха, возникающего под действием разряжения, создаваемого дефлектором; уравнения, определяющего скорость воздушного потока при комбинированном действии температурного напора и разряжения; уравнения, описывающего процесс преобразования энергии восходящего воздушного потока в механическую и затем в электрическую энергию.

Аналитические выражения, описывающие комплекс этих процессов, чрезвычайно сложны и не решены в полной мере до настоящего времени, даже по отдельности. Процессы, происходящие в аэробарическом участке, с достаточной для практических целей точностью могут быть описаны системой эмпирических выражений, общепринятых в теории тепломассопереноса [109].

Используя указанные соотношения для упрощения расчёта ожидаемой электрогенерации, принимаются следующие допущения:

- 1) температурный напор вычисляется, задавая перепад температур ΔT нижнего и верхнего торца аэробарического участка;
- 2) плотность воздуха ρ принимается усредненной по перепаду температур;
- 3) высоту аэробарического участка H , диаметр d , местные сопротивления ζ задаются исходя из его конструкции.

Мощность участвующая в работе аэробарического участка под действием ветра и солнечного излучения, описывается выражением:

$$P_{ГЕН} = C_p \cdot \rho_n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{8} \cdot \sqrt{\frac{1,8 \cdot \omega_B^2 + 16 \cdot H \cdot (\rho_n - \rho_6)}{1,2 + \Sigma \xi + 0,02k}}^3, \quad (2.17)$$

где C_p – степень использования энергии воздушного потока;

ω_B – скорость ветра, м/с;

H – высота аэробарического участка, м;

ρ_H, ρ_B – плотность воздуха в нижней и верхней частях аэробарического участка соответственно, кг/м³;

$\Sigma\xi$ – сумма коэффициентов местного сопротивления;

k – отношение длины аэробарического участка к его диаметру;

d – диаметр аэробарического участка, м.

При выборе высоты аэробарического участка следует руководствоваться нормами проектирования опор освещения. Минимальная высота подвеса светильника для сельской местности составляет 6,5 м. Необходимо обеспечение освещенности поверхности $E=10$ лк. Измерения силы света разработанного светильника (глава 3 раздел 3.6) показали, что угол рассеяния $\theta/2$ составляет 30°, а сила света I одного светодиода мощностью 1 Вт составляет 30 кд. Основываясь на приведенных исходных данных необходимо рассчитать оптимальные габариты аэробарического участка при различных средних скоростях ветра и солнечного излучения в точке его установки.

Расчетная схема телесного угла осветительного прибора приведена на рисунке 2.10.

Рассчитывается радиус телесного угла r :

$$r = \frac{H}{\cos \theta/2} \quad (2.18)$$

Определяется необходимая сила света для обеспечения нормативной освещенности в пределах основания телесного угла:

$$I = E \cdot r^2 = E \cdot \frac{H^2}{\cos^2 \theta/2} \quad (2.19)$$

Подставив вводные значения, получаем, что мощность, требуемая для питания светодиодной матрицы при высоте точки подвеса светильника заданных параметров 6,5 метров, составляет 18,78 Вт.

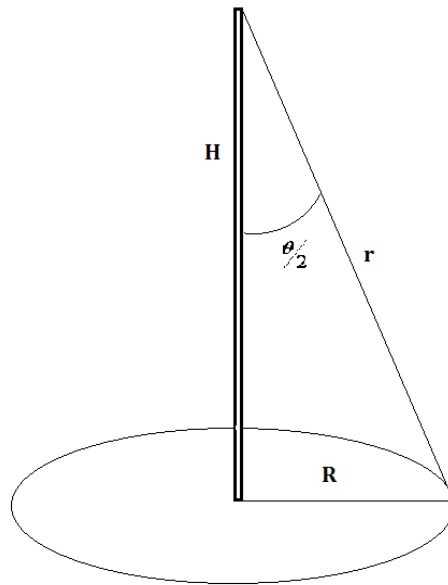


Рисунок 2.10 Расчётная схема телесного угла осветительного прибора

Для определения оптимальных габаритов аэробарического участка необходимо, задавая различные значения средней скорости ветра, рассчитать минимальный диаметр участка, достаточный для выработки 18,78 Вт. Результаты расчета представлены на графике (рисунке 2.11).

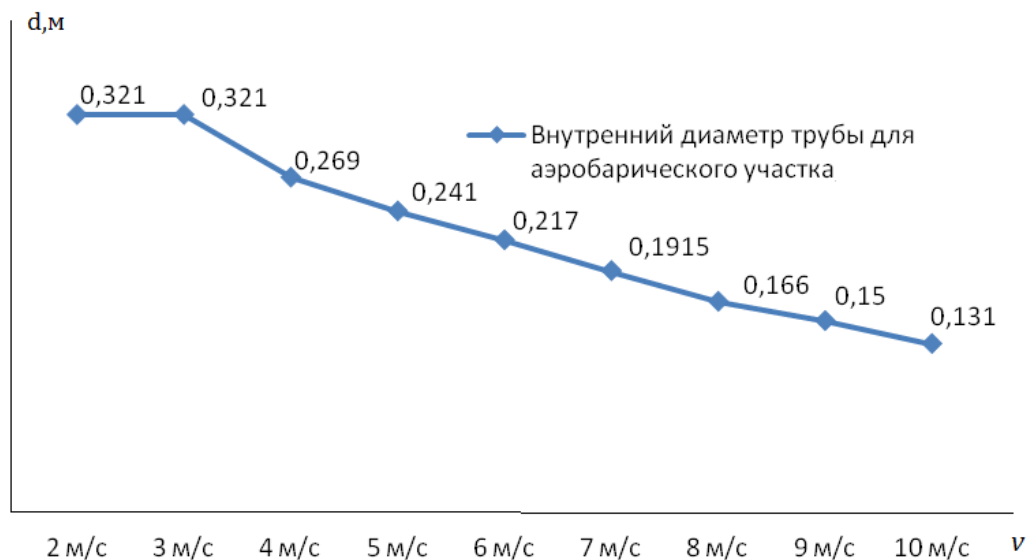


Рисунок 2.11 Оптимальные значения диаметра аэродинамического участка оптимизированной высоты 6,5 метров

Таким образом, располагая среднегодовой скоростью ветра в точке установки осветительного прибора, полученной из близлежащей метеостанции, используя приведенный график, получен оптимальный диаметр аэробарического участка.

Используя выражение (2.17) становится возможным получить простые номограммы для графического расчёта всех размеров аэробарического участка по заранее известным среднегодовым скоростям ветра ω_B для среднего перепада температур ΔT по высоте участка (рисунок 2.12).

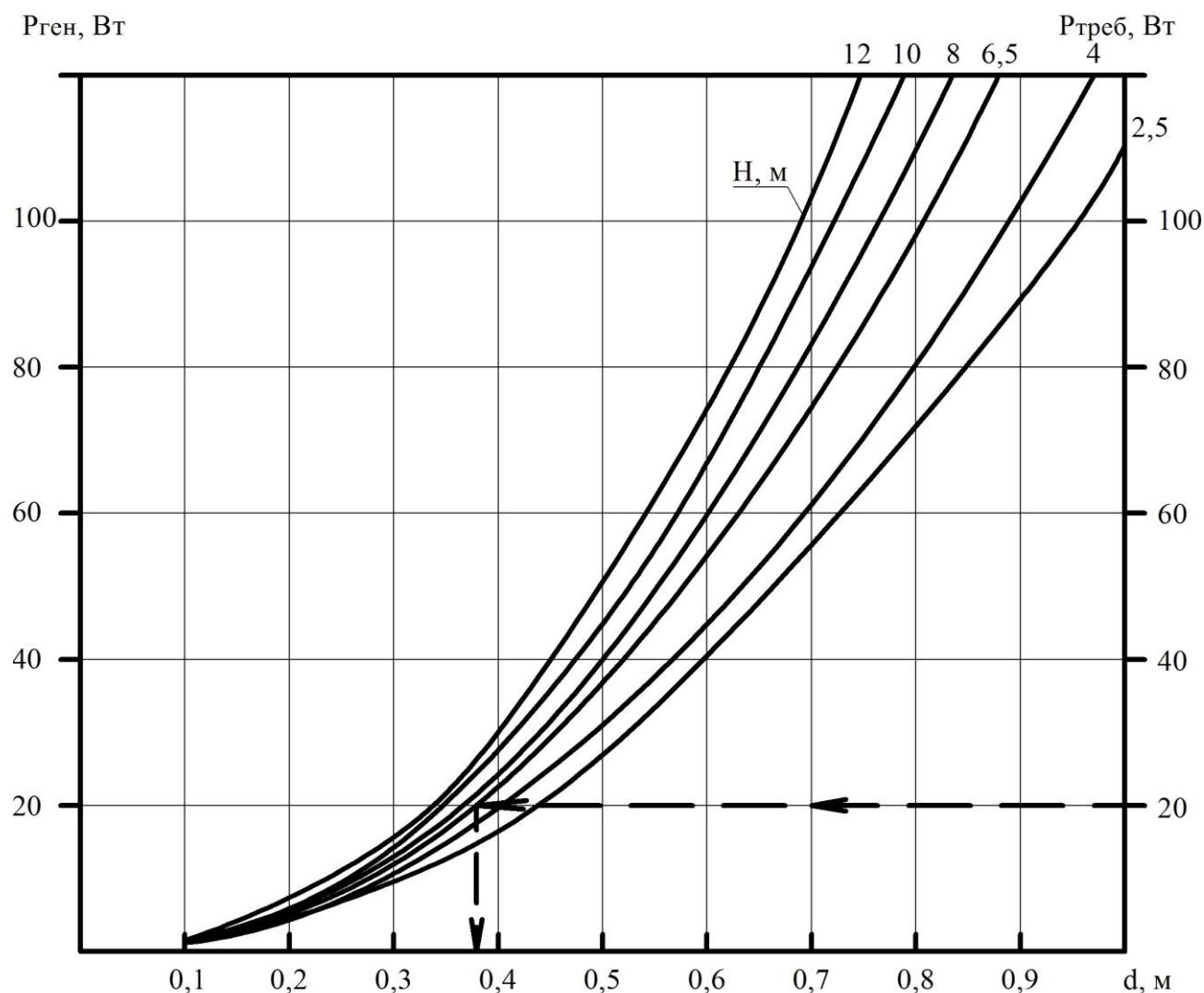


Рисунок 2.12 Номограмма для расчёта геометрических размеров аэробарического участка по заданной требуемой мощности светодиодной матрицы

На рисунке приведены кривые генерируемой мощности $P_{\text{ген}}$ аэровакуумным турбогенератором установленным в аэробарическом участке в зависи-

мости от меняющейся его высоты и диаметра. Штрихпунктирной линией приведен пример расчёта геометрии аэробарического участка при потребляемой мощности светодиодной матрицы светильника 20 Вт. Перемещаясь от шкалы $P_{\text{треб}}$, Вт до пересечения с кривой генерируемой мощности для высоты аэробарического участка 6,5 м, находим точку (o) от которой опускаемся до пересечения с осью x и получаем значение диаметра аэробарического участка 0,37 м. Таким образом для питания светодиодного светильника потребляемой мощностью 20 Вт, требуется принять диаметр участка 0,37 м.

Для проведения оптимизационных расчётов в широком диапазоне скоростей ветра и перепада температур и обеспечения автоматизированных программных расчётов на ЭВМ режимов работы автономного уличного светильника по рассмотренной выше математической модели возможно применение следующего алгоритма:

1. Задать краевые условия по скорости ветра, солнечному излучению, диаметру и длине аэробарического участка.
2. Задать расчётный шаг итерации перепада температур, скорости ветра, диаметру и высоте аэробарического участка, а также по потребляемой мощности светодиодной матрицы.
3. Выполнить шаг решения уравнений по всему диапазону ветра при фиксированных первой итерацией значениях перепада температур, диаметра и высоты аэробарического участка для фиксированной потребляемой мощности светодиодной матрицы.
4. Полученные значения мощности генерации вывести в виде первой точки пространственного графика баланса мощностей.
5. Вернуться в п. 3, задав второе значение итерации перепада температур, и повторить шаг вычисления, пройдя весь ряд значений перепада температур.
6. После прохождения всех значений перепада температур вернуться в п. 3 и задать следующий шаг итерации диаметра аэробарического участка, провести расчёты для всех значений диаметров.

7. После прохождения всех значений диаметров вернуться в п. 3 и перейти ко второму шагу итерации по потребляемой мощности светодиодной матрицы, повторяя расчёты для всего диапазона мощностей матрицы.

8. После построения пространственных графиков баланса энергий для всех значений диаметров аэробарического участка и потребляемой мощности светодиодной матрицы расчёт завершить (рисунок 2.13).

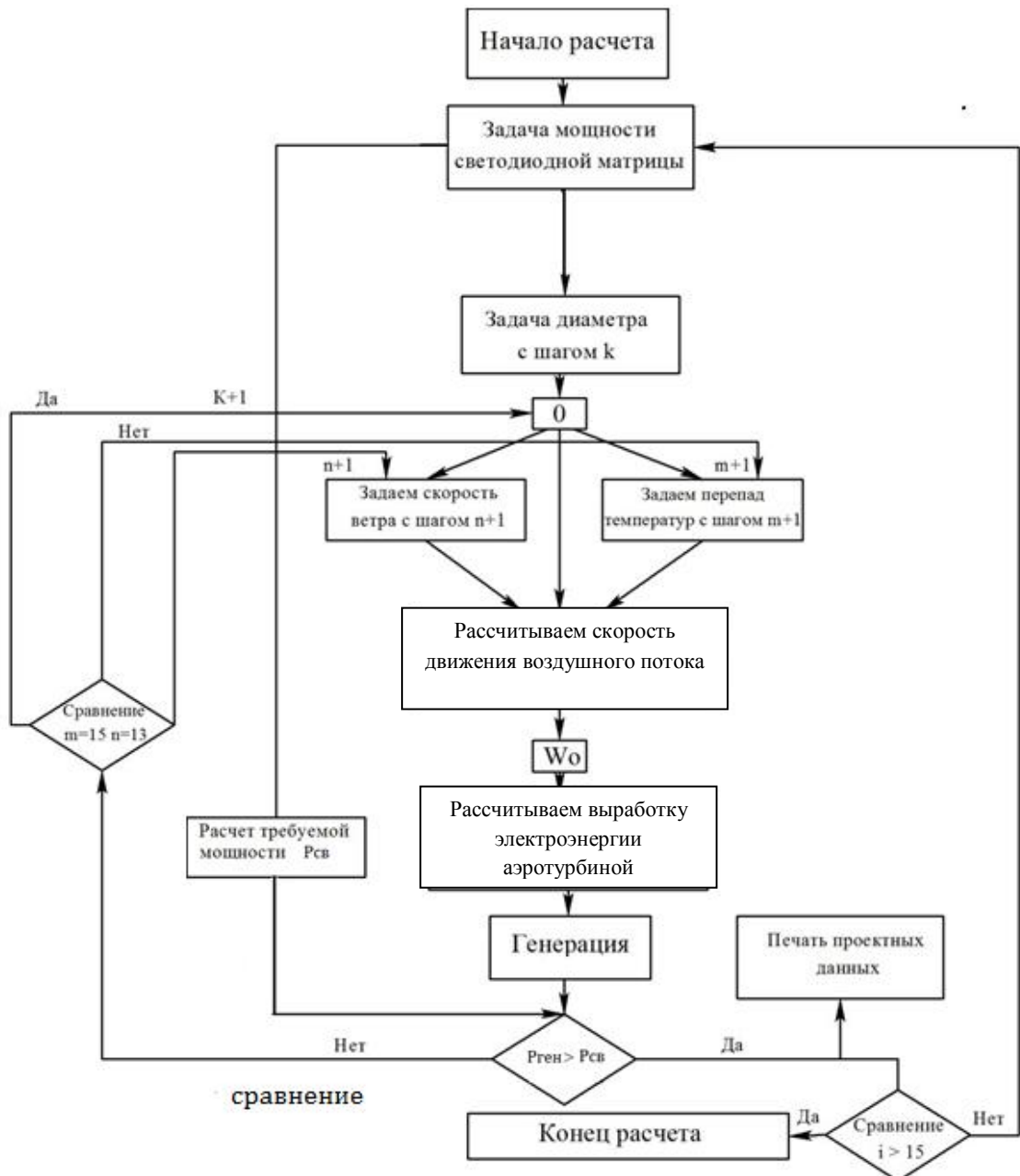


Рисунок 2.13 Алгоритм расчёта математической модели

По приведенному алгоритму в среде «Mathcad» была разработана компьютерная программа расчёта аэробарического участка (Приложение2) [96]. Программа состоит из десяти блоков. Первая группа блоков формирует исходные данные для расчетов, а именно:

Блок 1. Расчёт потребного количества электроэнергии на освещение:

Мощность светодиодной матрицы $P_{св}$, а следовательно и потребляемая мощность светильника задаётся по таблице (таблица 2.1).

Заданное значение $P_{св}$ передаётся на сравнение в блок 8.

Блоки 2–4 составляют группу блоков исходных данных.

Таблица 2.1- Расчётная мощность светодиодной матрицы

| i | Порядковый номер «i»шага оптимизационного расчёта | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| $P_{св}, Вт$ | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |

Блок 2. Конструктивные размеры аэробарического участка

Длина аэробарического участка от центра входной решётки до среза патрубка дефлектора = 6,5 м.

Протяжённость обогреваемого участка «тёплого ящика» $H = 6м$.

Диаметр d внутренней полости аэробарического участка является величиной переменной, задаваемой в процессе оптимизационного расчёта по таблице 2.2.

Таблица 2.2- Типоразмеры труб

| k | Порядковый номер шага «k» оптимизационного расчёта | | | | |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $d, м$ | 0,098 | 0,215 | 0,319 | 0,422 | 0,515 |

Материал труб – сталь марки Ст.3 со следующими теплофизическими характеристиками:

Коэффициент теплопроводности $\lambda = 45 Вт/м \cdot К$.

Удельная плотность $\rho = 7830 кг/м^3$.

Теплоемкость $C = 0.5 кДж/кг \cdot К$.

Селективное покрытие чёрным хромом:

- поглощательная способность в диапазоне солнечного излучения: $\alpha = 0,87$;
- излучательная способность в диапазоне инфракрасного излучения: $\epsilon = 0,1$;
- коэффициент шероховатости внутренней стенки трубы: $a = 0,02$.

Блок 3. Расчётная скорость ветра. Энергия ветра обеспечивается скоростным напором воздуха. В расчётах принимаются теплофизические характеристики воздуха при нормальных условиях, а именно:

удельная плотность воздуха $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$;

удельная теплоёмкость $C_p = 1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$;

теплопроводность $\lambda = 0,026 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$;

кинематическая вязкость $\nu = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$.

Расчётная скорость ветра ω_B в диапазоне допустимых рабочих скоростей конструкции 0–28 м/с для оптимизационных расчётов задаётся таблично с шагом 2 м/с (таблица 2.3).

Таблица 2.3- Расчётная скорость ветра

| | Порядковый номер «n» шага оптимизационного расчёта | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| $\omega_B \text{ м/с}$ | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 |

Блок 4. Расчётный перепад температур ΔT воздуха, нагреваемого солнечным излучением на участке «тёплого ящика», входящего в аэробарический участок T_0 выходящего, T_1 на срезе из дефлектора

Учитывая опыт применения воздушных солнечных коллекторов с селективной поглощающей поверхностью и однослойным остеклением, зададим перепад температур в пределах 1–70 К с шагом 5К (таблица 2.4).

Таблица 2.4- Расчётный перепад температур нагрева воздуха

| | Порядковый номер шага «m» оптимизационного расчёта | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| $\Delta T, \text{ К}$ | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 |

В группу блоков расчёта скорости движения ω_0 воздушного потока внутри аэробарического участка входят блоки 5 и 6.

Блок 5. Расчёт теплового давления , создаваемого разностью плотности воздуха на входе в аэробарический участок и на выходе из него

Тепловое давление, возникающее на нагреваемом участке вертикально стоящего трубопровода, входит в расчётную формулу (2.17).

Блок 6. Расчёт скорости движения воздуха ω_0 на аэробарическом участке

Движение воздуха во внутренней полости аэробарического участка снизу вверх происходит либо под действием разряжения, создаваемого дефлектором, либо от температурного напора, создаваемого в обогреваемом солнечными излучением «тёплом ящике», либо их совместными действиями.

Блок 7. Расчёт объёма выработки электроэнергии

Объём выработки электроэнергии ветроагрегатом $E_{ГЕН}$ зависит от мощности ветрового потока, совершенства конструкции ветроколеса, коэффициентов полезного действия электрогенератора, мультипликатора, повторяемости ветров, места расположения установки. В настоящее время отсутствуют расчётные и экспериментальные данные по замыкающим показателям энергоснабжения аэровакуумной турбины. В то же время имеются эмпирические соотношения, полученные при эксплуатации ветротурбин различного типа. Учитывая, что КПД аэробарической турбины (55–65%) не ниже КПД ветротурбины (35–45%), что позволяет вычислить $P_{ген}$. Полученное значение $P_{ген}$ передаётся в блок сравнения 8.

Блок 8. Сравнение объёма электрогенерации и потребного количества электроэнергии

Если $P_{ген} > P_{св}$ – переход к блоку 9 (выдача конструктивных характеристик для проектирования осветительного устройства) и затем к блоку 10 (конец расчётов).

Если $P_{ген} \leq P_{св}$ – переход к блоку 2: таблица 2.2 к следующему шагу расчёта «n+1» и таблица 2.3 к следующему шагу расчёта «m+1».

Если условие $P_{ген} > P_{св}$ не выполнено после прохождения всех шагов «n», затем «m» по таблице 2.3, то переход к таблице 2.2 к следующему шагу k + 1.

Блок 9. Выдача данных для проектирования ОП

При переходе к блоку данных распечатываются следующие данные, полученные в процессе обчёта модели: d , l , H , $P_{св}$, ω_B , ΔT .

Данные выдаются в виде таблицы (таблица 2.5).

Таблица 2.5- Исходные данные для проектирования

| Порядковый номер шага «i» таблицы 2.4 | Исходные данные для проектирования ОП | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|---|-----------------|------------|------------|
| | d | l | H | P _{св} | ω_B | ΔT |
| i=1 | | | | | | |

Блок 10. Сравнение шага задания мощности матрицы «i» с числом 15

Если «i» > 15 – окончание расчёта. Если «i» < 15 – начало нового расчёта со следующим шагом мощности светодиодной матрицы $P_{св}$, выбираемой следующим шагом «i+1».

Разработанная программа позволяет провести расчёт для пяти конструктивных диаметров аэробарического участка: 0,098; 0,215; 0,319; 0,422; 0,515 (м). Значения скорости ветра изменяются от 0 до 28 м/сек, при температурном перепаде между нагретым воздухом на выходе из эробарического участка и окружающего воздуха в пределах от 0 до 75 °С. Требуемая мощность для питания светодиодной матрицы изменялась от 1 до 100 Вт. Ввод исходных данных осуществляется через окно-вкладку (рисунок 2.14).

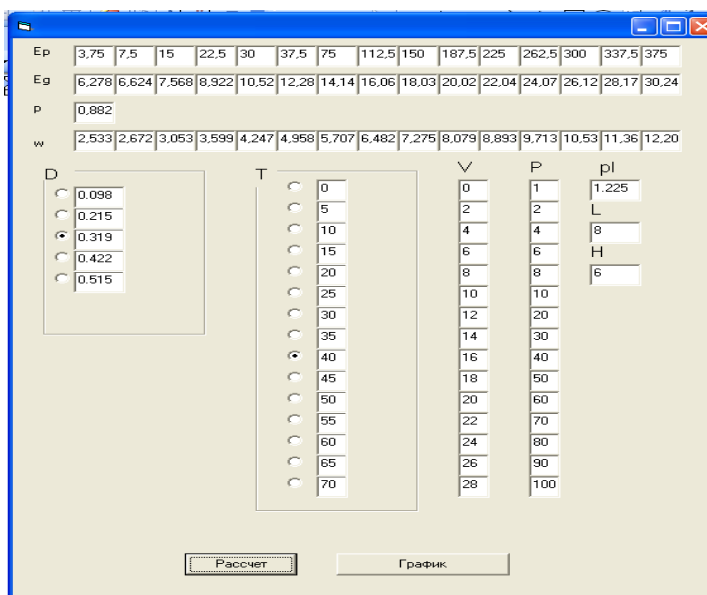


Рисунок 2.14 Диалоговое окно программы

Для визуализации процесса обработки информации программой строится трёхмерный график (рисунок 2.15). На нём потребляемая мощность показана чёрно-белым сетчатым полем 1, а ожидаемая электрогенерация – криволинейной цветной плоскостью 2.

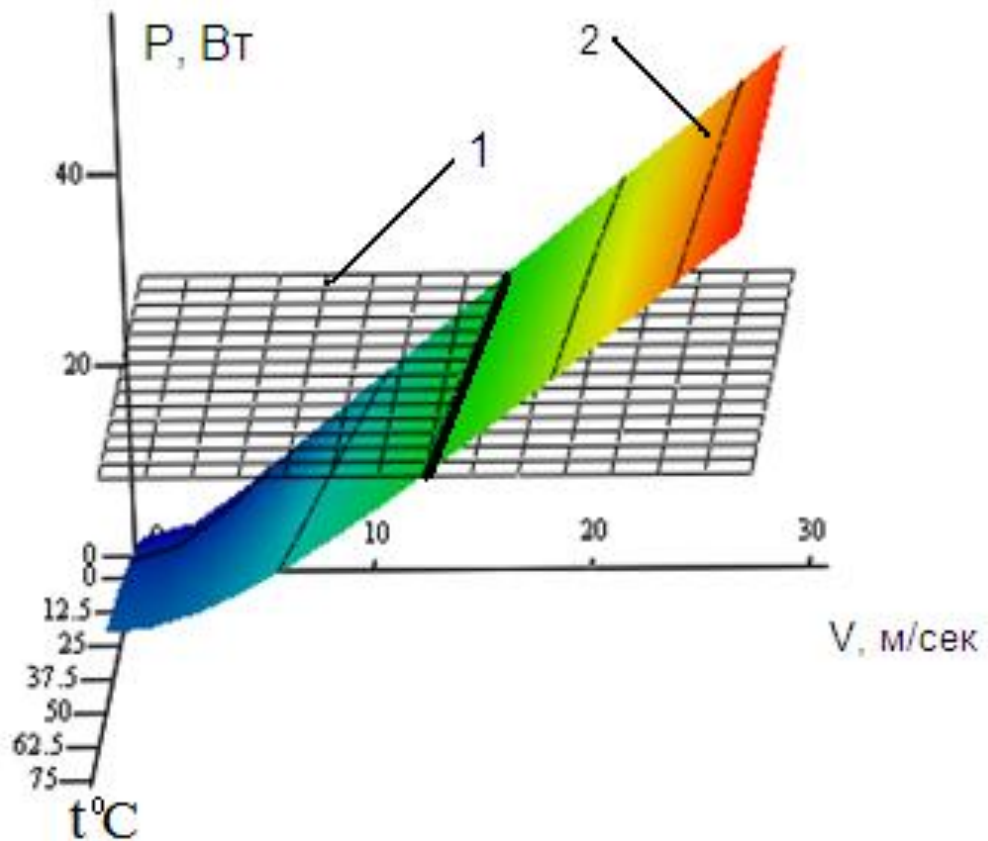


Рисунок 2.15 Трёхмерный расчётный график баланса мощностей

1- $P_{\text{св}}$ мощность потребляемая светильником; 2- $P_{\text{ген}}$ мощность генерируемая эро-турбогенератором

Все значения $P_{\text{ген}}$, превышающие потребляемую, указывают на достаточность генерации для функционирования светильника. Примеры трёхмерных графиков выполненных по разработанной программе расчётов для различных условий точек установки автономных светильников для различных климатических параметров приведены в Приложении 3.

2.5 Разработка светодиодного источника света повышенной энергоэффективности с компенсирующим эффектом

Для повышения энергоэффективности общего освещения на сельхозпредприятиях и в сельском быту предложен светодиодный источник света с эффектом повышения коэффициента мощности, имеющий пониженное до 20 % потребление электроэнергии в сравнении с существующими светодиодными источниками света (рисунок 2.16) [22].

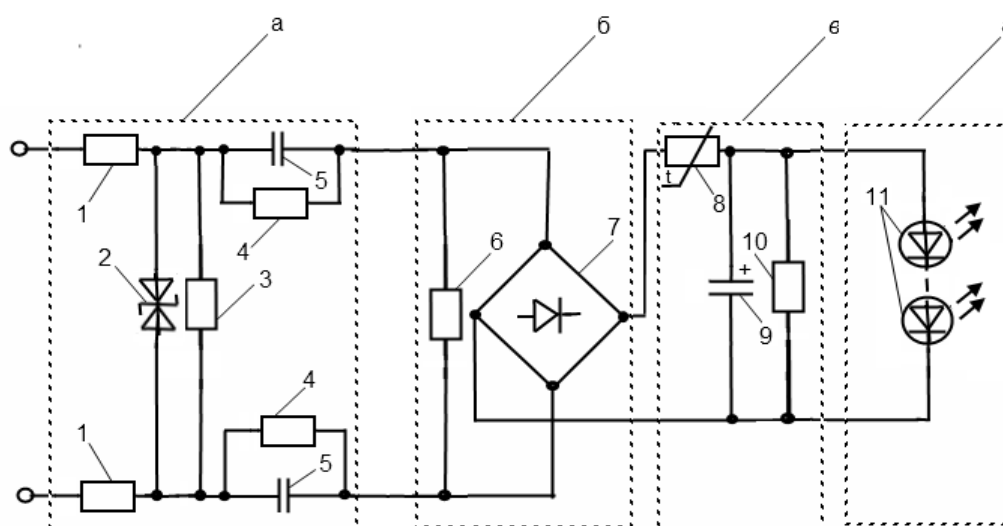


Рисунок 2.16 Электрическая схема светодиодного источника света:

- 1 – токоограничивающий резистор, 2 – ограничитель напряжения, 3,4,6,10 – гасящие резисторы, 5 – конденсатор, 7 – диодный мост, 8 – терморезистор, 9 – электролитический конденсатор, 11 – светодиоды

Светодиодный источник света имеет ёмкостный делитель напряжения, содержащий электрически соединенные между собой понижающий конденсаторный преобразователь напряжения (а), выпрямительный диодный мост (б), фильтр (в), светодиоды (г). Светодиодный источник света работает следующим образом. При подаче напряжения от питающей сети на вход понижающего преобразователя напряжения конденсаторы преобразователя 5 начинают заряжаться, при этом ток заряда ограничивается токоограничивающими резисторами 1. Ограничитель напряжения 2 ограничивает амплитуду скачков напряжения в питающей сети не более

допустимого значения (как правило, от 1,2 до 1,5 выше номинального значения напряжения сети). Пониженное напряжение от преобразователя напряжения подаётся на вход выпрямительного диодного моста (б), а постоянный ток с выхода выпрямителя через терморезистор 8 запитывает светодиоды 11. Так как в холодном состоянии сопротивление терморезистора 8 составляет сотни Ом и по мере его нагрева оно снижается до единиц Ом, то напряжение питания светодиодов плавно нарастает, светодиоды вспыхивают и, плавно разжигаясь, освещают окружающее пространство. Через разрядные резисторы 3, 4, 6 снимается накопленный в конденсаторах схемы заряд после отключения светодиодного источника света. Конденсатор 9 сглаживает пульсации выпрямленного тока, а гасящий резистор 10 обеспечивает эффективный разряд заряда конденсатора 9 после выключения схемы, что даёт резкое погасание светодиодов 11.

Так как разработанный источник света содержит конденсаторный делитель, он обладает компенсирующим эффектом в сети потребителя. Оценим его энергоэффективность путём расчёта снижения тока в сети при замене части люминесцентных светильников на новые светодиодные с эффектом компенсации реактивной мощности.

Снижение тока в сети происходит в результате снижения полной потребляемой мощности в сети:

$$\Delta I = \frac{S_1 - S_2}{U} \quad (2.20)$$

где: S_1 – полная мощность, потребляемая сетью до замены светильников, В·А;

S_2 – полная мощность, потребляемая сетью после их замены, В·А;

U – напряжение в сети, В.

Полная мощность S_1 до проведения реконструкции системы освещения представлена выражением:

$$S_1 = \sqrt{(P + n \cdot P_{cs})^2 + (P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + n \cdot P_{cs} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2)^2} \quad (2.21)$$

где P – активная мощность, потребляемая технологическим оборудованием, Вт;

$tg\varphi_1$ – коэффициент реактивной мощности технологического оборудования;

$P_{св}$ – потребляемая активная мощность штатного люминесцентного светильника, Вт;

$tg\varphi_2$ – коэффициент реактивной мощности штатного светильника;

n – количество светильников в системе освещения, шт.

Полная мощность S_2 после проведения реконструкции путём замены n люминесцентных светильников на светодиодные с компенсирующим эффектом потребляемой мощностью $a \cdot P_{св}$ с коэффициентом реактивной мощности $tg\varphi_3$ представлена выражением:

$$S_2 = \sqrt{(P + a \cdot n \cdot P_{св})^2 + (P \cdot tg\varphi_1 + a \cdot n \cdot P_{св} \cdot tg\varphi_3)^2} \quad (2.22)$$

где P – активная мощность, потребляемая технологическим оборудованием, Вт;

$tg\varphi_1$ – коэффициент реактивной мощности технологического оборудования;

$a \cdot P_{св}$ – потребляемая активная мощность светодиодного светильника с компенсирующим эффектом, Вт;

$tg\varphi_3$ – коэффициент реактивной мощности светодиодного светильника с компенсирующим эффектом;

n – количество светильников в системе освещения, шт.

Применив выражение (2.20) для расчёта реконструкции схемы осветительной установки путём замены n люминесцентных светильников на светодиодные с компенсирующим эффектом, с учётом (2.21) и (2.22), получим выражение:

$$\Delta I = \frac{1}{U} \cdot [\sqrt{(P + n \cdot P_{CB})^2 + (P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + n \cdot P_{CB} \cdot \operatorname{tg} \varphi_2)^2} - \sqrt{(P + a \cdot n \cdot P_{CB})^2 + (P \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + a \cdot n \cdot P_{CB} \cdot \operatorname{tg} \varphi_3)^2}] \quad (2.23)$$

где P – активная мощность, потребляемая технологическим оборудованием, Вт;

$\operatorname{tg} \varphi_1$ – коэффициент реактивной мощности технологического оборудования;

P_{CB} – потребляемая активная мощность штатного люминесцентного светильника, Вт;

$\operatorname{tg} \varphi_2$ – коэффициент реактивной мощности штатного светильника;

$a \cdot P_{CB}$ – потребляемая активная мощность светодиодного светильника с компенсирующим эффектом, Вт;

$\operatorname{tg} \varphi_3$ – коэффициент реактивной мощности светодиодного светильника с компенсирующим эффектом;

n – количество светильников в системе освещения, шт.

Для оценки достоверности расчётов, выполненных на основании полученного соотношения (2.23), был проведен эксперимент по замене люминесцентных светильников на действующем малом сельхозпредприятии (изложен в главе 3). Так при замене 6-ти штатных светильников на энергоэффективные было достигнуто снижение тока в сети на 15 А, что с точностью 9,7 % совпадает с расчётами, выполненными по формуле (2.23).

Выводы по главе

1. Разработана конструкторско-технологическая (рисунок 2.2) и электрическая (рисунок 2.3) схемы автономного осветительного прибора на светодиодных источниках света с их электроснабжением от устройств преобразования солнечной и ветровой энергии. Предложенные решения защищены патентом РФ на полезную модель (патент №92936 МПК⁷ F21K 99/00).

2. Обоснованы и приведены выражения для оценки энергетического потенциала в существующих габаритах типовых осветительных устройств наружного освещения учитывающие приход солнечной (2.10) и ветровой (2.15) энергии в круглосуточном и круглогодичном режиме.

3. Разработана математическая модель и получено аналитическое выражение (2.17) для расчёта ожидаемой электрогенерации на устройствах преобразования солнечной и ветровой энергии аэробарического типа

4. Разработан алгоритм и выполнена его программная реализация для оптимизации конструктивных параметров аэробарического участка, обеспечивающих питание источника света уличного светильника. Программа защищена свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ №2013615418

5. Доказано, что для достижения нормативной освещённости улиц сельских поселений -10 лк, диаметр и длина аэробарического участка должны быть не менее 0,37 м и 6,5 м соответственно.

6. Разработан светодиодный источник света с эффектом повышения коэффициента мощности в сети сельского потребителя, имеющий пониженное до 20% потребление электроэнергии в сравнении с существующими светодиодными источниками света (рисунок 2.16). Предложенный светодиодный источник света защищен патентом РФ на полезную модель (патент №79741 МПК⁶ H05 B37/02)

7. Получена формула (2.23) для расчёта снижения токовой нагрузки в сети потребителя при проведении реконструкции систем освещения с применением нового источника света.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

3.1 Описание экспериментального макета автономного уличного светильника

Принципиальные конструктивные решения экспериментальной установки показаны на рисунок 3.1.

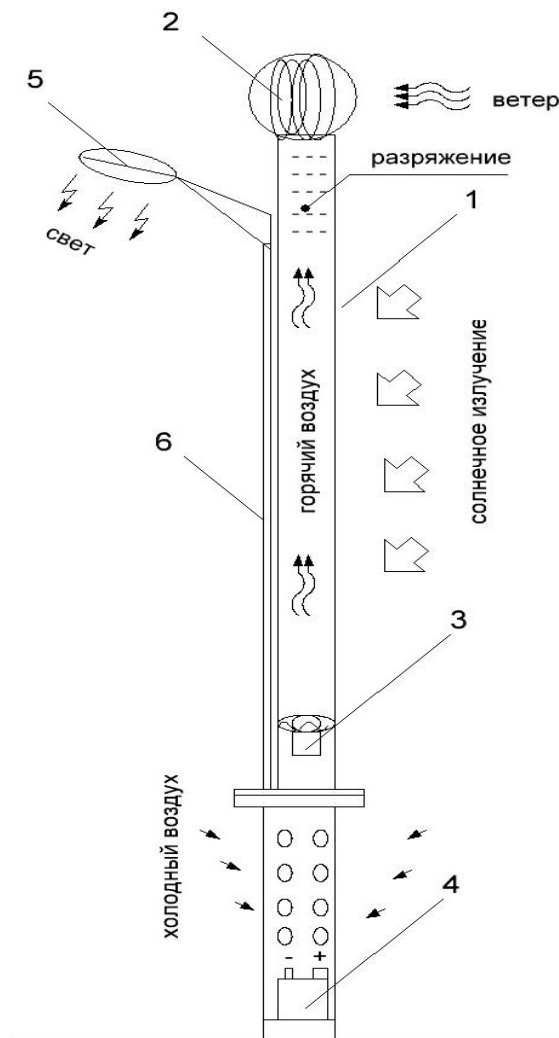


Рисунок 3.1 Конструкция экспериментальной установки:

- 1 – опора, 2 – активный дефлектор, 3 – аэротурбогенератор, 4 – аккумулятор,
5 – светильник с блоком управления освещением, 6 – кабель питания

Конструктивно экспериментальная установка имитирует аэробарический ветросолнечный уличный светильник и состоит из опоры 1, набранной из шести секций тонкостенной трубы $200 \times 0,8$, герметично соединённых между собой. Снаружи трубчатая опора порята чёрной лучепоглощающей эмалью, что обеспечивает высокотемпературный нагрев стенок аэробарического участка и развитие во внутренней полости опоры самотяги. Аэробарический участок трубчатой опоры установлен с помощью петлевого шарнира на частично перфорированное основание, выполненное из стальной трубы $200 \times 2,5$ мм. На верхней части аэробарического участка установлен активный дефлектор 2, представляющий собой ветротурбину типа ротора Дарье. При дуновении ветра ротор Дарье приходит в мощное вращение и в верхней части аэробарического участка возникает значительное разрежение. Совместные действия самотяги от солнечного излучения и разрежения под действием ветра создают восходящий поток воздуха внутри опоры, приводящий во вращение аэротурбогенератор 3.

Аэротурбогенератор вырабатывает электроэнергию, которая накапливается в аккумуляторе 4 и по кабелю питания 6 подаётся в светильник 5, установленный на высоте 6,5 м. В светильнике расположена светодиодная панель из 12 сверхъярких белых светодиодов потребляемой мощностью 20 Вт, генерирующих световой поток в 3200 люменов. Блок управления освещением, содержащий датчик освещённости, датчик движения и акустический датчик.

Ниже аэротурбогенератора 2 в частично перфорированном основании имеются отверстия для входа холодного воздуха. Днём блок управления освещением 5 отключен от питания датчиком освещённости. В ночное время датчик освещённости подключает питание на блок управления освещением и при приближении пешехода датчик движения блока управления освещением включает светодиодную панель, которая вспыхивает и освещает окружающее пространство. По мере удаления пешехода датчик движения выключает питание светодиодной панели.

В ночное время при приближении автотранспорта акустический датчик блока управления освещением также включает светодиодную панель. По мере

удаления автомобиля акустический датчик выключает питание светодиодной панели и она гаснет.

С наступлением рассвета датчик освещённости полностью отключает питание блока управления освещением, и светодиодная панель гаснет вне зависимости от того, есть ли вблизи пешеходы или автотранспорт или нет, так как при достаточной освещённости она постоянно находится в выключенном состоянии.

Для проведения натурных испытаний был изготовлен и смонтирован действующий макет экспериментальной установки, показанный на рисунок 3.2.



Рисунок 3.2 Действующий макет экспериментальной установки

Макет установлен на испытательном полигоне КТИ (филиал) ВолгГТУ, что позволяет проводить разнообразные эксперименты, используя приборную базу полигона.

3.2 Определение электрогенерации на аэробарическом участке при различных скоростях ветра

Для имитации возникающего в аэробарическом участке воздушного потока и тарирования аэротурбогенератора был изготовлен стенд (Рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 Аэробарический генераторный стенд (повёрнуто)

Аэробарический генераторный стенд представляет собой тонкостенную трубу внутренним диаметром 200 мм, в верхней части которой герметично установлен активный дефлектор. В нижней части трубы герметично установлена аэробарическая турбина, насаженная на вал электрогенератора. При размещении стенда вертикально в ветровом потоке активный дефлектор начинает вращаться, высасывая воздух из внутренней полости имитатора аэробарического участка, создавая при этом тягу внутри него. Под действием тяги аэротурбина приходит во вращение.

При различных скоростях ветра меняется тяга, а значит и скорость воздушного потока во внутренней полости имитатора аэробарического участка. Замеряя электрогенерацию при разных режимах тяги, можно установить зависимость объёма электрогенерации от скорости ветрового потока, воздействующего на активный дефлектор. На рисунке 3.4 приведены результаты натурных испытаний, проведенных на генераторном стенде 22 марта 2015 г. В экспериментах генераторный стенд обдувался меняющимся потоком воздуха со скоростями от 0 до 20 м/сек. Как следует из приведённого графика, начало ветрогенерации сдвинуто в район скоростей ветра более 4 м/сек. В дальней-

шем мощность монотонно возрастает с ростом скорости ветрового потока, воздействующего на активный дефлектор. При этом экспериментальная кривая с точностью до 10 % совпадает с теоретической, рассчитанной по формуле (2.17).

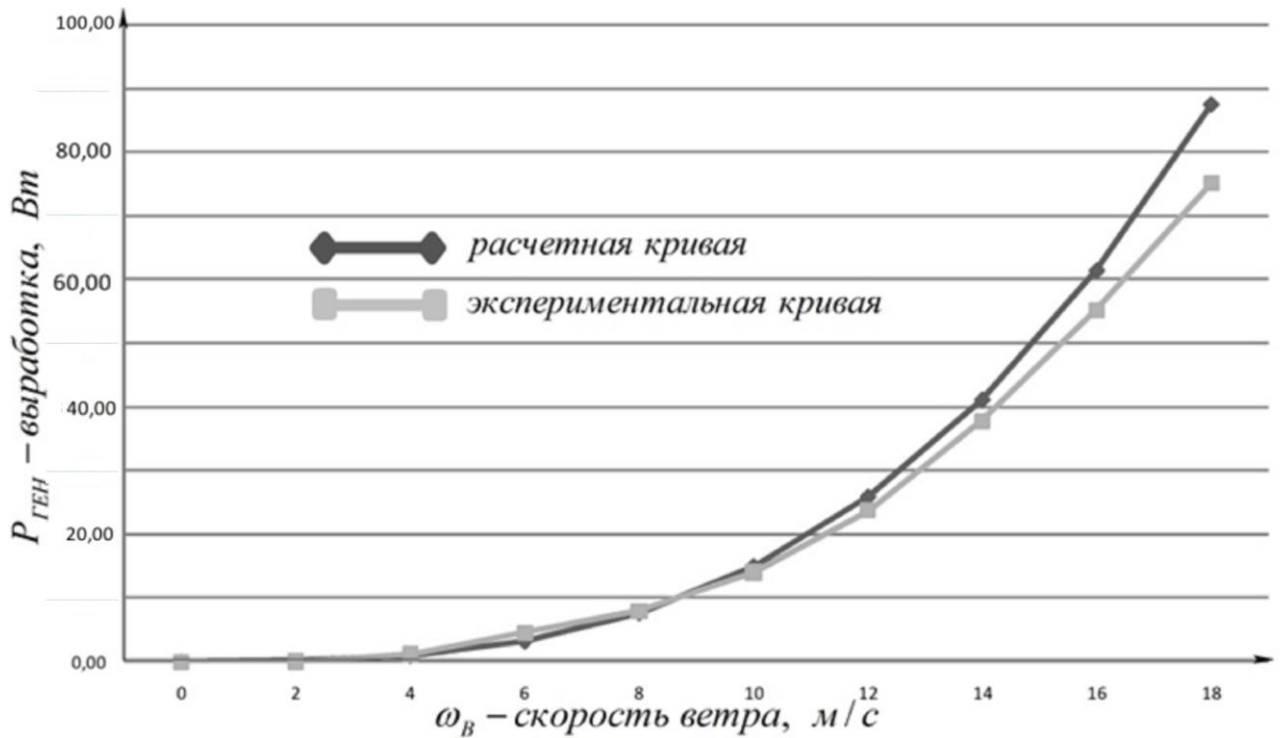


Рисунок 3.4 Результаты исследования ветрогенерации на генераторном стенде

Требуется дальнейшее совершенствование аэротурбины с целью снижения скорости троганья до уровня 1,5–2 м/сек. Таким образом, аэробарическое устройство преобразования ветровой и солнечной энергии в электрическую полностью обеспечивает круглогодичную, круглосуточную работу осветительного прибора наружного освещения.

3.3 Сравнение энергетических и светотехнических характеристик разработанного источника света с существующими аналогами

Для проведения энергетических и светотехнических исследований светодиодных матриц для автономного уличного светильника и ламп общего освещения был разработан и изготовлен экспериментальный стенд, схема которого представлена на рисунке 3.5, а сам стенд – на рисунке 3.6.

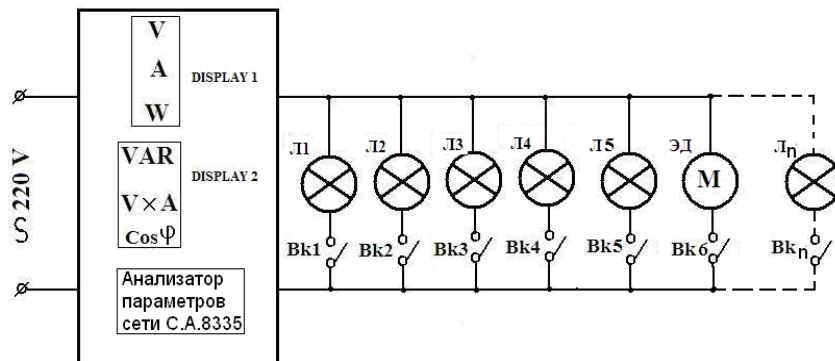


Рисунок 3.5 Электрическая схема экспериментального светотехнического стенда



Рисунок 3.6 Экспериментальный светотехнический стенд

В работе использовались высокоточные поверенные приборы для измерения освещенности типа АТЕ-1509 (рисунок 3.7). Стенд для измерения электротехнических характеристик представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.7 Приборы для измерения светотехнических величин

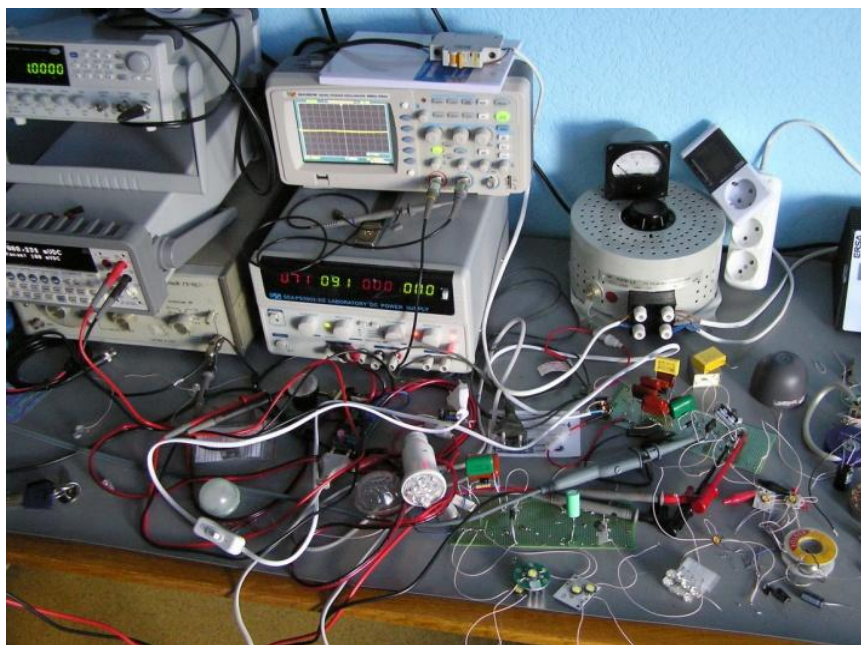


Рисунок 3.8 Стенд для измерения электротехнических характеристик

Результаты сравнительных испытаний светодиодных источников света, предназначенных для наружных систем охранного и дежурного освещения, представлены протоколом от 08.12.11 г. (таблица 3.1). Все измерения качества сети производятся анализатором параметров сети С.А. 8335.

Таблица 3.1

Результат сравнительных испытаний различных источников света от 08.12.2011г.

| № п/п | ЛН1 40Вт, прозрач- ная | ЛН2 60 Вт обыч- ная | ЛН3 60 Вт маговая | ЛН4 60 Вт прозрач- ная | LED1 2×10 Вт | LED2 3×10 Вт | LED3 4×3 Вт | КЛЛ 13 Вт | ЭД | U, (В) | I, (мА) | P, (Вт) | Q, (вар) | S, (ВА) | Сos φ - в сети | Коэф. пульса- ций % | Световой поток при отдача, Лм/Вт | Свето- поток при отдача, Лм/Вт |
|-------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------|----|-----------|------------|------------|-------------|------------|-------------------|---------------------------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| 1 | x | - | - | - | - | - | - | - | - | 219,2 | 166 | -36,5 | 0,6 | 36,4 | 1,0 | | 421 | 11,5 |
| 2 | - | x | - | - | - | - | - | - | - | 215,6 | 261 | -56,3 | 0,6 | 56,2 | 1,0 | 13,0 | 320 | 5,7 |
| 3 | - | - | x | - | - | - | - | - | - | 214,6 | 248 | -53 | 0,8 | 53,2 | 1,0 | 13,6 | 443 | 8,4 |
| 4 | - | - | - | x | - | - | - | - | - | 223,4 | 239 | -53,3 | 1,8 | 53,3 | 1,0 | 14,9 | 676 | 12,7 |
| 5 | - | - | - | - | x | - | - | - | - | 223,3 | 223 | -5,7 | 49,6 | 49,9 | -0,11 | 11,6 | 418 | 73,3 |
| 6 | - | - | - | - | - | x | - | - | - | 222,2 | 217 | -7,5 | 47,5 | 48,1 | -0,16 | 8,3 | 605 | 80,7 |
| 7 | - | - | - | - | - | - | x | - | - | 222,2 | 322 | -5,13 | 71,9 | 72,4 | -0,07 | 37,3 | 312 | 60,8 |
| 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | x | 222,2 | 206 | -25,8 | -37,3 | 45,3 | -0,58 | - | - | - |
| 9 | - | - | - | - | x | - | - | - | x | 222,6 | 157 | -31,4 | 15,1 | 34,8 | -0,94 | - | - | - |
| 10 | - | - | - | - | - | x | - | - | x | 222,3 | 164 | -33,3 | 15,1 | 36,4 | -0,96 | - | - | - |
| 11 | - | - | - | - | - | - | x | - | x | 222,9 | 214 | -30,7 | 36,3 | 47,7 | -0,66 | - | - | - |
| 12 | x | - | - | - | - | - | - | - | x | 222,3 | 208 | -26,3 | -38 | 46,1 | -0,57 | - | - | - |
| 13 | - | x | - | - | - | - | - | - | x | 213,8 | 405 | -79,4 | -33,5 | 86,5 | -0,92 | - | - | - |

Продолжение таблицы 3.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|-----|-------|-------|------|--------|-----|-----|------|
| 14 | - | - | x | - | - | - | - | - | x | 214,3 | 396 | -76,1 | -33,1 | 83,5 | -0,92 | - | - | - |
| 15 | - | - | - | x | - | - | - | - | x | 223,8 | 392 | -80 | -36,2 | 88 | -0,91 | - | - | - |
| 16 | - | x | - | - | - | x | - | - | x | 219,3 | 418 | -90,3 | 14,5 | 90,9 | -0,996 | - | - | - |
| 17 | - | - | - | - | - | - | - | x | - | 216 | 85 | -11,6 | 15,1 | 18,7 | 0,6 | 7,6 | 353 | 30,4 |
| 18 | - | - | - | - | - | - | - | x | x | 215,2 | 224 | -34,5 | -33,6 | 48 | 0,72 | - | - | - |

ЛН1 – лампа накаливания направленного действия с прозрачным плафоном мощностью 40 Вт;

ЛН2 – лампа накаливания с прозрачным плафоном мощностью 60 Вт (обычная);

ЛН3 – лампа накаливания направленного действия с матовым плафоном мощностью 60 Вт;

ЛН4 – лампа накаливания направленного действия с прозрачным плафоном мощностью 60 Вт;

LED1 – СДИС – два светодиода по 10 Вт, LEDENGIN, USA;

LED2 – СДИС – три светодиода по 10 Вт, LEDENGIN, USA;

LED3 – СДИС – четыре светодиода по 3 Вт LEDENGIN, USA;

КЛЛ – энергосберегающая ртутная лампа мощностью 13 Вт, эквивалент лампы накаливания 65 Вт;

ЭД (М) – асинхронный электродвигатель бытового вентилятора;

(-) для Р и Q – указывает на потребление электроэнергии;

+ для Р и Q – отдаёт в сеть электроэнергию.

В экспериментах были проведены сравнительные измерения освещенности на ортогональной плоскости на расстоянии один метр от ИС, которую создают вновь разработанные источники света (LED) и применяемые в настоящее время типовые источники света различных производителей (рисунок 3.9).

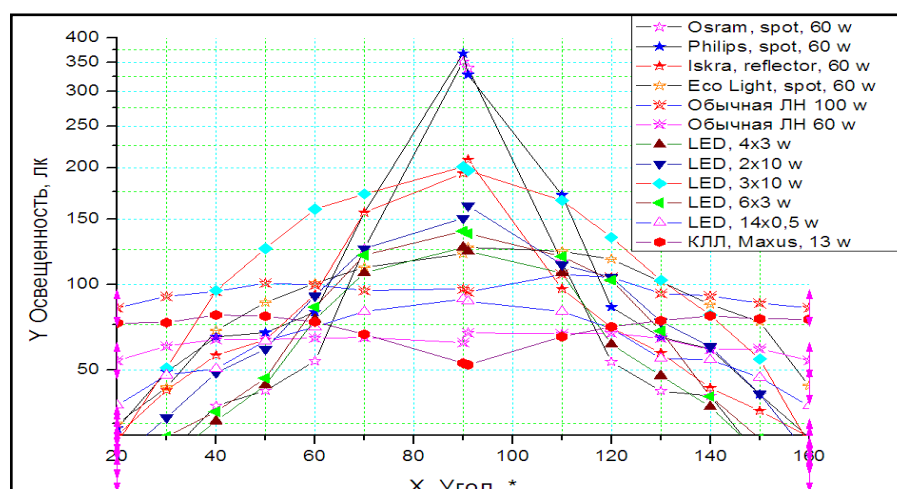


Рисунок 3.9 Результаты измерения показателей освещенности

Измерения светового потока разработанных в пределах настоящей работы светодиодных источников света (LED) для систем сельского общего и наружного охранного освещения в сравнении с типовыми, серийно производимыми источниками света приведены на рисунке 3.10.

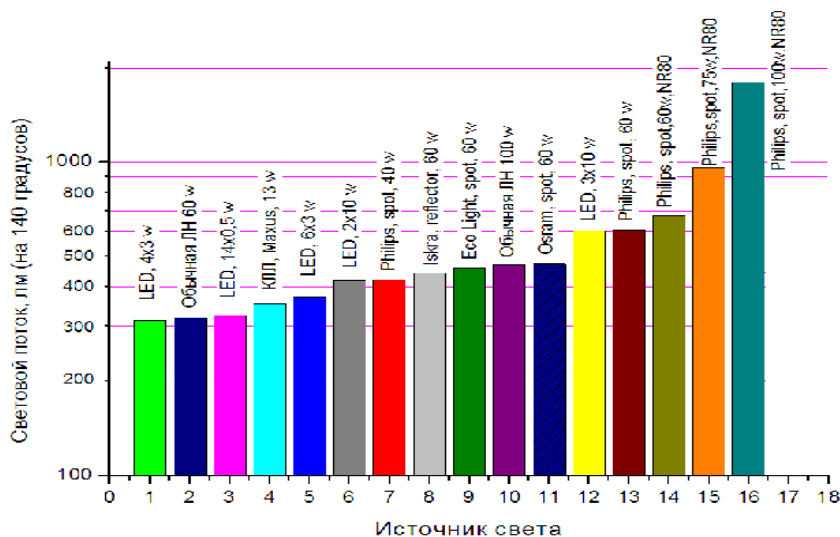


Рисунок 3.10 Результаты измерения генерируемого светового потока источниками света различного типа

Как следует из приведенных результатов эксперимента, светотехнические характеристики вновь разработанных источников света приближаются к

традиционно используемым, при многократно более высокой энергетической эффективности.

В ходе эксперимента были подтверждены компенсирующие свойства разработанной автором светодиодной лампы. Применение таких ламп в осветительных сетях промышленных предприятий даст значительный экономический эффект.

По результатам экспериментов установлено, что разработанные источники света имеют светоотдачу в 22 раз выше ламп накаливания и в 2,5 раза выше, чем энергосберегающие лампы. Потребляемая активная мощность новых источников света в 13 раз ниже, чем у ламп накаливания и в 2,7 раза ниже, чем у энергосберегающих ламп. При работе в сети совместно с электродвигателями коэффициент мощности увеличивается с 0,58 до 0,94.

В системах освещения на селе (преимущественно дежурного, и охранного, реже уличного) применяются источники света с винтовым цоколем, устанавливаемые в светильники типа ВЗГ, НСП, В4А и др. Для этих целей целесообразно применять разработанные и серийно выпускаемые светодиодные лампы волгоградского производства «ОгоньОк» показанные на рисунке 3.11 (приложение 5). Указанные лампы сочетают в себе эффект компенсации реактивной мощности в сети потребителя и пониженное до 20% потребление активной мощности, по сравнению со светодиодными лампами других производителей.



Рисунок 3.11 Промышленно производимые по лицензии автора светодиодные источники света с компенсирующим эффектом

3.4 Натурные испытания разработанного источника света в светильнике аварийного освещения

Для проведения тестовых исследований аварийного светильника ДБО 01 0,5×16 001 30 УЗД он был смонтирован в коридоре общественного здания – КТИ, корпус А, 4-й этаж (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 Схема установки испытуемого светильника

Светильник ДБО 01 0,5×16 001 30 УЗД был подвергнут тестовым испытаниям на потребляемую мощность с применением счётчика электрической энергии СЕ 101с классом точности 1 на базовый ток 0-5 А (таблица 3.2).

Таблица 3.2-

Результаты сравнительных испытаний светильника ДБО 01 0,5×16 001 30 УЗД и типового светильника с ЛН 60 Вт

| | Потребление электрической энергии нарастающим итогом, кВт·ч | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|--------------|
| | 14.09 | 17.09 | 21.09 | 24.09 | 27.09 | 30.09 | 3.10 | 6.10 | 9.10 | 12.10 | 15.10 |
| Светильник ДБО 01 0,5×16 001 30 УЗД | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 |
| Светильник с лампой накаливания 60 Вт | 4,03 | 8,86 | 12,09 | 16,12 | 20,15 | 24,18 | 28,2 | 32,2 | 36,2 | 40,3 | 44,33 |

Энергетическая эффективность разработанного светильника подтверждается результатами сравнительных исследований и выражается в экономии электроэнергии на освещение в расчёте на один светильник:

$$\text{Эм} = 44,33 - 5 = 39,33 \text{ кВт}\cdot\text{час в месяц или } 417,96 \text{ кВт}\cdot\text{ч в год.}$$

3.5 Эксперимент по оценке энергосберегающего эффекта от применения разработанного источника света в сельхозпроизводстве

В августе 2012 г. были проведены сравнительные испытания разработанных светильников наружного освещения с эффектом улучшения коэффициента мощности на малом предприятии по переработке органических отходов сельхозпроизводства в топливные пилеты. Результаты оценки эффективности замены существующих светильников на светодиодные светильники наружного освещения с компенсирующим эффектом в реальном производстве малого предприятия приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3-

Результаты эксперимента от 4.08.2012 с замером параметров в сети действующего малого сельхозпредприятия

| Нумерация замеров | Фаза | Потребление активной мощности, кВт | Потребл. реактивной мощности, квар | Общее потребление, кВА | Cosφ | Напряжение, В | Ток, А |
|-------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------|---------------|-------------|
| 1 | Силовая нагрузка: технологическое оборудование | | | | | | |
| | В* | 11,6 | 13,8 | 17,9 | 0,63 | 235,1 | 72,4 |
| | А | 12,4 | 13,1 | 18,1 | 0,69 | 235,4 | 74,8 |
| | С | 11,7 | 14,4 | 18,4 | 0,61 | 235,6 | 76,6 |
| 2 | Нагрузка: технологическое оборудование+11 штатных светильников мощностью 80 Вт каждый | | | | | | |
| | В* | 11,99 | 14,8 | 18,9 | 0,62 | 233,7 | 81,4 |
| | А | 12,2 | 12,9 | 17,7 | 0,68 | 235,1 | 75,7 |
| | С | 11,02 | 14,3 | 18,0 | 0,61 | 235,6 | 76,9 |
| 3 | Нагрузка: технологическое оборудование +5 штатных светильников мощностью 80 Вт каждый +6 светодиодных светильников СДИС с компенсирующим эффектом мощностью 42 Вт каждый | | | | | | |
| | В* | 10,96 | 11,5 | 15,94 | 0,68 | 237,9 | 66,4 |
| | А | 11,9 | 12,7 | 17,3 | 0,68 | 237,6 | 72,7 |
| | С | 11,2 | 14,03 | 17,6 | 0,61 | 237,1 | 74,6 |

Применение новейших светодиодных светильников СДИС с компенсирующим эффектом дало следующие результаты:

- понижение потребления активной мощности на 8,6%;
- понижение потребления реактивной мощности на 22,3%;
- понижение потребления общей мощности на 15,7%;
- повышение $\cos\varphi$ на 9,7%;
- понижение тока в сети на 18,4%.

Как следует из приведённых результатов измерений, разработанные источники света имеют высокие показатели энергоэффективности.

3.6 Выявление потребляемой мощности источника света в автономном уличном светильнике для сельских территорий

Место и условия проведения эксперимента: село Гусёвка, Ольховского района, Волгоградской области, февраль 2013 года, температура воздуха – -5°C , толщина снежного покрова – 5 см.

Перечень испытуемых светоизлучающих головок уличных светильников:

№ 1 – типовой светильник ЖКУ с лампой ДНаТ 150 Вт;

№ 2 – светильник ДКУ 150 Вт, светодиоды 50×3 Вт, $T = 3200$ К;

№ 3 – светильник ДКУ 150 Вт, светодиоды 15×10 Вт, $T = 4300$ К;

№ 4 – светильник ДКУ 48 Вт, светодиоды 48×1 Вт, $T = 4000$ К;

№ 5 – светильник ДКУ 20 Вт, светодиоды 20×1 Вт, $T = 5700$ К.

Освещённость в эксперименте измерялась на расстоянии 9 м люксметром ТКА-ПКМ 08. Экспертная оценка светового ощущения, создаваемого светильником, оценивалась по стобальной системе четырьмя экспертами. В процессе эксперимента светоизлучающие головки закреплялись на жёсткой раме, к ним подводилось электропитание от сети напряжением 220В промышленной частоты.

Измерения проводились спустя 10 мин. после включения светильника, чем обеспечивалась стабильность светотехнических характеристик источника света. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4-

Результаты натуральных испытаний светоизлучающих головок

| Испытуемое изделие | Создаваемая освещённость на расстоянии 9 м, люкс | Коэффициент пульсаций светового потока, % | Экспертная оценка светового ощущения, балл |
|--------------------|--|---|--|
| Светильник №1 | 72 | 83 | 78 |
| Светильник №2 | 43 | 4,5 | 80 |
| Светильник №3 | 26 | 36 | 95 |
| Светильник №4 | 16 | 1,3 | 85 |
| Светильник №5 | 10,2 | 0,7 | 80 |

Для разработанной светодиодной светоизлучающей головки на гониофотометре были проведены измерения кривой силы света светодиодной матрицы светильника. Результаты сравнения фактической КСС с расчётной приведены на рисунке 3.13.

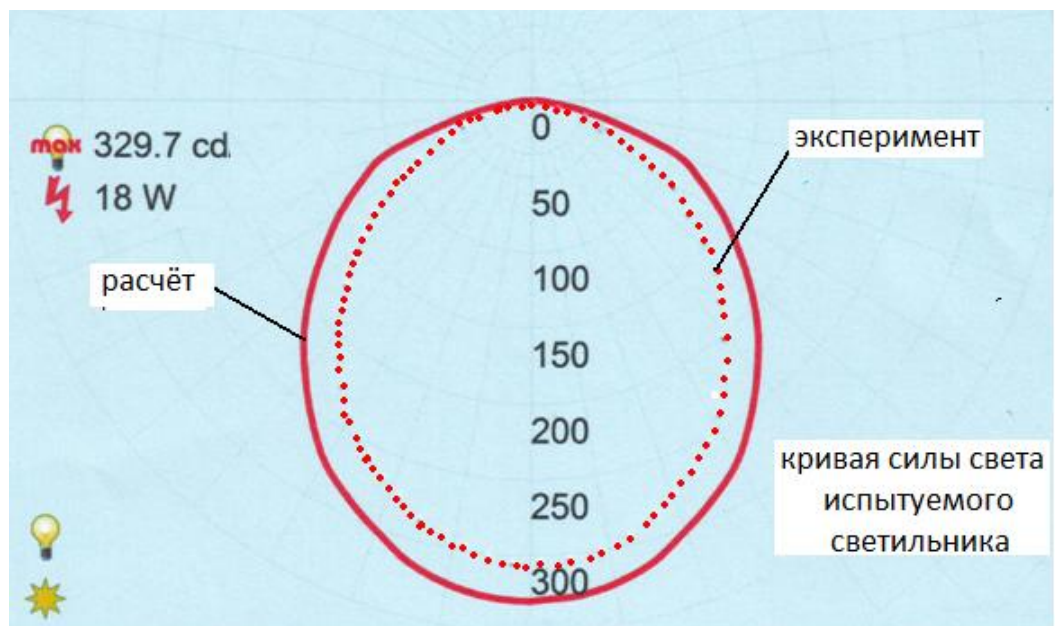


Рисунок 3.13 Расчётная и фактическая кривая силы света сельского автономного уличного светильника

Заключение по результатам испытаний:

1. Рекомендуется применять для наружного освещения светодиоды с эквивалентной термодинамической температурой $T = 4500 \text{ К}$.
2. Весогабаритные и мощностные характеристики светоизлучающей головки уличного светильника с автономным питанием должны быть подобны светильнику №3 со снижением её мощности до 20 Вт.

Выводы по главе

1. Разработан полногабаритный макет экспериментальной установки автономного уличного светильника для проведения натурных испытаний.
2. Получены характеристики электрогенерации аэроборического участка при диаметре 200 мм и скоростях ветра от 1 до 20 м/с.
3. Установлено, что разработанные источники света имеют светоотдачу в 5–6 раз выше ламп накаливания и в 2,5 раза выше энергосберегающих ламп. При работе в сети совместно с электродвигателями коэффициент мощности увеличивается с 0,58 до 0,94.
4. Исследованы энергетические характеристики светодиодных светильников с эффектом улучшения $\cos\phi$ в сравнении с лампами накаливания, энергосберегающими лампами и люминесцентными лампами, показавшие понижение потребления активной мощности на 8,6%, реактивной мощности на 22,3%, общей мощности на 15,7%, повышение $\cos\phi$ на 9,7%, понижение тока в сети на 18,4%, что свидетельствует о их высокой энергоэффективности.
5. Рекомендуется применять для наружного освещения светодиоды с эквивалентной термодинамической температурой $T = 4500 \text{ К}$. Экспериментально доказано, что нормативная освещенность для сельских территорий при высоте подвеса светильника 6,5 м достигается при потребляемой мощности светодиодной матрицы 20 Вт.

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

4.1 Оценка ожидаемой выработки электроэнергии уличным светильником при его установке в Волгоградской области

В городе Камышине (географические координаты $50^{\circ}05'54''$ с.ш. и $45^{\circ}24'05''$ в.д.) [75], где установлен разработанный осветительный прибор, согласно данным ОМС «Камышинская» среднегодовое число солнечных часов t_c составляет 2200 час/год[57]. Число часов светлого времени суток t_d составляет 4380 часов. Тогда вероятность λ того, что рассматриваемый час будет солнечным (по уравнению 2.7) составит:

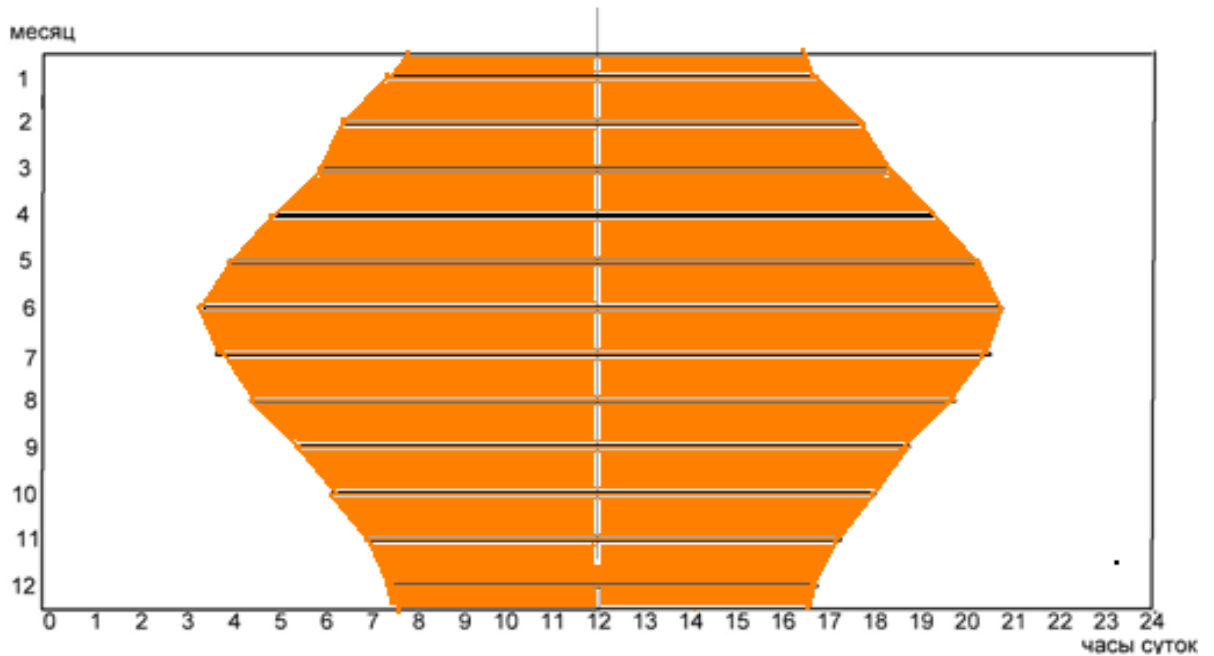
$$\lambda = \frac{2200}{4380} = 0,502.$$

Результаты расчёта продолжительности поступления солнечной энергии на осветительный прибор приведены в виде диаграммы (рисунок 4.1).

Используя (2.10) и опираясь на конструктивные особенности ветросолнечного уличного светильника с высотой опоры 6,5м, диаметром 0,25 м, рассчитаем ожидаемую солнечную электрогенерацию, задав коэффициент преобразования $C_c=0,18$ при $J_0 = 0,9$ кВт/м². Ожидаемая солнечная электрогенерация:

$$E_{солн} = 0,9 \cdot 0,18 \cdot 0,502 \cdot 4380 \cdot 6,5 \cdot 0,25 = 579 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Такого количества выработанной солнечным преобразователем электроэнергии достаточно для обеспечения круглогодичной работы осветительного прибора наружного освещения с источником света потребляемой мощностью 150 Вт (например, натриевой лампы ДНаТ 150).



Рисунки 4.1 Расчетная диаграмма времени поступления солнечной энергии на лучепоглощающую поверхность уличного светильника

С помощью (2.11) произведём оценку возможности использования энергии ветра для целей освещения в зоне Нижнего Поволжья, в конкретной точке установки ОП. Для оценки ветроэнергетического потенциала в точке установки осветительного светильника (г.Камышин, ул.Ленина,6А) приведём фактические значения скорости ветра по данным опорной метеостанции (ОМС) «Камышинская», представленным в таблице 4.1.

Таблица 4.1-

Среднемесячная и среднегодовая скорость ветра по ОМС «Камышинская»

| Год | Среднемесячная скорость ветра, м/сек | | | | | | | | | | | | Средне- годовая скорость ветра, \bar{v} м/сек, |
|------|--------------------------------------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|--|
| | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | |
| 2006 | 4,4 | 4,7 | 3,8 | 2,9 | 4,7 | 4,0 | 3,9 | 4,4 | 4,4 | 5,6 | 5,4 | 5,1 | 4,44 |
| 2007 | 6,1 | 5,2 | 6,0 | 4,0 | 4,7 | 4,1 | 3,4 | 3,6 | 3,6 | 4,3 | 4,2 | 3,9 | 4,43 |
| 2008 | 5,2 | 4,5 | 3,8 | 4,3 | 3,9 | 4,7 | 2,8 | 3,7 | 5,1 | 3,8 | 3,8 | 4,4 | 4,17 |
| 2009 | 4,3 | 4,8 | 4,5 | 4,2 | 4,9 | 4,4 | 3,2 | 4,0 | 3,5 | 3,8 | 3,7 | 4,0 | 4,11 |
| 2010 | 4,7 | 6,5 | 6,7 | 5,4 | 4,8 | 3,8 | 4,2 | 4,7 | 4,8 | 5,7 | 5,6 | 6,1 | 5,25 |

Продолжение Таблицы 4.1

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|------------|
| 2011 | 4,3 | 5,4 | 4,8 | 4,3 | 4,0 | 4,7 | 3,9 | 4,2 | 4,4 | 3,9 | 4,6 | 5,7 | 4,52 |
| 2012 | 6,7 | 6,2 | 5,7 | 6,2 | 5,2 | 4,9 | 4,2 | 5,1 | 5,3 | 5,2 | 4,8 | 5,5 | 5,42 |
| 2013 | 3,1 | 7,7 | 5,1 | 6,0 | 4,7 | 4,6 | 4,3 | 4,9 | 3,8 | 5,3 | 5,5 | 5,7 | 5,06 |
| 2014 | 4,7 | 5,6 | 4,4 | 5,1 | 4,0 | 3,6 | 3,2 | 3,7 | 3,5 | 3,5 | 5,0 | 4,4 | 4,22 |
| Много- летние | 4,85 | 5,54 | 4,92 | 4,63 | 4,55 | 4,31 | 3,65 | 4,2 | 4,3 | 4,55 | 4,69 | 4,9 | 4,6 |

Из приведенных данных следует, что параметр c для точки установки осветительного прибора составляет $c=4,6$ м/сек.

Для оценки возможности использования энергии ветра в электрогенерации для систем наружного освещения в местностях Нижнего Поволжья воспользуемся теоретической работой А.Б. Рыхлова [93]. В указанной работе приведены параметры распределения модифицированной формулы Вейбула-Гуревича (2.12), где предлагается использовать отношение случайного значения скорости ветра v к его среднему значению \bar{v} в виде закономерности:

$$p_i(V \geq v) = e \left[-\beta \left(\frac{v}{\bar{v}} \right)^\gamma \right] \quad (4.1)$$

Параметры распределений γ и β мало изменяются от одной области Поволжья к другой. Для оценки достоверности аппроксимации применялся коэффициент детерминированности R^2 , позволяющий судить о близости теоретических и фактических значений распределения (табл. 4.2).

Таблица 4.2-

Параметры распределения γ и β по областям Поволжья

| Область | Параметры распределения | | R2 |
|---------------|-------------------------|---------|------|
| | γ | β | |
| Астраханская | 1,39 | 0,87 | 0,99 |
| Волгоградская | 1,38 | 0,88 | 0,99 |
| Саратовская | 1,34 | 0,89 | 0,98 |
| Самарская | 1,35 | 0,90 | 0,99 |

Параметр γ характеризует местность и соответствует параметру k_s выражении (4.1), т.е для г.Камышина Волгоградской области $k=1,38$. Тогда распределение скоростей ветра в точке установки светильника будет определяться выражением:

$$p(v) = \frac{1,38}{4,6} \cdot \left(\frac{v}{4,6}\right)^{0,38} \cdot e^{-\left(\frac{v}{4,6}\right)^{1,38}}. \quad (4.2)$$

Подставив текущие значения скоростей ветра (v), получим график повторяемости скоростей ветра $p(v)$ для точки установки ОП (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 График повторяемости скоростей ветра $p(v)$

Исходя из приведённой таблицы, принимаем для расчёта среднегодовую скорость ветра $\bar{v} = 4,6$ м/сек. Примем также расчётную плотность воздуха $\rho=1,226$ кг/м³ постоянной, так как отклонения плотности от указанного значения не превышают 3%, что достаточно для практических расчётов осветительного устройства. Удельная мощность ветрового потока в зоне установки уличного светильника составит:

$$P_{y0} = \rho \cdot \frac{v_i^3}{2} \cdot p_i. \quad (4.3)$$

Проинтегрировав уравнение (4.3) с учётом принятого значения $\bar{v} = 4,6$ м/сек, получим среднюю мощность ветрового потока в точке установки светильника:

$$\bar{P}_{уд} = 0,5 \cdot 1,226 \cdot 3,176 \cdot 4,63 = 189,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Обычный сельский уличный светильник имеет диаметр опоры $d = 0,25$ м и высоту опоры $H = 6,5$ м (мидель $F = 1,625 \text{ м}^2$). С учётом $C = 0,4$, используя полученное значение $\bar{P}_{уд} = 189,5 \text{ Вт/м}^2$, рассчитаем ожидаемую выработку электроэнергии ($\mathcal{E}_{ветер}$) за счёт ветрогенерации:

$$\mathcal{E}_{ветер} = 0,4 \cdot 189,5 \cdot 6622 \cdot 1,625 = 815,6 \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}.$$

Такой энерговыработки достаточно для обеспечения работы источника света мощностью 200 Вт (например, лампы ДНаТ 200) в течение 3750 часов в год.

4.2 Оценка экономической эффективности систем наружного освещения с различными источниками энергии

Выбор наиболее экономичной и рациональной системы освещения является одной из основных задач пользователя такой системы [52]. Действительно, обеспечение требуемого уровня освещенности объектов в ночное время может быть достигнуто различными способами. Например, установкой большого количества маломощных осветительных приборов на всей освещаемой площади, либо установкой всего одной ксеноновой мощной лампы, освещающей ту же площадь с той же осветительной эффективностью. Однако два этих варианта существенно разнятся по стоимостным показателям, как в плане сооружения таких систем освещения, так и последующих эксплуатационных затрат [23, 27, 31].

Специалистами в области светотехники используется несколько методик технико-экономических сравнений светотехнически равноценных систем освещения. Рассмотрим одну из них:

1. Метод приведенных годовых затрат.

Сравнительная технико-экономическая оценка различных вариантов установок наружного освещения производится на 1 км освещаемой улицы.

Приведённые годовые затраты Q в общем виде определяются как

$$Q = \frac{[1000 \cdot T \cdot (A + a) \cdot n / \tau + a \cdot P \cdot T \cdot q \cdot n + 150 \cdot A \cdot n + 250 \cdot O + 170 \cdot \delta + 1000 \cdot m \cdot B]}{L} \quad (4.4)$$

где T – число часов работы осветительного прибора за год, ч;

P – потребляемая мощность источником света, Вт;

n – число ламп в осветительном приборе, шт.;

τ – номинальный срок службы источника света, ч;

q – действующий тариф на покупную электроэнергию, руб./кВт·ч);

m – число чисток светильника в год;

A – стоимость источника света в осветительном приборе, руб.;

O – стоимость осветительного прибора без источника света, руб.;

δ – стоимость монтажа осветительного прибора, руб.;

B – стоимость одной чистки одного светильника, руб.;

L – расстояние между осветительными приборами, м;

a – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в ПРА и в сети, принимается для ламп типа ДНаТ $a=1,16$.

Из сравнительных вариантов установок освещения наиболее экономичной будет та, для которой значение Q будет наименьшим.

Расчёт технико-экономической эффективности систем освещения от возобновляемых источников энергии производим на базе компьютерной программы Dialux. Программа предназначена для расчёта освещения дорог, включая прямолинейные участки, повороты, пересечения, развилки, а также для участков производственной формы в одном уровне.

Согласно табл. 16 в СП 52.13330.2011 освещённость улиц и дорог сельских поселений должна быть следующей: главные улицы – 10 люкс, улицы в жилой застройке – 6 люкс, переулки – 2 люкса. С помощью компьютерной программы Dialux устанавливаем, что для указанных условий на освещаемой улице достаточно разместить 20 светильников. Результаты расчёта участка улицы при её ширине 18 м приведены на рисунке 4.3.

Визуализация расчётов освещённости улицы системой наружного освещения на селе показана в Приложении 4.

На основе проведённых расчётов задаём количество опор, протяжённость электрических сетей и их состав (таблица 4.3).

Результаты расчётов капвложений на сооружение традиционной СНО на невозобновляемых источниках энергии приведены в таблице 4.4.

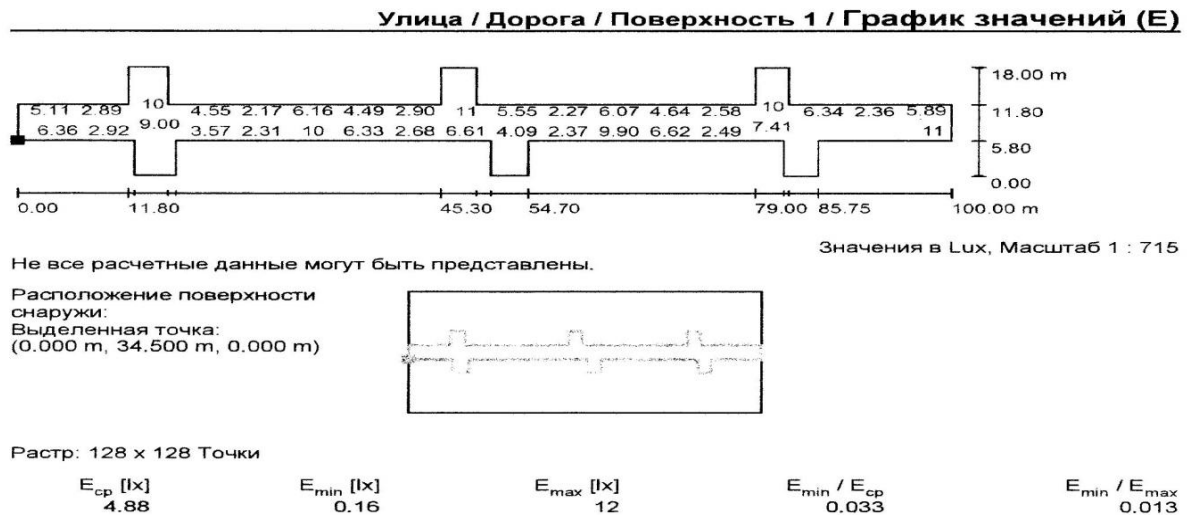


Рисунок 4.3 Результаты расчёта в Dialux освещённости сельской улицы

Таблица 4.3-

Характеристика традиционной СНО

| Оборудование и сооружения | Количество |
|---|------------|
| Опоры для проводов и светильников | 20 шт |
| Светильники типа ЖКУ 50-250-56 | 20 шт |
| Источника света – лампы ДНаТ мощностью 250 Вт | 20 шт |
| ВЛ проводами СИП-4 сечением 70 мм | 500м |
| Кабельная линия кабелем АПВББШв 4×95 | 420м |
| Трансформаторный пункт КТПБ 63-10/0,4 | 1 |

Таблица 4.4-

Стоимость сооружения традиционной СНО для улицы длиной 500 м

| Наименование затрат | Стоимость, руб. |
|----------------------|-----------------|
| Закупка светильников | 55 080 |

Продолжение Таблицы 4.4

| | |
|--|----------|
| Закупка источников света (лампа ДНаТ-220-250-1) | 5 660 |
| Закупка кронштейнов | 21 740 |
| Монтаж светильников | 46 840 |
| Строительство ВЛ 0,4 кВ с проводом СИП-4×70 на железобетонных опорах | 650 000 |
| Прокладка КЛ кабелем АПВБбШв 4×95 | 819 000 |
| Установка КТПБ 63 -10/0,4 | 105 000 |
| Итого: | 1703 050 |

Капитальные затраты на строительство тестовой модели СНО-Т с современными светодиодными светильниками «ЭЛЕГАНТ», также подключаемой к промышленной электрической сети, состоят из стоимости оборудования, материалов и строительно-монтажных работ (таблицы 4.5, 4.6).

Таблица 4.5-

Региональные расценки на оборудование

| | |
|--|-------|
| Стоимость светильников «ЭЛЕГАНТ» 1×40 Вт, руб. | 11600 |
| Зажим осветительный Р-645, руб. | 101 |

Таблица 4.6-

Стоимость строительства СНО со светильниками «ЭЛЕГАНТ»

| Наименование затрат | Стоимость, руб. |
|--|-----------------|
| Стоимость светильников | 232 000 |
| Стоимость кронштейнов | 21740 |
| Зажим осветительный | 2020 |
| Монтаж светильников | 46 840 |
| Строительство ВЛ 0,4 кВ с проводом СИП-4 ×35 | 476 000 |
| Прокладка КЛ кабелем АПВБбШв 4×70 | 730 000 |
| Установка КТПБ 25 -10/0,4 | 75 000 |
| Итого: | 1 581 600 |

В настоящее время наиболее широкое применение в осветительных устройствах получили возобновляемые источники энергии на базе преобразования солнечной энергии в солнечных батареях. При этом цена на солнечные батареи из кристаллического кремния снизилась со 100 долларов США на 1 Вт в 1975 г. до 0,5–0,7 долларов США на 1 Вт в 2014 г. [124]. Среднее значение КПД в солнечных батареях на монокристаллическом кремнии – 11–12 %.

В разработанных новых осветительных приборах сделан принципиальный отход от специальных электрических устройств для возобновляемых источников энергии и переход на общепромышленное оборудование. Конструкция осветительного устройства является практически типовой, содержащей опору и закреплённый на ней светильник. Проведён расчёт технико-экономических показателей СНО на вновь разработанных ОП с использованием возобновляемых источниках энергии. Основой расчёта является нормативом освещённости проезжей части и тротуара дорог категории Б и В. Согласно СП 52.13330.2011 освещённость дорог должна быть 15 люкс, тротуаров – 6 люкс.

Расчёт ведём для модели СНО-Т. Нами была взята Гранд-Смета на строительство СНО по Волгоградской области, которая имеет следующие ценовые показатели на II кв. 2015г. за единицу (таблицы 4.7–4.8).

Таблица 4.7-

Региональные расценки на оборудование и СМР

| Оборудование и СМР | Цена, руб. |
|---|------------|
| Стоимость автономного ветросолнечного светильника | 28 000 |
| СМР по установке светильника | 3850 |

Таблица 4.8-

Стоимость сооружения СНО с разработанными ОП

| Наименование затрат | Стоимость, руб. |
|--|-----------------|
| Закупка ветросолнечных автономных светильников 20 шт | 560000 |
| Стоимость СМР по установке светильников | 77 000 |
| Итого: | 637 000 |

Таким образом, затраты на строительство СНО с автономными уличными светильниками значительно меньше по сравнению с традиционными СНО и системами со светильником «Элегант».

Рассмотрим два направления снижения эксплуатационных затрат потребителя, а именно: 1) внедрение энергосберегающих технологий в уличном освещении (как временная мера, поскольку рост тарифов на электроэнергию всегда перекроет любые самые лучшие, а зачастую и очень затратные технические меры по её экономии); 2) принятие кардинального решения (отказ от использования покупной электроэнергии в уличном освещении). Первый путь в настоящее время уже находится в стадии промышленного внедрения – это замена уличных светильников с газоразрядными лампами на светильники со светодиодами типа «ЭЛЕГАНТ». На рынке появились предложения отечественных и зарубежных производителей, при этом предлагаемые ими светодиодные уличные светильники позволяют экономить до 50–70 % электроэнергии, затрачиваемой на уличное освещение. Это очень хорошие предложения, но не решают проблему до конца, так как при ежегодном росте тарифов на электроэнергию на 10–15 % достигнутый результат (а с ним и понесённые затраты) будет аннулирован в течение последующих 4–5 лет.

Второй путь – отказ от использования в уличном освещении покупной электроэнергии вообще – нам представляется единственно правильным. Разработанные в диссертации технические решения обеспечивают длительный, стабильный режим работы: система освещения самостоятельно включается ночью, освещая окружающее пространство, а с наступлением рассвета свет лампы автоматически выключается и остаётся выключенным до наступления следующей ночи. Расчётный срок службы автономных ОП «Страж» составляет 30 лет.

Оценить экономические преимущества инновационных технологий с различными источниками света в уличном освещении позволит сравнительный анализ систем уличного освещения с использованием выражения (4.4).

Предметом нашего анализа является оценка затрат на строительство систем уличного освещения и их последующую эксплуатацию. В качестве объек-

тов анализа нами выбраны три системы уличного освещения, отличающиеся друг от друга как проектными решениями, так и технико-экономическими показателями, а именно: а) система уличного освещения со светильниками с газоразрядными лампами высокого давления, б) система уличного освещения со светильниками на светодиодах, в) система уличного освещения со светильниками с энергообеспечением от возобновляемых источников энергии. Все три системы обеспечивают в тёмное время суток нормативную освещённость пешеходных тротуаров и дорог категории В и Б.

В сравнительных расчётах стоимостные показатели, используемые для анализа, взяты из ранее приведённых оценок стоимости СНО на тестовой базовой модели СНО-Т [49].

Общая сумма затрат на уличное освещение состоит из затрат на её строительство и эксплуатационных затрат. Капитальные затраты на строительство включают в себя затраты на оборудование и строительные-монтажные работы. Затраты на проектные работы для всех трёх систем примерно равнозначны. Эксплуатационные расходы состоят из затрат на оплату покупной электроэнергии, а также затрат на текущее обслуживание (замена сгоревших ламп, обслуживание электросети и др.) и ремонт светильников и сетей согласно нормативным документам. Все проведенные расчёты представим в виде таблицы 4.9.

Таблица 4.9-

Сравнительные показатели систем уличного освещения различного типа

| Тип системы уличного освещения (СНО) | Годовые амортизационные отчисления, руб. | Эксплуатационные расходы за год, руб. (при растущем тарифе на электроэнергию 3,4; (7,04); [11,26]; {17,12} руб./кВт·час) | | | Полные годовые затраты, руб. |
|--|--|---|-------------------|--|--|
| | | Обслуживание светильников | Обслуживание сети | Плата за электроэнергию | |
| СНО с газоразрядными лампами типа ДНаТ | 204366 | 37380 | 6834 | 105000 (183562) [347731] {532437} | 353500 (432232) [596331] {781017} |

Продолжение Таблицы 4.9

| | | | | |
|---|--------|------|------|---|
| СНО со светодиодными светильниками «Элегант» | 189792 | 2738 | 6834 | 10800 (29370) [35761] {54261} |
| СНО с автономными ветросолнечными светильниками | 76440 | 2738 | - | 79178 (79178) [79178] {79178}- |

Для визуализации проведённых расчётов представим их в виде диаграммы (рисунок 4.4).

Как следует из приведённых расчётов, ожидается непрерывный рост расходов на традиционные системы наружного освещения, в то время как рост затрат на СНО с использованием возобновляемых источников не прогнозируется.

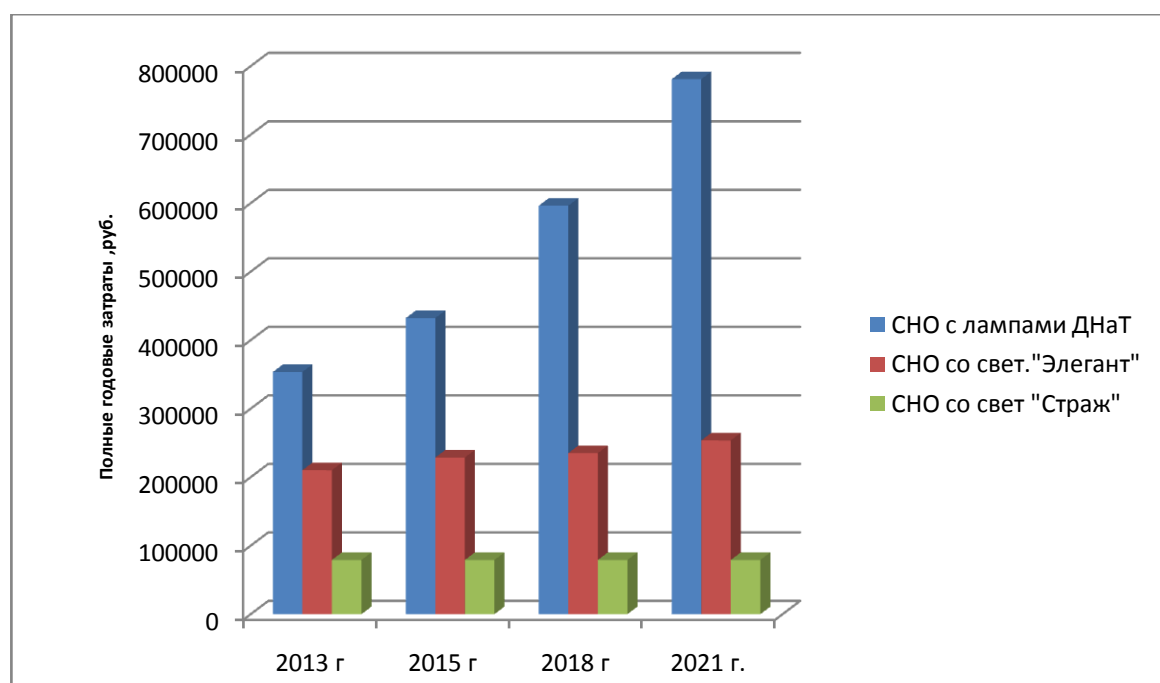


Рисунок 4.4 Диаграммы сравнения затрат различных систем наружного освещения

Расчёт срока окупаемости капвложений в строительство СНО с автономными ветросолнечными светильниками проведен по критериям финансовой

эффективности инвестиций в электроэнергетике [69]. Результаты расчётов приведены на рисунке 4.5 и в таблице 4.10.



Рисунок 4.5 Диаграмма расчёта срока окупаемости капвложений на строительство

Таблица 4.10-

Расчёт окупаемости капвложений в СНО автономный светильник

| Показатели | Обозн. | Ед. изм. | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|-----------------------------------|----------------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Выручка от реализации | В | руб | 0 | 132664 | 145024 | 175306 | 201164 | 231956 | 266770 | 306734 | 352672 | 405651 | 458556 | 527154 |
| Кап. вложения | К | руб | 6000 | 631000 | | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Тариф | Ст | руб./кВт·ч | 5,6 | 6,44 | 7,04 | 8,51 | 9,79 | 11,26 | 12,95 | 14,89 | 17,12 | 19,69 | 22,26 | 25,59 |
| потери эл.эн. | $I_{\text{пот}}$ | руб | - | - | - | | | | | | | | | |
| Отчисления на экспл. обслуживание | $I_{\text{обсл}}$ | руб | - | 2520 | 2630 | 2740 | 2850 | 2960 | 3070 | 3180 | 3290 | 3400 | 3510 | 3620 |
| Валовая прибыль | $P_{\text{вал}}$ | руб | - | 130144 | 142394 | 172566,00 | 198314,00 | 228996,00 | 263700,00 | 303554,00 | 349382,00 | 402251,00 | 455046,00 | 523534,00 |
| Налоги и сборы | Н | руб | - | 14014 | 14014 | 14014,00 | 14014,00 | 14014,00 | 14014,00 | 14014,00 | 14014,00 | 14014,00 | 14014,00 | 14014,00 |
| Чистая прибыль | $P_{\text{чст}}$ | руб | - | 116130 | 128380 | 158552,00 | 184300,00 | 214982,00 | 249686,00 | 289540,00 | 335368,00 | 388237,00 | 441032,00 | 509520,00 |
| Чистый доход (без дисконт.) | ЧД | руб | -6000 | -631000 | 0 | 158552,00 | 184300,00 | 214982,00 | 249686,00 | 289540,00 | 335368,00 | 388237,00 | 441032,00 | 509520,00 |
| Коэффициент дисконт. | а | о.е. | 1,331 | 1,21 | 1,1 | 1,00 | 0,91 | 0,83 | 0,75 | 0,68 | 0,62 | 0,56 | 0,51 | 0,47 |
| ЧДД | ЧДД | руб | -7986,00 | -763510,00 | 0,00 | 158552,00 | 167713,00 | 178435,06 | 187264,50 | 196887,20 | 207928,16 | 217412,72 | 224926,32 | 239474,40 |
| ЧДД нарастающим итогом | $\Sigma_{\text{ит}}$ | руб | -7986,00 | -771496,00 | -771496,00 | -612944,00 | -445231,00 | -266795,94 | -79531,44 | 117355,76 | 325283,92 | 542696,64 | 767622,96 | 1007096,30 |

Как следует из приведённых данных, срок окупаемости инвестиций в строительство СНО с автономными светильниками составляет 6,5 лет, что приемлемо для объектов электроэнергетики.

4.3 Разработка критерия оценки экономической эффективности источников света

Высокая стоимость светодиодов и, как следствие, высокая стоимость светодиодных ламп общего освещения делают неоднозначным соотношение энергетической эффективности и экономической эффективности применения новых источников света для потребителя светотехнической продукции. В результате анализа сопутствующих видов затрат автором было выведено аналитическое выражение (4.2) для замыкающих удельных годовых затрат (μ - критерий), позволяющее делать выводы об экономической эффективности применения различных ламп общего освещения в виде:

$$\mu = \frac{[(A + \beta) \cdot \frac{T}{\tau} + P \cdot T \cdot \frac{q}{1000}]}{\Phi} \quad (4.5)$$

где μ – замыкающие удельные годовые затраты, руб./лм ;

A – стоимость источника света, руб.;

β – затраты на замену источника света, руб.;

q – действующий тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч;

τ – номинальный срок службы источника света, ч;

T – число часов работы источника света за год, час;

P – потребляемая мощность источником света, Вт;

Φ – генерируемый световой поток, люмен.

Тот источник света будет экономически выгоден потребителю, у которого μ - критерий будет наименьшим.

Используя текущие цены на источники света различных типов и подставляя численные значения характеристик различных источников света в (4.5), рассчитаем μ - критерий для разработанных светодиодных источников света и сопоставим его с уже применяемыми типовыми источниками света. Результаты расчётов представлены в табл. 4.11.

Таблица 4.11-

Сравнительные показатели μ - критерия для ламп общего освещения

| Источник света | Потребляемая мощность, Вт | Световой поток, лм | Затраты на покупку и замену, руб. | Срок службы лампы, час | Светоотдача, лм | Стоимость единицы светового потока, руб./лм | Стоимость потреблённой электроэнергии, руб. | μ (удельные затраты на освещение), руб./лм |
|------------------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------|---|---|--|
| LED ИДЕАЛ | 2 | 600 | 150 | 30 000 | 300 | 0,25 | 9,34 | 0.03 |
| LED 14 ОгоньОк | 4,8 | 324 | 250 | 25 000 | 67,5 | 0,77 | 22,42 | 0,12 |
| LED 3x10 Днепро- вская | 7,4 | 604 | 780 | 25 000 | 81,6 | 1.29 | 34,57 | 0.15 |
| Компакт ЛЛ КИТАЙ | 15 | 370 | 210 | 3000 | 24,6 | 0,35 | 70,08 | 0,53 |
| ЛН PHILIPS Sport | 60 | 660 | 60 | 1000 | 11 | 0,09 | 280,32 | 0,59 |
| ЛНИскра | 100 | 471 | 42 | 1000 | 4,7 | 0,09 | 467,21 | 1,15 |
| LED PHILIPS | 9,4 | 451 | 1530 | 25 000 | 47,9 | 3,39 | 43,91 | 1,96 |

Как следует из приведённых результатов, импортные светодиодные лампы по замыкающим затратам менее экономичны для российского потребителя чем лампы накаливания: LED PHILIPS имеет $\mu= 1,96$ руб./лм, в то время как лампа накаливания PHILIPS Sport имеет $\mu=0,59$ руб./лм.

Экономическая эффективность отечественных светодиодных ламп достигается уже при стоимости светодиодной лампы 780 руб., когда при световом потоке 604 лм $\mu = 0,53$, и он ниже показателя самой лучшей лампы накаливания PHILIPS Sport.

В то же время на реализацию в торговые сети уже поступили светодиодные лампы «ОгоньОК» производства ООО «СВЕТОЗАР» с генерируемым световым потоком от 230 до 950 лм при цене от 210 до 350 руб. за единицу ($\mu=0,12$ руб/лм) (Приложение5). Таким образом, по состоянию на середину 2015 года, применение светодиодных ламп уже стало экономически выгодным для потребителя.

Установим связь μ - критерия со сроками окупаемости затрат потребителя на тот или иной источник света, проведём расчёт по методике оценки эффективности инвестиций в энергетические объекты, использовавшейся в разделе 4.2. В качестве доходной части принимаем доходы от экономии электроэнергии более совершенными источникам света. Расходная часть вычисляется с использованием данных, приведенных в таблице 4.11 и в методических рекомендациях. Результаты расчётов представлены на диаграмме рисунка 4.6.

Корреляция срока окупаемости и μ -критерия для системы оповещения, состоящей из 10 источников света с $\mu = 0,03; 0,53; 1,15$

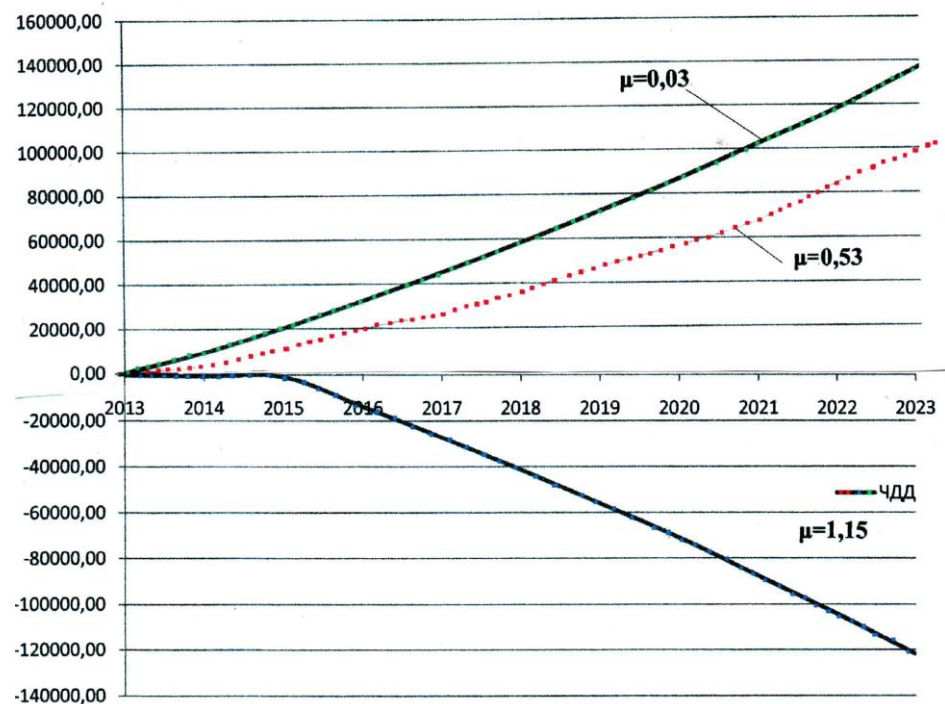


Рисунок 4.6 Корреляция μ -критерия и срока окупаемости в течение десяти лет для следующих 10 источников света: ЛН 100 Вт, $\mu = 1,15$; КЛЛ 15 Вт, $\mu = 0,53$; LED 4 Вт, $\mu = 0,03$

Как следует из приведённых расчётов, наименьший критерий μ обеспечивает наиболее быструю окупаемость затрат на источник света.

Выводы по главе

1. Доказана достаточность производства электроэнергии на преобразователе солнечной энергии (579 кВт.ч) и ветровой энергии (815,6 кВт.ч) для обеспечения круглосуточной и круглогодичной работы уличного светильника на сельских территориях Волгоградской области.

2. Установлено, что применение энергонезависимой системы наружного освещения с возобновляемыми источниками энергии снижает затраты на организацию освещения 353500 руб/год до 79178 руб/год в действующих тарифах с тенденцией повышения экономического эффекта по мере роста тарифов на покупную электроэнергию.

3. Предложен критерий оценки экономической эффективности источника света для потребителя(4.5), учитывающий затраты на приобретение, монтаж источника света, а также оплату покупной электроэнергии. Показано, что при значении $\mu = 0,53$ применение светодиодных источников света становится выгодным для потребителя.

4. Установлено, что предлагаемая система уличного освещения с автономными осветительными приборами на базе возобновляемых источников энергии для сельских территорий имеет срок окупаемости 6,5 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено, что в условиях повышения стоимости электроэнергии и электроосветительного оборудования усложняется обеспечение освещения на сельскохозяйственных территориях, увеличиваются финансовые затраты на эксплуатацию сельских систем освещения, поэтому ведутся поиски новых технологий в осветительной технике с применением возобновляемых источников энергии.

2. Разработаны конструкция и электрическая схема автономного осветительного прибора наружного освещения аэробарического типа на светодиодных источниках света с их электроснабжением от устройств преобразования солнечной и ветровой энергии. Установлено, что для обеспечения нормативов освещённости в сельской местности мощность светодиодной матрицы должна составлять не менее 20Вт, при высоте подвеса 6,5м с рекомендуемой эквивалентной термодинамической температурой светового излучения 4500К.

3. Предложена математическая модель и получено аналитическое выражение ((2.17) для расчёта электрогенерации в аэробарическом участке автономного осветительного прибора, разработана компьютерная программа для оптимизации конструктивных параметров аэробарического участка, обеспечивающего круглосуточное и круглогодичное электропитание источника света осветительного прибора.

4. Разработан светодиодный источник света с эффектом повышения коэффициента мощности в сети сельского потребителя, имеющий пониженное до 20% энергопотребление. Исследованы его энергетические и светотехнические характеристики. Получена формула (2.23) для расчёта эффекта снижения токовой нагрузки в электросети потребителя при применении такого источника.

5. Предложен аналитический критерий (4.5) для оценки экономической эффективности источника света для потребителя. Установлено, что внедрение автономных осветительных приборов для наружного освещения сельских терри-

торий является экономически обоснованным мероприятием со сроком окупаемости 6,5 лет.

Рекомендации. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании сельских систем наружного освещения, а также при выполнении требований Закона №261-ФЗ по энергосбережению. Целесообразно подготовить к мелкосерийному производству с последующей установкой на селе перспективные модели автономных осветительных приборов аэробарического типа.

Перспективы дальнейшей разработки темы: совершенствование аэротурбогенератора путём разработки аэротурбины с двумя роторами разнонаправленного вращения с направляющим сопловым аппаратом, что позволит увеличить электрогенерацию при тех же климатических условиях в точке установки осветительного прибора.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- АВТ – аэровакуумная турбина;
- БУО – блок управления освещением;
- ВИЭ – возобновляемые источники энергии;
- ВРШ – вводно-распределительный шкаф;
- ВРУ – вводно-распределительное устройство;
- ВЭУ – ветроэнергетическая установка;
- ДКУ – уличный консольный со светодиодной лампой;
- ДНаТ – дуговая натриевая лампа трубчатая;
- ДНаО – дуговая натриевая лампа;
- ДРЛ – дуговая ртутная лампа;
- ЖКУ – уличный консольный с натриевой лампой;
- ИС – источник света;
- КЛ – кабельная линия;
- КЛЛ – компактная люминесцентная лампа;
- КСС – кривая силы света;
- КТПБ – комплектно-трансформаторная подстанция блочная;
- LED – светодиод;
- ЛЛ – люминесцентная лампа низкого давления;
- ЛН – лампа накаливания;
- МГЛ – металлогалогенная лампа накаливания;
- НЛВД – натриевая лампа высокого давления;
- ОМС – опорная метеостанция;
- ОП – осветительный прибор;
- ПРА – пускорегулирующая аппаратура;
- СДИС – светодиодный источник света;
- СМР – строительно-монтажные работы;
- СНО – система наружного освещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, Л. А. Зависимость зрительного утомления от оптических свойств объектов наблюдения при светодиодном освещении [Текст] / Л. А. Абрамова, О. Е. Железникова, Е. М. Михайлова // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и электроэнергетики: сб. науч. трудов VII МНТК, 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С.11–14.
2. Абрамова, Л. А. Проблемы светодиодного освещения на объектах железнодорожного транспорта [Текст] / Л. А. Абрамова, О. Е. Железникова, Л. В. Синицина // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и электроэнергетики: сб. научных трудов VII МНТК, 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С. 28–30.
3. Абрамова, Л. А. Исследование световыводящей системы светодиода [Текст] / Л. А. Абрамова, Ю. А. Цюпак, А. В. Балашов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и электроэнергетики: сб. науч. трудов VII МНТК, 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С. 16–18.
4. Автономный светильник: патент РФ / В. С. Галуцак, А. Г. Сошинов; № 69967 МПК F21S 9/04, опубл. 10.01.2008 г. – Бюл. № 1.
5. Автономный уличный светильник: патент РФ / В. С. Галуцак, С. С. Кухарек, В. С. Носов, А. Г. Сошинов; № 92936 МПК F21K 99/00, опубл. 10.04.2010 г. – Бюл. № 10.
6. Об утверждении муниципальной программы «Реконструкция и ремонт объектов уличного освещения сельского поселения Баранцевское на 2013 год»: постановление № 160 от 17 октября 2012 г. [Текст] / Администрация сельского поселения Баранцевское. – С. 1–4.
7. Алексеенко, С. В. Нетрадиционная энергетика и энергоресурсосбережение в России [Текст] / С. В. Алексеенко // Энергосбережение – 2008. – № 1. – С. 68–73.

8. Организация уличного освещения: распоряжение №31-р от 17.07.03 / Администрация Санкт-Петербурга.
9. Айзенберг, Ю. Б. Современные проблемы эффективного освещения [Текст] / Ю. Б. Айзенберг // Энергосбережение. – № 1. – 2009. – С. 42–48.
10. Айзенберг, Ю. Б. Справочная книга по светотехнике [Текст] / Ю. Б. Айзенберг; – 3-е изд. – М.: Знак, 2008. – 951 с.
11. Айзенберг, Ю. Б. Энергосбережение в области освещения [Текст] / Ю. Б. Айзенберг // Электроснабжение. – 2006. – № 5. – С. 78–79.
12. Аунг Вин Мо. Оценка ресурсов солнечной энергетики Мьянмы [Текст]: автореф. дис... канд. техн. наук / Аунг Вин Мо, В. И. Виссарионов. – М.: МЭИ(ТУ), 2009. – 21с.
13. Ашрятов, А. А. Формирование кривой силы света светодиодного источника света [Текст] / А. А. Ашрятов, С. В. Волков // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и электроэнергетики: сб. науч. трудов VII МНТК, 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С. 5–28.
14. Бахарев И., Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А, Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: проблемы и перспективы [Текст] / И. Бахарев, А.Прокофьев, А.Туркин, А.Яковлев // СТА-Прогресс.- 2010.-№2 – С. 76-80.
15. Безруких П.П, Стребков Д.С., "Возобновляемая энергетика: стратегия, ресурсы, технологии. [Текст] / П.П. Безруких, Д.С.Стребков. М.:ГНУ ВИЭСХ,2005.-264 с .
16. Безруких, П. П. Возобновляемая энергетика как стимул развития электротехнической промышленности [Текст] / П. П. Безруких // Электро. – 2010. – № 1. – С. 9–14.
17. Васильев, В. А. Поворот к альтернативной энергетике [Текст] / В. А. Васильев // Экология и жизнь. – 2010. – № 3. – С. 26–27.

18. Виссарионов, В. И. Экологические аспекты возобновляемых источников энергии [Текст] / В. И. Виссарионов, Л. А. Золотов. – М.: МЭИ, 1996. – 76 с.
19. Волков, С. В. Расчёт и конструирование светодиодного источника света [Текст] / С. В. Волков, А. А. Ашрятов // Сб. трудов VII МНТК. – Саранск, 2009. – С. 20–23.
20. Гетерогенный фотоэлемент: патент РФ / О. А. Займидорога, И. Е. Проценко, В. Н. Самойлов; № 2217845 МПК H01L31/04, опубл. 27.11.2003.
21. Галушак, В. С. Автономный светильник эвакуационного освещения [Текст] / В. С. Галушак // Светотехника. – 2008. – № 6. – С. 55–56.
22. Светодиодный источник света: патент РФ / В. С. Галушак; № 79741 МПК H05B 37/02, заявка 2008133330/22 от 13.08.2008, опубл. 10.01.2009. – Бюл. № 1.
23. Галушак, В. С. Сравнительный анализ технико-экономических показателей традиционных и нетрадиционных энергоисточников [Текст] / В. С. Галушак // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады всероссийской научно-технической конференции; ТулГУ. – Тула, 2007. – С. 109–110.
24. Галушак, В. С. О возможности создания альтернативного энергонезависимого уличного освещения [Текст] / В. С. Галушак // Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств: VI Міжнародна науково-технічна конференція / Інститут електродинаміки НАН України. – Маріуполь, Україна, 21–23 травня, 2008. – С. 271.
25. Галушак, В. С. Первая в СССР солнечная электростанция [Текст] / В. С. Галушак // Энергетика и электрификация. – 1985. – № 1. – С. 20–21.
26. Галушак, В. С. Перспективные осветительные приборы [Текст] / В. С. Галушак // Современные направления теоретических и прикладных исследований: по материалам международной научно-практической конференции; Одесский национальный морской университет. – Одесса, 2007. – С. 30–31.

27. Галушак, В. С. Энергосберегающее направление в уличном освещении [Текст] / В. С. Галушак // Проблемы электроэнергетики: сб. науч. трудов, СГТУ. – Саратов, 2007. – С. 114–118.
28. Галушак, В. С. Резервный светильник аварийного освещения лестничных клеток многоэтажных зданий [Текст] / В. С. Галушак, В. С. Носов // Тинчуринские чтения: V Международная молодёжная научная конференция, 28–29 апреля 2010. Т 1 / КазГЭУ. – Казань, 2010. – С. 257.
29. Ионный ветросолнечный фонарь уличного освещения [Текст] / В. С. Галушак [и др.] // Актуальные проблемы электронного приборостроения МНТК, 22–23 сентября 2010 г. – Саратов, 2010. – С. 396–399.
30. Галушак, В. С. Автономный светильник для освещения лестничных клеток зданий [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов, В. С. Носов // Актуальные проблемы электронного приборостроения: междунар. науч.-тех. конф., 22–23 сентября 2010 г. – Саратов, 2010. – С. 429–432.
31. Галушак, В. С. Сравнительный анализ технико-экономических показателей традиционных и нетрадиционных энергоисточников [Текст] / В. С. Галушак, Ю. В. Лебедева // Приоритетные направления развития науки и технологий: Всерос. науч.-техн. конф.; ТулГУ. – Тула, 2006. – С. 24–26.
32. Галушак, В. С. Некоторые технико-экономические показатели возобновляемых источников энергии [Текст] / В. С. Галушак, Ю. В. Лебедева // Современные направления теоретических и прикладных исследований: матер. междунар. науч.-практ. конф., 15–25 марта 2007 г.; Одесский национальный морской университет. – Одесса, 2007. – С. 31–33.
33. Галушак, В. С. Экологические наблюдения на примере Крымской солнечной электростанции СЭС-5 [Текст] / В. С. Галушак, Ю. В. Лебедева // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: материалы Всерос. науч.-практ. конф.; КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 33–38.
34. Галушак, В. С. Экологический мониторинг солнечной электростанции [Текст] / В. С. Галушак, Ю. В. Лебедева, А. Б. Голованчиков // Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 5. – С. 138–140.

35. Галушак, В. С. Автономный светильник с использованием ЭХГ [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: материалы Всерос. науч.-практ. конф.; КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Волгоград, 2007. – С. 47–49.
36. Галушак, В. С. Автономная светотехническая установка для уличного освещения сельских поселений [Текст] / В. С. Галушак // Вестник СГАУ. – 2012. – № 9. – С. 47–49.
37. Галушак, В. С. Перспективная технология в автономных светильниках [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов // Проблемы электроэнергетики: сб. науч. тр. – Саратов, 2009. – С. 99–101.
38. Стратегия развития энергообеспечения в уличном освещении [Текст] / В. С. Галушак [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 5. – С. 162–165.
39. Галушак, В. С. Совершенствование сельского уличного освещения [Текст] / В. С. Галушак // “NAUKA I INOWACJA” MATERIALY VIII Miedzynarodwej naukowii-praktycznej konferencji, Przemysl, 07–15 pazdziernika 2012. Volume 21. – S. 42–47.
40. Галушак, В. С. Системы наружного электрического освещения от возобновляемых источников энергии [Текст] / В. С. Галушак, Г. Г. Угаров, А. Г. Сошинов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – № 7(55). – С. 15–18.
41. Галушак, В.С. Конденсаторные накопители энергии в системах электрического освещения [Текст] / В. С. Галушак, Г. Г. Угаров, А. Г. Сошинов // Электрооборудование. Эксплуатация и ремонт. – 2010. – № 11. – С. 14–17.
42. Галушак, В. С. Энергосберегающее прожекторное освещение строительных площадок [Текст] / В. С. Галушак // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер. Политехническая. – 2011. – № 2(16).
43. Лампа с питанием от солнечной энергии: патент РФ / В. С. Галушак; № 36487 МПК F21S 9/02, заявка 2003116721 от 05.06.2003, опубл. 10.03.2004. – Бюл. № 7.

44. Галушак, В. С. Системы наружного электрического освещения от возобновляемых источников энергии [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов, Г. Г. Угаров // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: сб. трудов МНТК. – Тольятти: ТГУ, 2009. – С. 19–22.

45. Галушак, В. С. Конденсаторные накопители энергии в системах электрического освещения [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов, Г. Г. Угаров // Электрооборудование. – 2010. – № 11. – С. 14–17.

46. Галушак, В. С. Новый облик уличного освещения городов и сельских поселений [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. VI Всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 15–16 дек. 2009 г. В 3 т. Т. 2. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – С. 35–40.

47. Галушак, В. С. Одна из оценок преимущества светодиодного освещения [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов, С. В. Хавроничев // MODERNIVYMOZNOSTIVEDY–2013, MaterialyIXIMedzynarodowejVPK 27, Praha, ledna-05unoga 2013 roki, Dil76, s. 76–80.

48. Галушак, В. С. Новые осветительные приборы [Текст] / В. С. Галушак // Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады Всерос. науч.-тех. конф. Т. 2. – Москва – Тула, 2006. – С. 107.

49. Галушак, В. С. Сравнительный анализ систем уличного освещения с разными видами источника света [Текст] / В. С. Галушак, Г. Г. Угаров, А. Г. Сошинов // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. V Всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 4–6 дек. 2008 г. В 3 т. Т. 1. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2008. – С. 168–171.

50. Галушак, В. С. Ветросолнечный уличный фонарь [Текст] / В. С. Галушак, С. С. Кухарек // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: VII междунар. науч.-тех. конф., 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С. 160–163.

51. Галушак В.С., Сошинов А.М., Копейкина Т.В. Разработка расчетной модели режимов работы ветросолнечного фонаря наружного освещения

[Текст] /В.С.Галушак,А.Г.Сошинов,Т.В.Копейкина//Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики : мат. XII Всерос. науч. технич. конф. с междунар. участием (Саранск, 28-29 мая 2015г.) в рамках III Всерос. светотехнич. форума с междунар. участием/ Вып. 5 / Мордовский гос. ун-т им. Н.П. Огарёва, Светотехнический факультет. - Саранск, 2015.-С. -27-33.

52. Галушак В.С.,Атрашенко О.С., Хавроничев С.В. Днченко А.М. Светодиодный уличный фонарь с цилиндрической солнечной батареей[Текст] /В.С.Галушак,О.С.Атрашенко,С.В.Хавроничев,А.М.Донченко//Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики : мат. XII Всерос. науч. технич. конф. с междунар. участием (Саранск, 28-29 мая 2015г.) в рамках III Всерос. светотехнич. форума с международным участием/ Вып. 5 / Мордовский гос. ун-т им. Н.П. Огарёва, Светотехнический факультет. - Саранск, 2015. - С. 33-38.

53. Галушак, В. С. Инновационные направления в уличном освещении городов и сельских поселений [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – № 5(2). – Т. 11. – С. 272–275.

54. Галушак, В. С. Инновационные технологии в автономных светильниках [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. V Всерос. науч.-практич. конф., г. Камышин, 4–6 дек. 2008 г. В 3 т. Т. 1. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2008. – С. 205–207.

55. Электрическая схема автономного светильника для уличного освещения [Текст] / В. С. Галушак [и др.] // Городу Камышину – творческую молодежь: матер. II регион. студенч. конф., г. Камышин, 23–24 апр. 2008 г. В 3 т. Т. 3. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2008. – С. 53–55.

56. Галушак, В. С. Энергонезависимый светильник аварийного эвакуационного освещения лестничных клеток многоэтажных домов [Текст] / В. С. Галушак, И. Ю. Рыбкина // Инновационные технологии в обучении и произ-

водстве: матер. VI Всерос. науч.-практ. конф., г. Камышин, 15–16 дек. 2009 г. В 3 т. Т. 2. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – С. 32–34.

57. Галушак, В. С. Поквартальный баланс световых энергий в районе КТИ [Текст] / В. С. Галушак, В. С. Носов, С. С. Кухарек // Городу Камышину – творческую молодежь: матер. III регион. студ. конф., г. Камышин, 23–24 апр. 2009 г. В 3 т. Т. 3. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – С. 39–40.

58. Галушак, В. С. Уличные антивандальные энергонезависимые фонари [Текст] / В. С. Галушак, И. Ю. Рыбкина // Моделирование и создание объектов энергоресурсосберегающих технологий: матер. межрегиональной науч.-практ. конф., г. Волжский, 22–25 сент. 2009 г., МЭИ (технический университет). – Волжский, 2009. – С. 79–83.

59. Галушак, В. С. Разработка стабилизаторов для светодиодных источников света [Текст] / В. С. Галушак, С. А. Петренко, А. Г. Сошинов // Городу Камышину – творческую молодежь: матер. IV регион. науч.-практ. студ. конф., г. Камышин, 14–16 апр. 2010 г. В 4 т. Т. 4. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – С. 76–78.

60. Галушак, В. С. Возможность применения электрохимических конденсаторов в системах электрического освещения [Текст] / В. С. Галушак, А. Г. Сошинов, Г. Г. Угаров // Сборник СГАУ им. Н. И. Вавилова. – Саратов, 2010. – С. 98–103.

61. Ионный фонарь уличного освещения [Текст] / В. С. Галушак [и др.] // Инновационные и актуальные проблемы техники и технологий: матер. Всерос. науч.-практ. конф. молодых учёных, г. Саратов, 26–29 дек. 2010 г. В 3 т. Т. 1 / МАИТО СГТУ. – Саратов, 2010. – С. 341–343.

62. Гелиоаэробарический фонарь уличного освещения [Текст] / В. С. Галушак [и др.] // Городу Камышину – творческую молодежь: матер. IV регион. науч.-практ. студ. конф., г. Камышин, 14–16 апр. 2010 г. В 4 т. Т. 4. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – С. 48–51.

63. Галушак, В. С. Светодиодные прожекторы для освещения строительных площадок [Текст] / В. С. Галушак, В. С. Носов // Городу Камышину –

творческую молодежь: матер. V регион. науч.-практ. студ. конф., г. Камышин, 14–15 апреля 2011 г. В 4 т. Т. 4. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2009. – С. 60–62.

64. Замена ртутьсодержащих источников света на экологически чистые светодиодные [Текст] / В. С. Галушак [и др.] // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. VII Всерос. науч.-практич. конф., г. Камышин, 22–23 дек. 2011 г. В 5 т. Т. 4. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – С. 58–59.

65. Глухарёв, В. А. Энерго- и электроснабжение предприятий АПК на основе автономных возобновляемых источников энергии [Текст] / В. А. Глухарёв, В. В. Володин, А. К. Тверской // Актуальные проблемы АПК: материалы МНПК. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2010. – С. 110–113.

66. Григораш, О. В. Электроэнергетика сельского хозяйства [Текст] / О. В. Григораш, Е. А. Власенко, Н. Н. Кирьян // Актуальные проблемы АПК: материалы МНПК. – Саратов: Издательство «КУБиК», 2010. – С. 127–128.

67. Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года / Утверждена Постановлением Правительства РФ от 27.01.2011. – М., 2011. – 143 с.

68. ГОСТ 8045-75. Светильники для освещения улиц, дорог, площадей. Общие технические условия.

69. Гусева, Н. В. Инвестиционное проектирование в энергетике [Текст] / Н. В. Гусева, К. Н. Бахтиаров. – Волгоград: РПК «Политехник», 2006. – 18 с.

70. Дементьева, Е. И. АЭС и окружающая среда [Текст] / Е. И. Дементьева // Экология и жизнь. – 2010. – № 4. – С. 72–75.

71. Долин, Е. Российские светодиоды [Текст] / Е. Долин // Современная светотехника. – № 1. – 2009. – С. 42–44.

72. Естественное и искусственное освещение. Методики расчёта. – М.: Атомэнергоиздат, 1980. – 312 с.

73. Иванов, А. В. Энергосберегающие технологии в освещении [Текст] / А. В. Иванов // Электрооборудование. – 2009. – № 16. – С. 27–28.

74. Ивлев, С. Н. Расчёт основных тепловых характеристик светодиодов [Текст] / С. Н. Ивлев // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и электроэнергетики: сб. науч. тр. VII МНТК, 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С. 28–30.
75. Камышин (атлас) / МУП АПБ. – Камышин, 2000. – 26 с.
76. Электрохимический генератор на основе метанольных элементов: патент РФ / З. Р. Капричев; № 2206939 МПК H01M8/04, опубл. 2003.06.20.
77. Карзаев, В. И. Нормализация тарифов в электроэнергетике как средство обеспечения инвестиционно-амортизационных ресурсов [Текст] / В. И. Карзаев, И. Н. Ковалёв // Энергосбережение. – 2009. – № 2. – С. 18–23.
78. Ковалёв, И. Н. Оценка перспективной себестоимости электроэнергии [Текст] / И. Н. Ковалёв // Энергосбережение. – 2007. – № 6. – С. 32–35.
79. Ковшова, А. С. Разработка рекомендаций по определению области применения осветительных установок со светодиодами [Текст] / А. С. Ковшова, Л. А. Абрамова, О. Е. Железникова // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и электроэнергетики: сб. науч. тр. VII МНТК, 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С. 3–6.
80. Конец электролампочкам? [Текст] // Наука и жизнь. – 2000. – № 5. – С. 20.
81. Кутателадзе, С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление [Текст] / С. С. Кутателадзе. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 364 с.
82. Кухтин, Н. Ю. Энергоэффективное освещение [Текст] / Н. Ю. Кухтин, Ю. Тихонолва // Энергосбережение. – 2009. – № 1. – С. 49.
83. Кирпичёв, А. В. Демонстрационная модель линзы Френеля для концентрации солнечных лучей [Текст] / А. В. Кирпичёв, И. М. Кирпичникова // Тинчуринские чтения: материалы докладов IX ММНК, 23–25 апреля 2014 г. Т. 1. – Казань, 2014. – С. 427–429.
84. Проведение изыскательских работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергети-

ческих установок РД 52.04.275-89: методические указания / Утв. Госкомгидрометом СССР 16.08.90 // ЦКБ ГМП. – М., 1990. – 38 с.

85. МГСН 23-5-95. Естественное и искусственное освещение. Межгосударственные строительные нормы // МНТКС. – Минск, 1995.

86. Мелешко, В. П. Опасный соблазн. Воздействие на климат в борьбе с глобальным потеплением [Текст] / В. П. Мелешко, В. М. Катовцев, Н. К. Кароль // Экология и жизнь. – 2010. – № 2. – С. 44–53.

87. Методические рекомендации по определению стоимости эксплуатации объектов уличного освещения / ЗАО «Муниципальной экономики и права». – М., 2006. – 28 с.

88. Мухитдинов, М. Светоизлучающие диоды и их применение [Текст] / М. Мухитдинов, Э. С. Мусаев. – М.: Радио и связь, 1988. – 80 с.

89. Михляев, В. В. Автоматическая система управления освещением [Текст] / В. В. Михляев // Тинчуринские чтения: материалы докладов IX ММНК, 23–25 апреля 2014. Т. 1. – Казань, 2014. – С. 249.

90. Оглоблина, М. Е. Экономическая стратегия энергосберегающей политики [Текст] / М. Е. Оглоблина // Энергосбережение. – 2009. – № 1. – С. 4–8.

91. Пименов, В. С. Анализ и оценка взаимосвязи тарифов на энергоносители и инфляции. Принцип «сообщающихся сосудов» [Текст] / В. С. Пименов, П. В. Каранаев // Тинчуринские чтения: материалы IX ММНК, 23–25 апреля 2014 г. Т. 3. – Казань, 2014. – С. 59–60.

92. Полищук, А. Г. Перспективы применения светильников со светодиодами для энергосберегающего освещения [Текст] / А. Г. Полищук, А. Н. Туркин // Энергосбережение. – 2008. – № 2. – С. 52.

93. Рыхлов, А.Б. Климатологическая оценка ветроэнергетического потенциала на различных высотах (на примере Юго-Востока европейской территории России) [Текст] автореф.дис...док.географ.наук. – Казань: КпФУ им. В.И.Ульянова-Ленина, 2012. – 36с.

94. Распределение ресурсов энергии солнечного излучения по территории России [Текст] / О. С. Попель [и др.] // Энергия: экономика, техника, экология. – № 1. – 2007. – С. 15–21.
95. ПУЭ. Раздел 6. Электрическое освещение. – М.: Изд. НИЦ ЭНАС, 2004.
96. Расчёт режимов аэробарического ветросолнечного уличного фонаря «Страж»: Свидетельство №2013615418 о государственной регистрации программы для ЭВМ / В. С. Галушак, О. И. Доронина, А. Г. Сошинов, О. В. Евтихина; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 07.06.2013.
97. Устройство для преобразования энергии ветра в электричество и беспроводного освещения объекта: патент России / А. П. Рыбкин; № 2435556.
98. Сайфутдинова, В. Р. К разработке ряда критериев для характеристики качества светодиодов [Текст] / В. Р. Сайфутдинова, Р. Х. Тукшаитов // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и электроэнергетики: сб. науч. тр. VII МНТК, 26–27 ноября 2009 г. – Саранск, 2009. – С. 14–16.
99. Салкин, Ф. В. Энегретика и окружающая среда [Текст] / В. Ф. Салкин, А. А. Копаев, И. З. Копп. – Л.: Энергоиздат, 1981.
100. Самсонов, А. Л. Декабрьский резонанс. К итогам Всемирной конференции ООН по изменению климата [Текст] / А. Л. Самсонов // Экология и жизнь. – 2010. – № 1. – С. 4–7.
101. Светодиодный прожектор стал реальностью // Hit разработки в электронике. – 2004. – № 6. – 25 с.
102. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение // Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – М.: Минрегионразвития РФ, Пр. от 27 декабря 2010г. № 783.
103. Сошинов, А. Г. Накопители энергии в электроэнергетических системах [Текст] / А. Г. Сошинов, Г. Г. Угаров / Под ред. д. т. н., проф. Г. Г. Угарова. – Волгоград: РПК «Политехник», 2007. – 105 с.

104. Стребков, Д. С. Технология крупномасштабной солнечной энергетики [Текст] / Д. С. Стребков // Электро. – 2009. – № 3. – С. 2–6.
105. Резонансная система электроосвещения на основе возобновляемых источников энергии [Текст] / Д. С. Стребков [и др.] // Труды XV МНТК, г. Тамбов, 18–19 сентября 2009 г. – Тамбов, 2009. – 500 с.
106. СТ СЭВ 172-75. Светильники электрические для наружного освещения. Технические требования и методы испытаний.
107. Табунщиков, Ю. А. Энергетические возможности наружного климата [Текст] / Ю. А. Табунщиков, Б. Л. Акопов // Энергосбережение. – 2000. – № 4. – С. 50–54.
108. Титова, М. Н. Применение нанотехнологий для энергосбережения в наружном освещении и ЖКХ Москвы [Текст] / М. Н. Титова // Энергосбережение. – 2008. – № 5. – С. 68–69.
109. Тихомиров, К. В. Теплотехника, теплоснабжение и вентиляция [Текст] / К. В. Тихомиров. – М.: Стройиздат, 1974. – 285 с.
110. Удалов, С. Н. Возобновляемые источники энергии [Текст] / С. Н. Удалов. – Новосибирск: Учебники НГУ, 2007. – 431 с.
111. Уличный светильник с питанием от солнечной и ветровой энергии: патент России / В. С. Галушак; № 2283985 МПК F21S 9/02 с приоритетом от 09.04.2004.
112. ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», 23 ноября 2009 года № 261 ФЗ.
113. Федорищев, А. Ю. Концептуальные вопросы развития наружного освещения города [Текст] / А. Ю. Федорищев // Энергосбережение. – 2008. – № 4. – С. 4–5.
114. Федорищев, А. Ю. Освещение города: энергосберегающие мероприятия [Текст] / А. Ю. Федорищев // Энергосбережение. – 2007. – № 3. – С. 6–8.

115. Харченко, Н. В. Индивидуальные солнечные установки [Текст] / Н. В. Харченко. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
116. Шуберт, Ф. Светодиоды [Текст] / Ф. Шуберт / Пер. с англ. Под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
117. Щербаков, Р. Огни Москвы [Текст] / Р. Щербаков // Наука и жизнь. – 1990. – № 4. – С. 58–59.
118. Эннс, О. Интеллектуальные системы освещения [Текст] / О. Эннс // Энергосбережение. – № 1. – 2008. – С. 58–60.
119. Aman H., Brown J.J., Krames M.R. and Heramans P.L. «Yig energy efficiency ligh-emmitting diodes»[Текст] / Special Issue of IEEE, J. Sel.Top, Quantum Elektron.8, 185 (2002).
120. Berson D.M., DunnF.A. and Takao M. “Photo transduction by retinal ganglion cells that the circadian clock” [Текст]/ Science 295, 1070 (2002).
121. Chen C.H., Hargis M., Woodall J.M., Melloch M.R., Reynolds J.S., Yablonovitch E., and Wang W. «GHz bandwidth GaAs light-emitting diodes» [Текст] /Appl. Phys. Lett. 74, 3140 (1999).
122. Eriskon R., Angkititrakul S., Al-Naseem O., Lujan G., «Novel Power Electronics Systems»[Текст] / NREL/SR-500-33196 (2002).
123. Electronics Systems for Wind Energy»[Текст] / NREL/SR-410-32187 (2001).
124. James P.A.B., Bahaj A.S. «Holographic optical elements: Various principles for solar control of conservatories and sunrooms»[Текст] / Solar Energy. 2005. T. 78. № 3. – С. 441–454.
125. Gueymard C.A., Myers D.R. «Evaluation of conventional and high-performance routine solar radiation measurements for improved solar resource, climatologically trends, and radiative modeling»[Текст] /Solar Energy. 2009. T. 83. № 2. p. 171–185.
126. Goetz W. «White Lighting (illumination) with LEDs»[Текст] / Fith International Conference on Nitride Semiconduct0rs, Nara, Japan, May 25–30 (2003).

127. Holcomb M.O., Mueller G.O., Collins D. «The LED light bulb: Are we there yet? Progress and challenges for solid-state illumination»[Текст] / Conference on Lasers and Electro – Optics (CLEO), Baltimore, Maryland, June 1–6 (2003).
128. Kaufman U., Kunzer M., Köhler K., Obloh H., «Ultraviolet pumped tricolor phosphor blend white emitted LEDs»[Текст] / Phys.Stat.Sol. (a) 188, 143 (2001).
129. Keiko N.A., Stepanova L.G., Verochkina E.A., Larina L.I., Chuvashov Y.A.. «Unexpected one-pot synthesis of 2,4-dialkylthiopentanedials by the reaction of alkylthioacetic aldehydes with diazomethane and diethylamide»[Текст] / Arkivoc. – 2008. – V. XVII. – P. 184–191.
130. Krames M.R. «High-brightness FlGaInP light-emitting diodes Proceedings»[Текст] / of SPIE 3938.2 (2000).
131. Lui Y. «Passive componentstested by superluminescent diodes» [Текст] / February issue of WDM Solutions p.41 (2000).
132. Luo H., Kim J.K., Schubert E.F., Cho J., Sone C. and Pac Y. «Strongly enhanced phosphor efficiency in GaInN White light-emitting diodes using remote phosphor configuration and diffuse reflector cup»[Текст] / Jpn. J. Appl. Phys.-Express Letter 44 L 649 (2005).
133. Morita D., Yamamoto M., Akaishi K., Matoba K., Yasumoto K., Kasai Y., Sano V. «Watt-class high-output-power 365 nm ultraviolet light-emitting diodes» [Текст] / Jpn. J. Appl, phys. 43, 5945 (2004).
134. Musial W., Btterfield S., Boone A «Feasibility of floating platform systems for wind turbines».[Текст] / NREL/SR -500-33191. 2004.
135. «Model for Determination of Solar Energy Potential» [Текст] /Energy, Exploration &Exploitation, p.281–292 Wol.26 №5, October 2008.
136. Narukawa Y. «White light LEDs» [Текст] /Optics & Photonics News 15, № 4 p.27 (2004).
137. Patel Mukund R. «Wind and Solar Power Systems» [Текст] / L.; N.Y.; Wachington, D.C., CRC Press, 2000.

138. Pozo-Gonzalo C., Salsamendi M., Pomposo J.A., Grande H. – J., Schmidt E.Yu., Rusakov Yu.Yu., Trofimov B.A. «Influence of the Introduction of Short Alkyl Chains in Poly(2-(2-thienyl)-1H-pyrrole) on its Electro chromic Behavior» [Текст] /Macromolecules. – 2008. – V. 41, N 19. – P. 6886–6894.
139. Radkov E., Bompiedi R., Srivastava A.M., Setlur A.A. and Becker C. «White light with UV LEDs» [Текст] //Proc. SPIE 5187, 171 (2004).
140. «Reflector cup» Jpn. J. [Текст] / Appl. Phys.-Express Letter 44 L 649 (2005).
141. Renewable Energy's Potential and Solutions[Текст] /May 3–8, 2008, San Diego, Town and Country Resort & Convention Center.
142. Steigerwald D.A., Rudaz S.L., Thomas K.J. and Imler W.R. «Electrode structures for light-emitting devices»[Текст]:US Patent 6,307,218 (2001).
143. W., Scherer M., Karnutsch C., Plobl A., Wegleiter W., Schand S., Neubert B. and Streubel K. «High-efficiency red and infrared light-emitting diodes using radial out coupling taper»[Текст] // IEEE Sel.Top Quantum Electron. 8, 256 (2002).
144. Tomi Kuntze «All fakts for choosing LED optiks correctly»[Текст] / LED professional review, № 10, 2009.
145. Vorobiev Yu., González-Hernández J., Vorobiev P., Bulat L. «Thermal-photovoltaic solar hybrid system for efficient solar energy conversion»[Текст]/ Solar Energy. 2006. T. 80. № 2. P. 170–176.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Патент РФ № 92936

415709
8014
11325

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ
НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ
№ 92936

АВТОНОМНЫЙ УЛИЧНЫЙ СВЕТИЛЬНИК

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградский государственный технический университет (ВолГТУ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2009142578**
Приоритет полезной модели **18 ноября 2009 г.**
Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **10 апреля 2010 г.**
Срок действия патента истекает **18 ноября 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам


 **Б.П. Симонов**

Продолжение Приложения 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU**⁽¹¹⁾ **92 936**⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
F21K 99/00 (2010.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ (титульный лист)

(21), (22) Заявка: 2009142578/22, 18.11.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.11.2009

(45) Опубликовано: 10.04.2010 Бюл. № 10

Адрес для переписки:
400131, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, отдел
интеллектуальной собственности ВолгГТУ

(72) Автор(ы):

Галушак Валерий Степанович (RU),
Сошинов Анатолий Григорьевич (RU),
Носов Владимир Сергеевич (RU),
Кухарек Сергей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования Волгоградский
государственный технический университет
(ВолгГТУ) (RU)

(54) АВТОНОМНЫЙ УЛИЧНЫЙ СВЕТИЛЬНИК

(57) Формула полезной модели

Автономный уличный светильник, содержащий светодиодную панель, электрогенератор, датчик освещенности и столб, внутри которого расположены электрогенератор и аккумулятор, отличающийся тем, что на валу электрогенератора установлена аэровакуумная турбина, наружная стенка столба выполнена в виде "теплых" остекленных ящиков с черной теплопроводной поверхностью для использования энергии солнца, а в верхней части столба установлен дефлектор для использования энергии ветра, причем светильник снабжен блоком управления освещением, содержащим датчик движения и акустический датчик.

RU
9
2
9
3
6
U
1

Приложение 2

Свидетельство 2013615418

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

25.06.13
KTA
V2023

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2013615418

**Расчет режимов работы аэробарического
ветросолнечного уличного фонаря «Страж»**

Правообладатель(ли): **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный технический университет» (RU)**

Автор(ы): **Галушак Валерий Степанович (RU), Сошинов Анатолий Григорьевич (RU), Доронина Ольга Ивановна (RU), Евтехина Оксана Викторовна (RU)**

Заявка № 2013612954

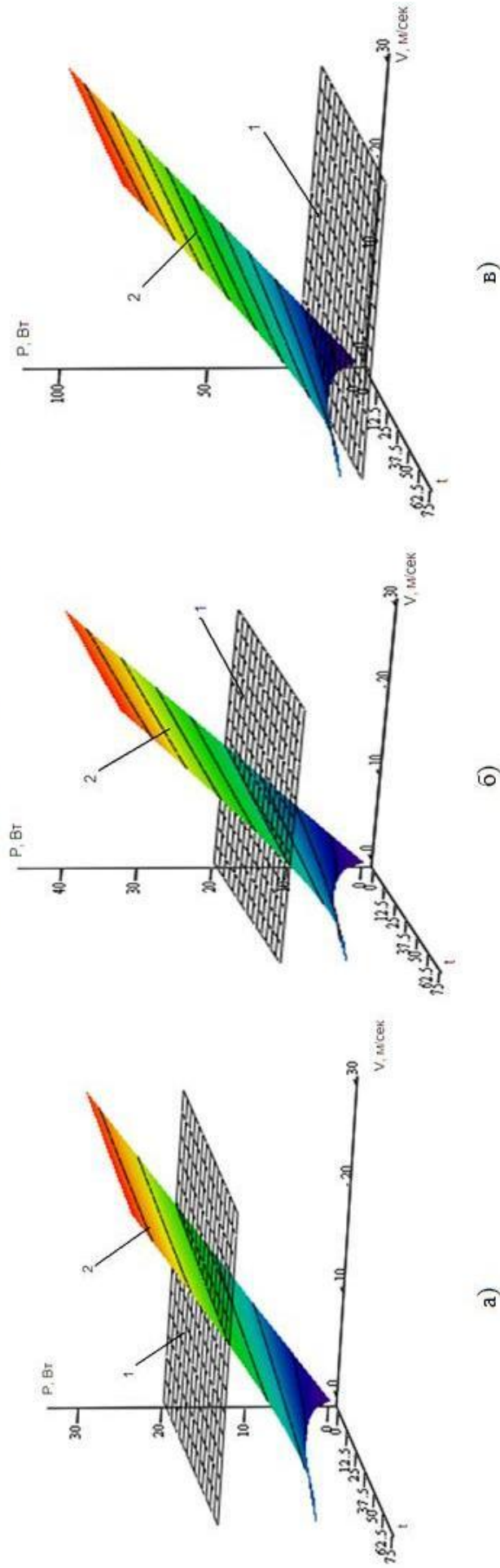
Дата поступления 11 апреля 2013 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
07 июня 2013 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

Приложение 3
Расчёт баланса энергий аэробарического участка



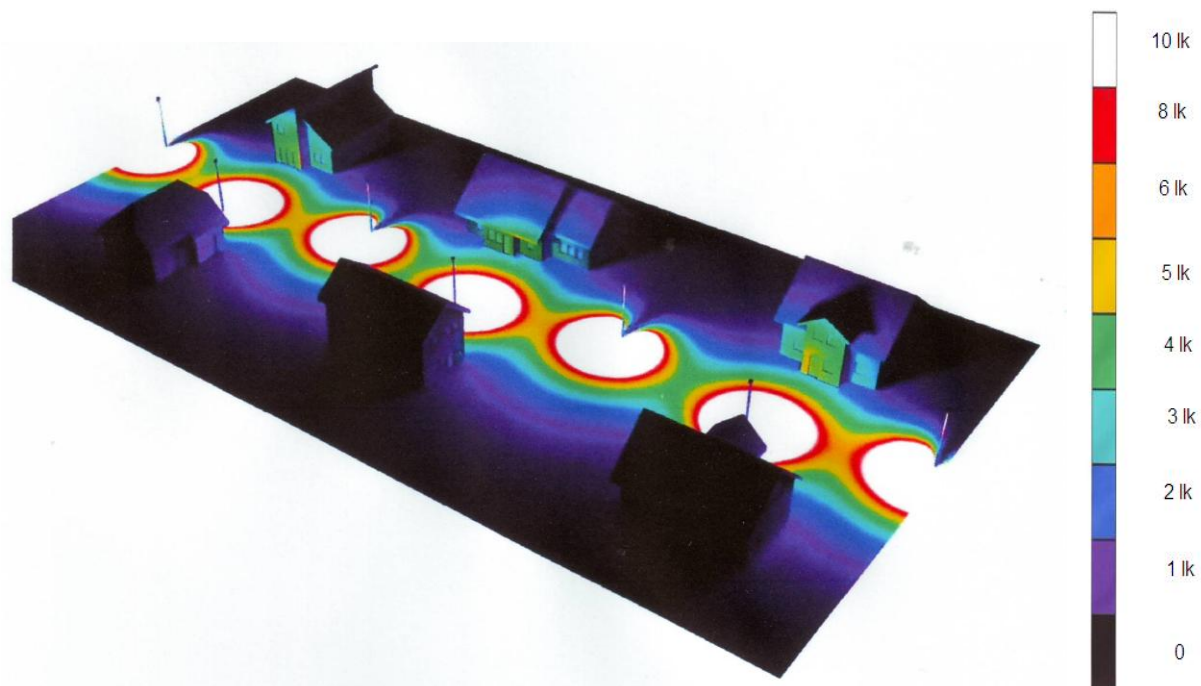
Расчётный баланс энергий при $P_{\text{треб}} = 20$ Вт для различных диаметров аэробарического участка:

а) $D = 0,215$ м, б) $D = 0,319$ м, в) $D = 0,515$ м;

1 – потребляемая светильником мощность $P_{\text{треб}}$; 2 – генерируемая электрическая мощность $P_{\text{ген}}$

Приложение 4

Расчёт наружного освещения села



Расчётная освещённость сельской улицы с системой наружного освещения на базе ветросолнечных фонарей аэробарического типа

Приложение 5

Производство светодиодной продукции



Лицензионное производство светодиодных ламп, светодиодных матриц и светильников наружного освещения на заводе ООО «СВЕТОЗАР», г. Волгоград

Приложение 6

Справка о внедрении результатов работы



ООО «Светозар»

Ул. Никитина, д. 2, Волгоград, 400059

Тел.: (8442) 43-05-98

ОГРН 1113460002171, ИНН 3445116118, КПП 344701001

Волгоградское ОСБ № 8621 г. Волгоград

БИК 041 806 647, к/с 3010 1810 1000 0000 0647

р/с 4070 2810 9110 0008 0149 (RUR)

В Диссертационный совет Д 220.061.03

410012, г.Саратов, ул. Советская , д. 60

Справка о внедрении

Настоящим подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Галушак В.С. на тему: «Наружное электроосвещение сельскохозяйственных территорий от возобновляемых источников энергии» обладают актуальностью, представляют практический интерес в части запатентованных автором схемных решений и были использованы при разработке технологии изготовления энергетически эффективных осветительных приборов общего и наружного освещения.

Генеральный директор
ООО «Светозар»



Н.Н. Пономарёв

М.П.