

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева

УДК 681.5

На правах рукописи

ЖАПАРОВА АЙЖАН ТОЛЕУБЕКОВНА

Smart технологии контроля и управления системами энергообеспечения
автономного объекта

6D070200 –Автоматизация и управление

Диссертация на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:

доктор технических наук,
профессор, академик КазНАЕН
Квасов А.И.
PhD, профессор
Györök György

Республика Казахстан
Усть-Каменогорск, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ SMART ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В АВТОНОМНОМ ОБЪЕКТЕ	10
1.1 Современное состояние генерации электро и теплоэнергии из возобновляемых источников	10
1.2 Ресурсы возобновляемой энергии в Казахстане	14
1.3 Smart технологий как концепция инновационного развития энергетики: исходные положения для развития в Казахстане	18
1.4 «Интеллектуальное» здание: концепции и тенденции развития	23
1.5 Выводы по главе	24
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА	25
2.1 Теория использования организации систем автономного объекта	25
2.2 Моделирование комплекса системы энергообеспечения автономного объекта несколькими источниками генерации энергии	32
2.3 Исследование системы низковольтного освещения автономного объекта с использованием солнечной панели	39
2.4 Оптимизация процесса автоматизированного контроля и управления температурой в автономном объекте	43
2.5 Выводы по главе	49
3 SMART ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА: АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ	50
3.1 Анализ исследования низковольтной системы освещения	50
3.2 Метод управления системы энергообеспечения с использованием Smart контроля управления	53
3.3 Управление контроллером системы энергообеспечения автономного объекта с элементами Smart технологии	63
3.4 Разработка модели оптимального управления нормативной температурой в автономном объекте	66
3.5 Вывод по главе	84
4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТОК И РЕКОМЕНДАЦИЙ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ	85
4.1 Практическое применение низковольтной системы освещения в автономном объекте	85
4.2 Исследование работы системы энергообеспечения от солнечной панели в пакете MatLab	91
4.3 Практическая реализация модели количественной оценки ошибки контроля параметрами микроклимата в автономном объекте	96
4.4 Автоматизированная система управления энергообеспечением автономного объекта	105
4.5 Мониторинг качества вырабатываемой энергии за счет ВИЭ системы	

энергообеспечения автономного объекта	107
4.6 Вывод по главе	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	111
ПРИЛОЖЕНИЯ	122

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

1 СНиП РК 2.04-01-2001 «Строительные нормы и правила. Строительная климатология»;

2 СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» на русском языке, продленного действия на территории РК с 1.01.1992 г. письмом Госархстроя РК от 6.01.1992 г. №АК-6-20-19 и рекомендуемого к применению с письмом Минстроя РК от 03.03.97 г. №АК-12-1-9-318 и перевод на государственный язык;

3 СНиП. РК. 3.02-02-2001. Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства Строительные нормы и правила РК. «Общественные здания и сооружения» Астана 2002;

4 СНиП РК 4.02-05-2001 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;

5 СНиП РК 2.04.05-2002 «Естественное и искусственное освещение»;

6 Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении» №210-1-ЗРК от 25.12.1997.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В данной диссертации применяют следующие обозначения и сокращения:

ВИЭ - нетрадиционные возобновляемые источники энергии;
ПРООН - Программа развития ООН;
МЭА – Международное Энергетическое Агентство;
КПД - коэффициент полезного действия;
ВУ – ветровые;
ГЭС – гидроэлектростанция;
ТЭЦ - теплоэлектроцентраль;
ВУ – ветровые установки;
СУ – солнечная установка;
СП – солнечная панель;
ТНУ - теплонасосная установка;
ВЭС - ветроэлектростанция;
ВЭУ – ветровые электрические станции;
БГУ – биогазовая установка;
МООС – международная ;
ВТРБ – ветровая роторная турбина Болотова;
АПК – Агропромышленный комплекс;
СЭС – солнечная электростанция;
СЭО – система энергообеспечения;
ТНС – тепловой нагрузкой среды;
САР – система автоматического регулирования;

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Перспективы устойчивого развития экономики Казахстана, как и других развивающихся стран, по мнению Президента Н.А. Назарбаева связаны с внедрением новой модели «инклюзивной» экономики, основанной на концепции Smart – основы научно – технических и инновационных преобразований. Наиболее значимым факторами, определяющими приоритетное развитие Smart – технологий являются:

- тенденции полной автоматизации технологических процессов и производства;
- огромные масштабы и перспективы развития компьютерных технологий;
- появление новых технологий, материалов, приборов обеспечивающих высокий уровень и комфортность жизни («Умный дом», «интеллектуальная» сеть и т.д.);
- необходимость соблюдения экологических норм, снижения воздействия на окружающую среду, в т.ч. и в области регенерации энергии (ВИЭ, СЭС, ВЭУ, и т.д.)

2016 год (по данным агентства «Energy media» [147]) стал поворотным для развития чистой энергетики: цены на энергию солнца упали ниже \$25 за один МВт/ч, в Великобритании ветряные станции уже обеспечивают почти четверть потребностей страны в электроэнергии, а суммарные глобальные инвестиции в низкоуглеродную энергетику в ближайшие годы могут превысить 1 трлн. долларов, треть из которых вложит один лишь Китай.

В рамках Парижского соглашения, принятого в декабре 2015 года во время Конференции ООН об изменении климата, более 60 стран по всему миру согласились разработать национальные программы по снижению уровня выбросов углекислого газа и перейти на низкоуглеродные источники электроэнергии. В первую очередь, это необходимо для того, чтобы удержать повышение температуры на планете в пределах 2°C с начала индустриальной эпохи и избежать глобальной климатической катастрофы, которую предсказывают ученые.

Однако на бурное развитие чистой энергетики в 2016-м году повлияли не только экологические, но и экономические соображения. По данным последнего исследования компании Lazard, энергия солнца и ветра в США теперь стоит меньше, чем ядерная, угольная или газовая, даже без учета государственных субсидий. Это означает, что ведущим энергетическим компаниям больше не выгодно вкладываться в традиционную энергетику.

Для Казахстана одним из приоритетных являются развитие АПК, только в 2016 году в условиях кризиса в эту отрасль дополнительно инвестируется 97 миллиардов тенге, что свидетельствует об остроте стоящих перед отраслью проблем. Одной из целей разрабатываемой в настоящее время «Стратегии развития АПК Казахстана» является создание оптимальной социальной инфраструктуры села, предоставляющей сельским жителям (фермерам) совершенно другие уровни комфорта и безопасности. Это можно достичь путем

внедрения автоматизированных комплексов управления, которые регулируют и контролируют работу систем энергоснабжения, отопления, освещения, кондиционирования, предупреждения о неполадках в работе систем. Эти «интеллектуальные» объекты могут быть различного масштаба и назначения – бытового, жилого, производственного, сельскохозяйственного, перерабатывающего предприятия АПК, стационарные или передвижные (типа юрты), при этом в зависимости от его предназначения формируется нагрузки на системы (потребности объекта) и исполнительные органы (источники генерации теплоснабжения, автоматизации, контроля и т.д.) для обеспечения работоспособности такого интеллектуального объекта, его комфортности, безопасности.

Использование солнечной энергии для энергообеспечения автономных объектов является одной из актуальной задачей как в Казахстане, так и во всем мире.

В настоящее время происходит масштабное внедрение комплексов солнечных батарей и коллекторов во многих странах Европы и Азии. Так в Германии на долю солнечной энергии приходится приблизительно 20% от всей энергией вырабатываемой за счет возобновляемых источников энергии.

Разработка Smart технологии контроля и управления системами энергообеспечения автономного объекта позволяет реализовать национальные программы решающие вопросы Парижского соглашения.

Актуальность так же подчеркивается разработкой в диссертации безопасной низковольтной системы освещения, интегрируемой с солнечными панелями (батареями).

Основная идея работы – создание автоматизированной системы энергообеспечения управления автономным объектом.

Цель работы – разработать Smart технологию контроля и управления системами энергообеспечения автономного объекта.

Объект исследования–система энергообеспечения автономного объекта.

Предмет исследования – автоматизация управления системой энергообеспечения автономного объекта с использованием ВИЭ и компьютерных технологий.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались основные положения и методы теории автоматического управления, теория эксперимента, методы математической статистики.

Основные задачи работы

1 Изучение современного состояния Smart технологий и перспективы их применения в автономном объекте;

2 Исследование системы низковольтного освещения автономного объекта с использованием солнечной панели;

3 Моделирование систем автоматизации энергообеспечения автономного объекта;

4 Разработка модели оптимального управления нормативной температурой в автономном объекте;

5 Разработка Smart центр управления автоматизированными системами энергообеспечения автономного объекта.

Научная новизна (защищаемые положения):

1 Разработана автоматизированная система низковольтного светодиодного освещения;

2 Создан макет прибора автоматического регулирования температуры в автономном объекте;

3 Реализована имитационная модель оценки мощности системы энергообеспечения автономного объекта;

4 Создан Smart – центр управления с целью оптимизации процессов (технологий) в автономном объекте для бытовых и производственных нужд.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основана на корректном использовании теории автоматического управления, теории эксперимента. Достоверность основана на сравнении теоретических и экспериментальных результатов, а так же положительной оценки полученной на международных конференциях.

Практическая ценность заключается в повышении качества и эффективности технологических процессов, технологического уровня энергообеспечения, освещения и создание Smart центра автономного объекта посредством автоматизации управления с использованием компьютерных, информационных технологий. Подтверждаются актами внедрения АО «KEGOC» «Восточные МЭС» (приложение А) и ТОО «ОБЛГРАДПРОЕКТ» (приложение Б), ВКГТУ им. Д.Серикбаева (приложение Е), патентом №68645 «Осветительный прибор» от 30.06.2010 и свидетельствами на интеллектуальную собственность «Программа «КАЭС-1» Конструирование и качественный анализ электрических схем» №1605 от 22.10.10г. и «Программа «ПДА-1» диспетчеризации автоматизированного управления энергообеспечением «Умного дома» №2396 от 17 ноября 2016г.(приложения В – Д).

Апробация работы. Основные положения диссертации, ее отдельные решения и результаты докладывались на заседаниях кафедрах «Приборостроение и автоматизация технологических процессов» и «Энергетика и техническая физика» ВКГТУ им. Д. Серикбаева, на международных и научно – технических конференциях и школах семинарах «Инновационные технологии и исследования направленные на развитие зеленой энергетики и глубокую переработку продукции». – Усть – Каменогорск, 2013г., Symposium on Applied Informatics and Related Areas «NewFaculty, NewAbility!» (AIS-2014)), Szekesfehervar, Hungary, 2014г., «Technical sciences: Modern Issues and development prospects». Sheffield, United Kingdom, 2014г., Зеленая экономика – будущее человечества». – Усть – Каменогорск, Казахстан, 2014г., «Procedia Engineering» (ICIE-2015), Netherlands. 2015г., «Инженерия для освоения космоса». – Томск, 2016г, на международном симпозиуме «11th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas. Szekesfehervar. Hungary. 2016.

Личный вклад автора.

- Постановка проблемы, формулирование и решение поставленных задач, практические результаты и рекомендации по внедрению полученных лично автором диссертации.
- Проведение натурных экспериментов с низковольтной системой освещения, подтверждённых актом от ВКГТУ им. Д. Серикбаева (приложение Е)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, из которых 2 статьи опубликованы в зарубежном журнале, которые входят в базу Scopus, 6 статей опубликованы в сборниках трудов международных научных конференций, 6 статей статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 главы, заключения, списка использованной литературы и приложений, 126 страниц.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ SMART ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В АВТОНОМНОМ ОБЪЕКТЕ

1.1 Современное состояние генерации электро и тепловой энергии из возобновляемых источников

В соответствии с Посланием Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева народу Казахстана, от 30 ноября 2015г. актуальными становятся вопросы повышения энергоэффективности в экономике. Президент РК делает акцент на необходимость концентраций усилий на внедрении энергосберегающих и экологически чистых технологий [1, 2]. Казахстан обладает значительными возможностями поэтапной переориентации энергетики на использование возобновляемых источников. Потенциальные резервы использования данных ресурсов в Казахстане оцениваются в 12 млрд. долл. США в год [3].

На сегодняшний день государственная политика в области альтернативной энергетики и нетрадиционных возобновляемых источников отражена в Законах «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» [5], «Об электроэнергетике» [4] и «Об энергосбережении» [6], а также в Стратегии индустриально-инновационного развития РК до 2015 гг. [7, 8] и Концепции перехода Республики Казахстан к устойчивому развитию на период 2007-2024 гг.

В настоящее время доля возобновляемых источников энергии в Казахстане составляет порядка 1%, от общей выработки энергии, исключая ГЭС.

Общая установленная мощность малой ветроэнергетики по всему миру достигло 443,3 МВт, а общая установленная мощность большой ветроэнергетики мира - 240 ГВт по состоянию на конец 2010 года. Малая ветроэнергетика составляет 0,18% от большой ветроэнергетики в различных государствах мира.

В настоящее время активное использование возобновляемых источников энергии во многих развитых странах мира приняты в качестве жизненно важных, стратегически необходимых ресурсов, обеспечивающих перспективное развитие экономик этих стран [8]. По прогнозам доля возобновляемой энергетики (солнечной, ветряной, приливной, гелиоэнергетики и т.п.) в мировом энергопотреблении будет ежегодно возрастать и к 2030 г. составит 30%, к 2050 г. – 50%, [7-8]. Однако, несмотря на многообещающие результаты, альтернативные источники энергии пока еще не нашли на уровень оптимального соответствия ожиданиям массового потребителя [8].

Одной из важнейших проблем при использовании возобновляемых источников энергии в системе энергообеспечения является значительно не постоянное значение мощности, вырабатываемой солнечной батареей, ветровой установки.

В Казахстане преобладает централизованное энергообеспечение за счет ГЭС, ТЭЦ. В настоящее время в сфере электроэнергии имеются такие проблемы, как износ основных и вспомогательных оборудования

производственных фондов, высокие потери в электрических сетях, частый рост цен на производство и распределение электрической энергии [9-10]. В 60-е гг. прошлого века началось массовое подключение к централизованной системе энергоснабжения, поэтому и износ опор и проводов внутренних распределительных линий 50% и износ оборудования ТЭЦ составляет почти 60%. Поэтому в скором времени централизованная система электроснабжения может стать не надежной и электрическая энергия может стать дефицитом. Одним из выходов из данной ситуации может стать использование возобновляемых источников энергий [10-14].

Использование возобновляемых источников энергии [12-14] в системе энергоснабжения на сегодняшний день получило широкое развитие в странах Европы, США, Японии, Южной Корее, Китае, Норвегия, Канада и других странах [13-15].

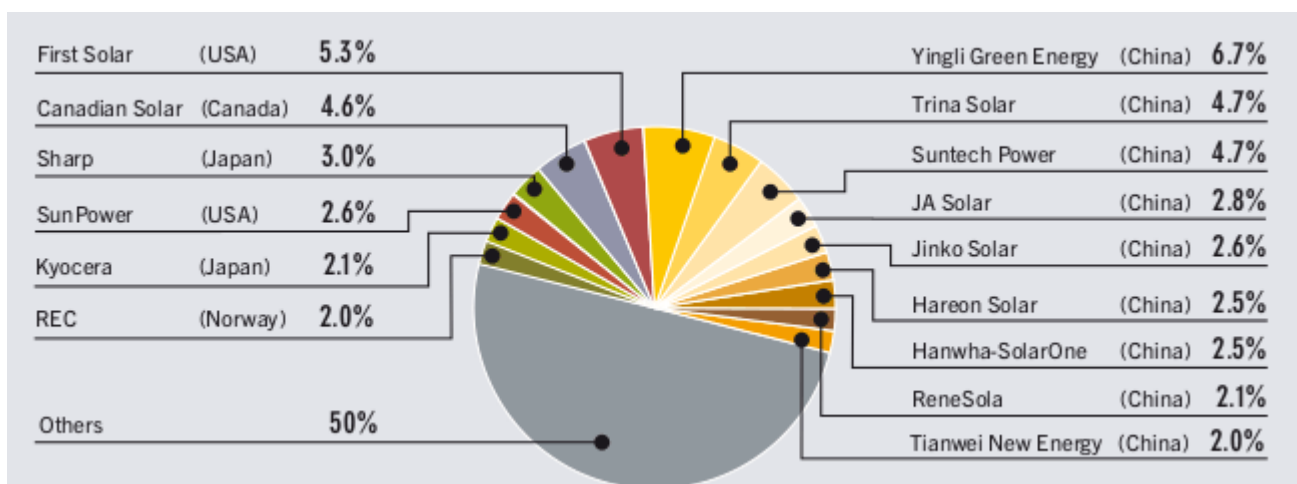
В настоящее время во всех развитых странах переходят на использование возобновляемых источников энергии, таких как солнце [15-16] и ветер [17-18], а использование биомассы только получает широкое распространение.

Крупнейшими производителями солнечных батарей [16] являются Yingli Green Energy (Китай), FirstSolar (США), Trina Solar (Китай), Suntech Power Co (Китай), Canadian Solar (Канада), Sharp (Япония), JASolar (Китай), Jinko Solar (Китай), Sun Power (США), Hareon Solar (Китай), Hanwha Solar One (Китай), Kyocera Solar (Япония), Rena Sola (Китай), Rec (Норвегия), Tianwei New Energy (Китай) [13-14].

Среди российских заводов следует отметить следующих производителей [13] «Солнечный ветер», ООО «Хевел» в Новочебоксарске, «Телеком-СТВ» в Зеленограде, ОАО «Рязанский завод металлокерамических приборов», ЗАО «Термотрон-завод» и другие.

Казахстанскими является [2-3] TOO Astana Solar, Nwcomp-Solar, TOO «Kazakhstan Solar Silicon» и другие.

На рисунке 1.1 по данным Renewable Energy Policy Net work for the 21 century приведен процент от общего объема выпускаемого оборудования солнечных панелей.



*По материалам REN-21 (Renewable Energy Policy Network for the 21 century)

Рисунок 1.1 – Процент от общего объема выпускаемого оборудования

На рисунке 1.1 видно, что основным по производству солнечных панелей лидером является Китай.

В статье [15] рассматривается эффективность использования фотоэлектрических солнечных батарей и его вольт – амперные характеристики. Разработана модель сезонно-суточных вариаций освещенности солнечной батареи. Недостатком является: для уточнения параметров модели солнечной батареи следует автоматизировать процесс измерений вольт-амперных характеристик.

Современные солнечные установки оснащают передовыми технологиями [19], в статьях [20] предлагают следящие за солнцем установки, на которых прикрепляют солнечные батареи, которые в идеале должны максимально преобразовывать излучение солнца, но в реальности возникают проблемы с программной не обеспеченностью и не полной системой управления самой солнечной батареей и ее контроллером. Так же возникают проблемы нехватки мощности для энергообеспечения конкретного здания за счет использования солнечной батареи и неоптимальной освещенности СБ.

Солнечные батареи вырабатывают постоянный ток с напряжением 24В, что бы использовать этот ток требуется использовать преобразователь напряжения [21].

В системе освещения с использованием светодиодов [22-26] есть возможность применения низковольтного напряжения [27] без использования преобразователя напряжения.

В основном все светодиодные приборы на входе питаются от 24В постоянного тока, но во всех странах она питается от 110В, 220В и 230В. В самом светодиодном приборе установлен инвертор, который преобразует полученное напряжение в 24В.

В Казахстане и зарубежных странах низковольтную систему [27] питания 24В используют для освещения садов, книжных шкафов и освещения улиц.

Из всех возобновляемых источников энергии с напряжением 24В постоянного тока на выходе вырабатывает только солнечная батарея.

Контроллеры [28] солнечных батарей обеспечивают оптимальный заряд аккумуляторной батареи, но из-за отсутствия управления и контроля работы контроллера аккумуляторные батареи полностью не заряжаются.

Так же как и солнечные батареи тепловой насос ТНУ работает за счет возобновляемых источников энергии. В теплонасосных установках используют тепло грунтовых вод или тепло грунта.

В начале 90-х годов, а в Казахстане в начале 2000 годов стало широко развиваться использование теплонасосных установок (ТНУ) для отопления и горячего водоснабжения автономных объектов [29].

ВКО специальная школа-интернат для детей-сирот отапливается за счет ТНУ, так же ТНУ используется в системе отопления несколько коттеджей. В г.Усть-Каменогорск ТОО «Sundue» и ТОО «Машзавод» комплектуют и продают ТНУ.

Крупнейшими мировыми производителями ТНУ являются Aermec - Италия, Bosch Thermotechnik GmbH Германия, Gustrower – Германия, Climat

Master США, Econar- компания из Минесоты (США), Elco-Швейцария, FHRManufacturing США, Heliotherm – Австрия, Hitachi – Япония, IVT – Швеция, Leberg - Норвегия, MitsubishiElectric-Япония, NIBE – Швеция, Шведская компания Octopus Energi AB, Viessmann-Германия, Россия ООО «Данфосс» и др [30].

Для энергообеспечения автономного объекта не целесообразно эксплуатировать только тепловой насос, так как для привода компрессора ТНУ необходим электрический ток и по назначению она используется только для отопления и горячего водоснабжения [30-33].

При использовании ТНУ в Восточном Казахстане нужен резервный источник теплоснабжения, поэтому необходимо комбинировать несколько возобновляемых источников энергии.

По климатическим условиям Казахстана ТНУ выгодно использовать в Южных регионах Казахстана.

Ветровые установки так же являются одними из установок работающих на возобновляемом источнике энергии.

Ветровые установки [17, 34] или ветрогенераторы преобразуют механическую (потенциальную) энергию ветра в переменный ток с напряжением 220В. Ветер вращает лопасти ветровой установки, при вращении вала турбины кинетическая энергия вращения вала турбины преобразуется в механическую энергию вращения вала генератора, механическая энергия вращения вала генератора индуцирует электрическую энергию [34].

На сегодняшний день Германия [2, 3] занимает первое место по установленной мощности энергии ветра, а затем Дании, Испании, Соединенных Штатах Америки, и Индии. Развитие также быстро растет во Франции и Китае [34, 35].

В Дании за счет ветровых установок обеспечивается электричеством 28,1% нужд страны, в Китае 1-2%, в США составляет 3-4%.

Ветер широко распространен во всем мире, что можно увидеть на карте рисунок 1.2 данные (Глобального института энергетической сети), [37].

Во многих работах ветровые установки комбинируют с дизельным генератором или с аккумуляторной батареей [38- 44] и в этих работах в основном рассчитывают саму установку без автоматизации процесса выработки и потребления энергии, приведены методики расчета ветрогенератора при работе на малой скорости ветра.

На сегодняшний день существуют разные типы лопастей ВУ, которые предназначены для оптимальной выработки электричества и для них достаточно, чтобы скорость ветра была 3м/с [44].

Авторы статьи [46] предлагают использовать контроллер МРРТ для управления ветровой установкой при малой скорости ветра. Полученные результаты моделирования показывают, что независимо от наклона и от мощности турбины данный метод дает большую возможность управлять ветровой установкой не зависимо от скорости ветра. Регулируется активная и реактивная мощность статора турбины. Полученные результаты возможно

использовать. Недостаток при номинальной скорости ветра предлагаемая схема ограничивает скорость вращения лопаток.

На сегодняшний день вместе с установками работающих на возобновляемых источниках энергии развиваются и биогазовые установки БГУ, которые из отходов получают как тепловую, так и электрическую энергию. Они работают на биомассе или биотопливе.

Биотопливо [47, 48] представляет собой жидкое или газообразное топливо применяемое в транспорте, таких как биодизель и биоэтанол, или преобразование его в электрическую энергию, [49, 50]. Биотопливо получается из биомассы [51, 52], которое является органическим веществом или это отходы сельскохозяйственных культур [52].

В статьях [50, 52] рассмотрены виды органических отходов. Количество субстратов (видов отходов), используемых для производства биогаза в пределах одной биогазовой установки (БГУ), может варьироваться от одного до десяти и более. В зависимости от типов и количества видов применяемых субстратов существуют различные варианты технологических схем биогазовых станций. В случае применения нескольких субстратов, отличающихся свойствами, например, жидких и твёрдых отходов, их накопление, предварительная подготовка (измельчение, биоактивизация, подогрев, гомогенизация либо другая физико-химическая обработка) проводится отдельно, после чего они либо смешиваются перед подачей в биореакторы, либо подаются отдельными потоками.

В статье [48] авторы предлагают использовать органические отходы в качестве экологически чистого топлива. Приведен метод переработки навоза крупного рогатого скота и птичьего помета. В результате авторы предлагают внедрение БГУ в сельское хозяйство и в фермы по выращиванию скотов.

При использовании БГУ [51, 54], из биотоплива получаем электрическую и тепловую энергии, это зависит от используемой установки [51, 54].

В настоящее время для энергообеспечения автономного объекта используются солнечная панель коллектор, ветровая установка, БГУ и ТНУ. Из-за климатических условий Восточно-Казахстанской области для дальнейшего исследования выбраны все установки работающие на возобновляемых источниках энергии.. Солнечная панель используется как источник постоянного тока в системе светодиодного освещения, а ветровая установка, БГУ и ТНУ как источник переменного тока и тепловой энергии в системе энергообеспечения.

1.2 Ресурсы возобновляемой энергии в Казахстане

В Казахстане имеются обширные территории пустынь и земель, где размещаются пастбищные массивы и месторождения полезных ископаемых, обладающие огромным ресурсом энергии возобновляемых источников, который можно использовать для освоения самих аридных зон [7, 66]. Природные энергетические ресурсы пустынь намного превышают потребности в них не только на современном уровне, но и на перспективу. При таком

обилии энергоресурсов задача обеспечения ими автономных потребителей состоит в разработке прогрессивных и экономичных способов системы энергообеспечения. Потенциал неисчерпаемой и возобновляемой энергии в Казахстане оценивается в следующих объемах:

- энергия ветра - 1820 МВт.ч\год.
- солнечная энергия – 1300 – 1800кВт.ч\ м² год.
- гидроэнергия – 170 МВт.ч\год.
- геотермальная энергия – 520 МВт [18].

По экспертным оценкам [12-14, 55, 56] потенциал возобновляемых энергетических ресурсов (гидроэнергия, ветровая и солнечная энергия) в Казахстане весьма значителен и оценивается величиной свыше 1 трлн. кВт×ч. Развитие и совершенствование возобновляемых источников энергии обусловлены необходимостью формирования новой энергетической модели, диверсификации технологической базы электрогенерации, восполнения энергодефицита и решения мировых экологических проблем [7, 8].

Мировой спрос на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) постоянно растет. К 2050 году увеличение их доли в глобальном энергетическом балансе прогнозируется до 35%. Практически во всех развитых странах сегодня разрабатываются и реализуются программы, связанные с альтернативной энергетикой. Основные преимущества ВИЭ – неисчерпаемость и экологичность – и послужили причиной бурного развития возобновляемой энергетики за рубежом и весьма оптимистических прогнозов относительно ее перспектив в ближайшие десятилетия [55, 56].

Главными причинами, обусловившими развитие ВИЭ, выступают обеспечение энергетической и экологической безопасности, сохранение окружающей среды, завоевание мировых рынков возобновляемых источников энергии, сохранение запасов собственных энергоресурсов для будущих поколений, а также увеличение потребления сырья для неэнергетического использования топлива.

На территории СНГ и в Центрально-Азиатском регионе использование энергии солнца заслуживает особого внимания [22,21]. В свое время здесь была проделана большая работа в области гелиоэнергетики, накоплен богатый фонд научных и технических идей, которые могут быть положены в основу конкретных инженерных разработок по созданию экономически эффективных устройств и оборудования для народного хозяйства. Этому способствует географическое месторасположение этих республик и достаточная продолжительность солнечного сияния за год.

Расположение республики Казахстан (между 40° и 55°22" с.ш.), представляет республику экономически выгодной для использования солнечной энергии. Республика отличается длительной продолжительностью солнечного сияния в течение года, и составляет порядка 2200 - 3100 ч. При этом территория, на которой наблюдается в течение 2800 – 3100 часов составляет около 1900,5 тыс. км или 70% общей площади Казахстана. Солнечное сияние составляет в течение года более 2600 часов при средней мощности излучения в сутки 554 - 677 Вт/ м.

Уровни солнечной радиации (солнечная инсоляция) в Казахстане от 1300 до 1 800 кВт×ч/м² в год в центральной и южной частях Казахстана от 1000 до 1 500 кВт×ч/м² в год – в северной и западной частях страны. Тем самым, Казахстан обладает значительным ресурсным потенциалом солнечной энергии, как видно из рисунка 1.3 [7, 8].

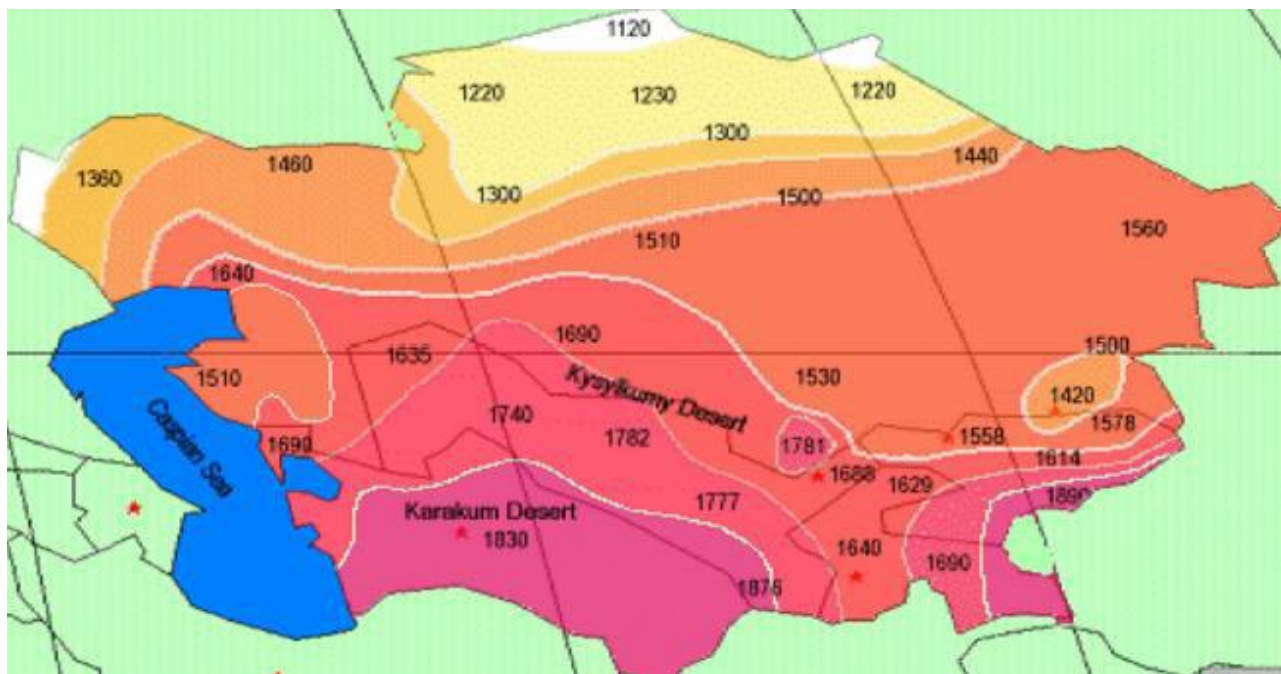


Рисунок 1.3 – Потенциал солнечной энергии Казахстана

Географическое расположение Казахстана, связанная с ним относительно высокая солнечная инсоляция, а также большое количество солнечных часов (2000 - 3000 ч) в году позволяют рассматривать возможность использования солнечной энергетики в структуре производства энергии в Казахстане.

Многолетние статистические данные об основных составляющих солнечного излучения по территории северных регионов Казахстана, а именно продолжительности солнечного излучения и количестве солнечных дней, дают возможность оценки перспективного использования солнечных панели (СП). Применение солнечных панелей – одно из эффективных направлений в развитии солнечной энергетики.

При проведенном анализе данных выявлено, что не зависимо от технических и эксплуатационных характеристик, различных моделей солнечных панелей при площади 0,2м² мощность модуля составит около 10Вт. Напряжение при максимальной нагрузке примерно 24-25В, ток короткого замыкания около 500мкА, вес этого модуля 2кг, где КПД 60% и срок службы пластины 25лет. Независимо от сравнительно низкого КПД солнечной панели, она является эффективным источником среди других возобновляемых источников энергии и автономных источников питания [57]. Мощность солнечного излучения на входе в атмосферу земли составляет 1366 на м².

По данным ТОО «Физико – технический институт» количество солнечных часов в Республике Казахстан составляет 2230-3000часов в год, а

интенсивность солнечного излучения составляет $1300-1800 \text{ кВт} \times \text{час} / \text{м}^2$, при условиях облачности $3,8-5,2 \text{ кВт} \times \text{час} / \text{м}^2$. В Республике Казахстан есть большой потенциал использования солнечной энергии, уровень солнечной радиации по районам Республики приведен в таблице 1.1 [7, 8, 58-60].

Таблица 1.1 - Уровень солнечной радиации по районам Республики Казахстан, $\text{кВт} \times \text{час} / \text{м}^2$

Время года	Зима	Весна	Лето	Осень	Усредненный за год	Суммарный в год
Астана	1,21	4,66	5,89	2,35	3,53	1288
Алматы	1,85	4,49	5,92	3,22	3,87	1412
Шымкент	1,93	5,21	6,92	3,55	4,40	1607
Кызылорда	1,89	5,12	6,37	3,29	4,17	1522
Актау	1,55	4,73	6,32	2,94	3,89	1418
Актобе	1,27	4,72	6,02	2,46	3,62	1319
Усть - Каменогорск	1,37	4,59	5,97	2,48	3,60	1314
Петропавловск	1,03	4,47	5,56	2,00	3,27	1192

*По данным ТОО «Физика – технический институт»

На рисунке 1.4 показана карта солнечного сияния на территории Республики Казахстан [7, 60-62].

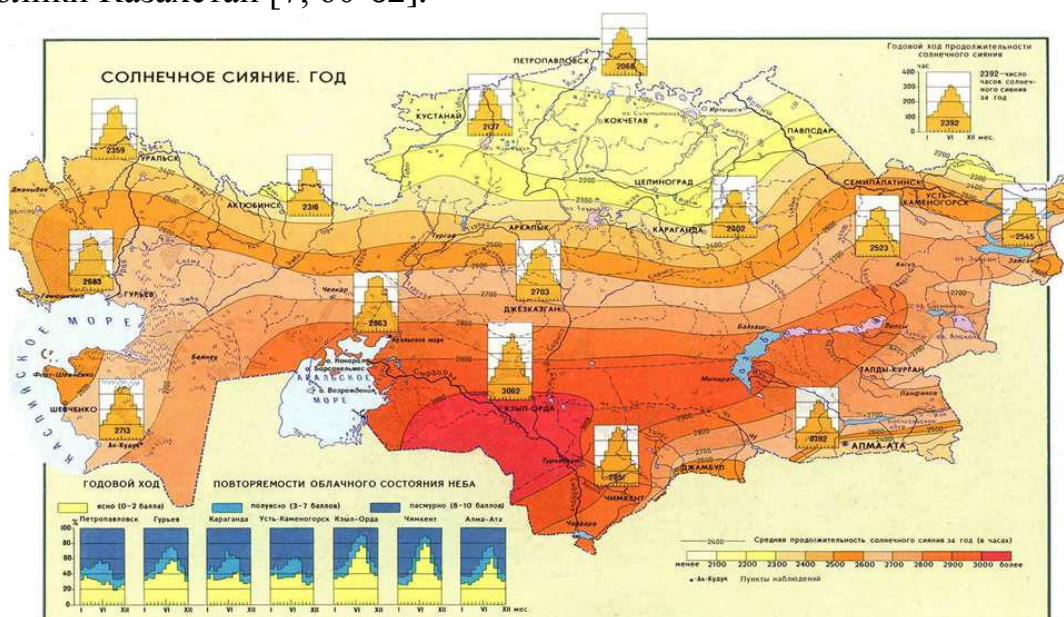


Рисунок 1.4 – Карта солнечного сияния

В Казахстане есть все условия для развития солнечной энергетики как основного вида альтернативной энергетики. Только запасы кварцевого сырья составляют 267 млн. тонн. Есть промышленные месторождения и источники других минералов, в том числе редкоземельных, необходимых для производства фотоэлементов - галлия, мышьяка, кадмия, германия. На этой основе уже в течение более чем 20 лет развиваются фото технологии.

Казахстанские арсенид-галиевые солнечные антенны использовались на советских космических спутниках. Их КПД составлял 24%, что делает их одними из лучших в мире. Однако все эти передовые разработки использовались в военно-промышленном комплексе и оставались закрытыми для остальной науки. Открытые же разработки не были связаны между собой, что тормозило их внедрение на практике.

Наша страна имеет очень большой потенциал использования возобновляемых источников энергии. На территории нашей республики сосредоточены огромные ресурсы энергии ветра [63, 64], а в следующих источниках приведены ресурсы ветровой энергии по территории Казахстана [65, 67, 70-76]. Ветровой атлас Казахстана показан в следующих статьях [66, 68, 69].

Ветры на всей территории Казахстана характеризуются высокой турбулентностью и частой сменой направлений. Необходимо учитывать, что ветер характеризуется непостоянством величины скорости и направления, поэтому возникающие пульсации мощности единичной ВЭУ должны сглаживаться большим количеством агрегатов или накопителями энергии. Для успешного развития ветроэнергетики необходимы «всеядные» ветроагрегаты, перерабатывающие ветер неограниченной скорости и турбулентности. Карта расположения ветровых установок на территории Казахстана приведена авторами в статьях [7, 67, 76].

В Казахстане разработкой ветровых установок занимается академик, ген. Директор ТОО «Энергомаш», д. т. н., профессор АУЭС Болотов А. В., он разработал Ветровую роторную турбину (ВТРБ), [69-71, 74-75].

Особенность объединения энергоустановок на базе ВИЭ связана не только с переменным характером прихода первичной энергии, а также с проблемой аккумулирования и резервирования. Для того чтобы эти проблемы свести к минимуму, необходимо предусмотреть возможность комплексного использования нескольких видов ВИЭ и автоматизировать процессы работы этих установок.

1.3 Smart технологий как концепция инновационного развития энергетики: исходные положения для развития в Казахстане

Согласно посланию президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева от 30.11.2015г. «Казахстан в новой глобальной реальности: рост, реформы, развитие» в соответствии пунктом 4 «Пять направлений антикризисных и структурных преобразований» направлением 4 «Основы новой инвестиционной политики» "Необходимо развивать компетенции в сфере smart - технологий, искусственного интеллекта, интеграции киберфизических систем, энергетики будущего, проектирования и инжиниринга. Это можно сделать только через построение эффективной научно-инновационной системы....." [2] в данной диссертационной работе рассматриваются вопросы применения Smart технологий управления в системе энергообеспечения автономного объекта.

В настоящее время Smart технологии получили широкое распространение в области телекоммуникации, в системах управления и мониторинга. Аббревиатура слова Smart означает –конкретный, измеримый, достижимый, актуальный, определенный во времени.

Smart технологии – комплексное сочетание технологии контроля и управления, которое обеспечивает необходимым количеством и качественной энергией автономный объект.

Построение Smart технологий делят на четыре основы:

- 1 Силовое оборудование и технологии передачи и распределения электроэнергии;
- 2 Технологическое управление;
- 3 Специализированные коммутационные и информационные устройства;
- 4 Автоматизированные системы учета и управления электропотреблением.

В начале XXI века во всем мире начали использовать выражение «Интеллектуальное» здание [76, 77], которое, по сути, означает автоматизированное управление системой энергообеспечения конкретного объекта. Система автоматизации энергоснабжения [76] автономного объекта [65] подразумевает контроль и управление подсистемами, применяя программное обеспечение и Smart технологии.

В статье [77] автор представил новую концепцию формирования системы управления в распределенной энергетике на основе Smart технологий. Концепция распределенной энергетике базируется на множестве источников энергии и распределительных сетей, которая подразумевает наличие множества потребителей, производящих тепловую и электрическую энергию для собственных нужд, а также направляющих излишки в общую сеть. Автор разработал алгоритм работы процесса управления на базе Smart информации.

Авторы статей [78-80] предлагают использовать Smart технологии в зданиях для обеспечения комфортного микроклимата и энергообеспечение объекта без потерь выработанной энергии. При внедрении Smart технологий не рассмотрены автоматизации процессов системы энергообеспечения.

В статье [81] Smart технологий применяются для уличного освещения с использованием солнечных панелей. Авторы предлагают интеллектуальное управление в системе городского освещения. В данной работе функциональное значение имеет контроллер, который обеспечивает оптимизацию управления энергетической уличной системы освещения. Данная система управления освещением направлена на напряжении 230В.

В статье [82-84] отражены вопросы традиционной энергетике. Авторы предлагают использовать ВИЭ с элементами Smart системы, так же авторы предлагают метод обнаружения не эффективного использования энергии в интеллектуальных зданиях. Система интеллектуального анализа данных разработана с помощью синтеза информации, полученных от датчиков.

В статье [85] авторы описывают систему управления энергетической интеграции интеллектуальных счетчиков для потребителей электроэнергии в Smart Meters (SM). SM подключены к системе Scada (диспетчерского управления и сбора данных), который контролирует сеть программируемых

логических контроллеров (PLC). Система Scada и PLC сеть объединяет различные типы информации, поступающей из нескольких элементов Smart технологий, присутствующих в современных зданиях. Для реализации используются программируемые контроллеры, так же был разработан канал связи, который обеспечивает обмен данными между системой Scada и программного обеспечения Matlab. В данной статье описано только управление контроллером.

В выше рассмотренных статьях авторы подходят к решению проблем внедрения интеллектуальных систем в систему энергообеспечения автономным объектом, используют разные программные обеспечения, решают отдельные задачи и подзадачи. В системе освещения используют двойное преобразование энергии, что приводит к значительным потерям энергии [86-94].

Существуют множество моделей построения управления системами энергообеспечения интеллектуальных умных объектов, которые и являются Smart технологиями управления и контроля. В работах [95-99] описаны интеллектуальные системы управления в энергетике и создания базы данных для управления технологическими процессами. Разработаны интеллектуальные системы диагностики силовых трансформаторов [97] применяется к повышающим от 12 до 220В и понижающим от 220 до 12В трансформаторам.

Основываясь на теории, методах и средств управления интеллектуальными системами [45, 95] возможно построение алгоритмов управления системами энергообеспечения «умного» интеллектуального» объекта и решение ряда задач энергоэффективности объекта.

По проведенному анализу на сегодняшний день в Казахстане во многих регионах используются возобновляемые источники энергии, но автоматизированная система управления системой энергообеспечения мало развита.

В зарубежных странах, таких как Германия, США, Китай и т.д., использование возобновляемых источников энергии [100] и управление энергопотреблением [78, 79] развито на высоком уровне, но их полученные результаты не возможно внедрить в Казахстане из-за климатических условий и недостаточности финансирования этой области. Так же управление системой энергообеспечения рассмотрены только для «умных и интеллектуальных» домов.

Автоматизированная система управления [101] включает в себя контроль автономного объекта с использованием возобновляемых источников энергии [72].

Для организации работы возобновляемых источников питания [103] в настоящее время возникает необходимость создания устойчивой схемы работы согласованных с электрическими системами. При решении данного вопроса необходимо реализовать управление контроллером системы энергообеспечения автономного объекта с использованием Smart технологий. По результатам проведенных исследований была разработана общая структурная схема Smart системы, которая схематически показана на рисунке 1.6.

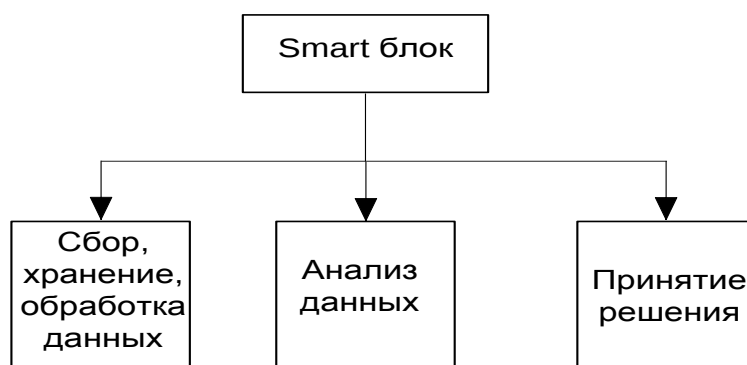
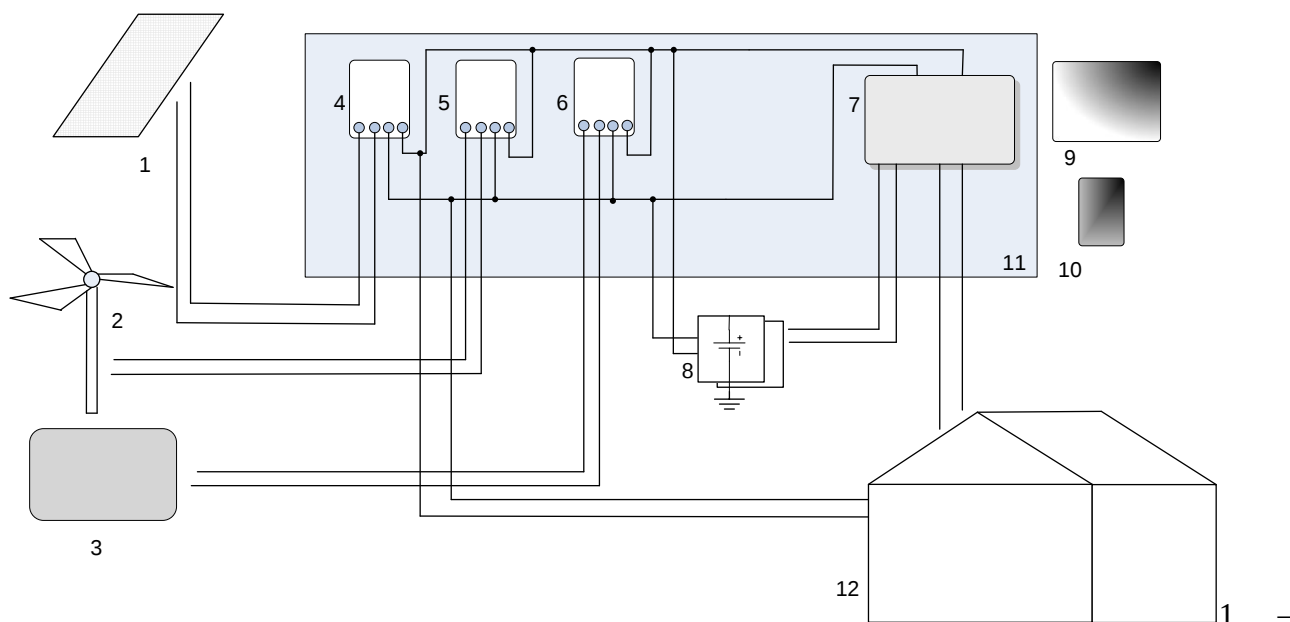


Рисунок 1.6 – Структура Smart блока

Smart блок включает в себя - сбор информации, хранение и обработку данных, анализ данных и принятие решения.

По проведенному исследованию, составлена структурная схема Smart центра управления энергообеспечением автономного объекта, которая показана на рисунке 1.7. Где у каждого источника энергии есть свои контроллеры. В зависимости от нужного количества электрической энергии определяется включение или отключение источника энергии. Аккумуляторная батарея при необходимости заряжается от любого источника питания. Управление системой осуществляется дистанционно через карманный ноутбук или смартфон, местное управление производится через сенсорную панель либо через Smart центр управления. Smart центра управления системой энергообеспечения автономного объекта обычно находится в техническом помещении в самом здании.



1 – солнечная панель, 2 – ветровая установка, 3 – биогазовая установка, 4 – контроллер солнечной батареи, 5 – контроллер ветровой установки, 6 – контроллер биогазовой установки, 7 – автоматизированная система управления, 8 – аккумуляторная батарея, 9 – сенсорная панель управления, 10 – управление через карманный ноутбук, 11 – Smart центр управления, 12 – автономный объект

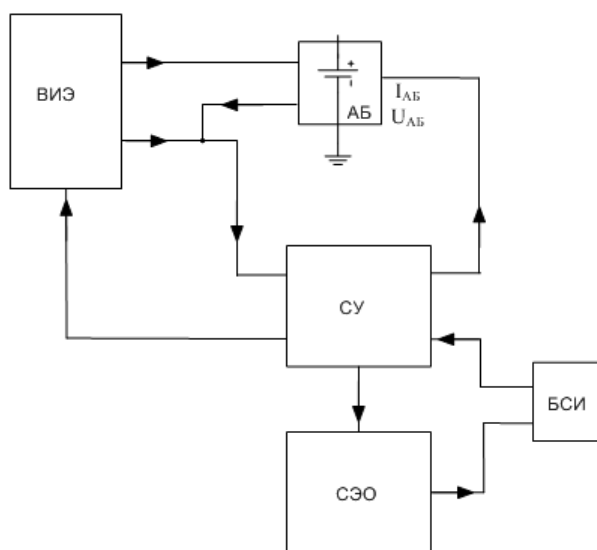
Рисунок 1.7 – Структурная схема Smart центра управления энергообеспечением автономного объекта

По проведенному литературному обзору существующих источников (материалов) установлено что, в настоящее время управление и контроль электрической схемой системы энергообеспечения автономных объектов [104] рассмотрены не полностью. В статье [105] рассмотрена система энергообеспечения, за счет использования альтернативных источников энергии, не доработан алгоритм работы управления системой энергообеспечения.

В своей статье [106] предлагают матричное преобразование тока солнечной батареей. В статье приведена структура СЭС на базе матричного преобразователя тока солнечной батареи, приведена методика расчета энергобаланса в автономной системе электроснабжения. Источником энергообеспечения является солнце и аккумуляторная батарея, что не сможет обеспечить полное энергоснабжение автономного объекта и управляются только транзисторные ключи солнечной батареи со специальной схемой.

В основном для программирования используется программное обеспечение MatLab [107], который позволяет сочетать методы структурного и имитационного моделирования.

В результате сделанного анализа составлена структурная схема управления возобновляемым источником энергии, системы электроснабжения показанная на рисунке 1.8.



ВИЭ – возобновляемый источник энергии, АБ – аккумуляторная батарея, СУ – система управления, СЭО – система энергообеспечения, БСИ – блок сбора информации

Рисунок 1.8 – Структурная схема управления возобновляемым источником управления и системы электроснабжения

Данная схема реализует управление как работы возобновляемого источника энергии, так и системы энергообеспечения автономного объекта, рисунок 1.8. В зависимости от нужного количества электрической энергии в определенный момент времени система управления управляет выработкой энергии установок работающих на ВИЭ.

Для управления системой необходимо знать требуемое количество электрической энергии, которая рассчитывается в зависимости от потребителей энергии. К потребителям энергии относятся бытовые приборы, система освещения, система отопления, система климат контроля, система пожарной безопасности, оргтехника, аудио и видео техника и прочие. В сумме они составляют нагрузку.

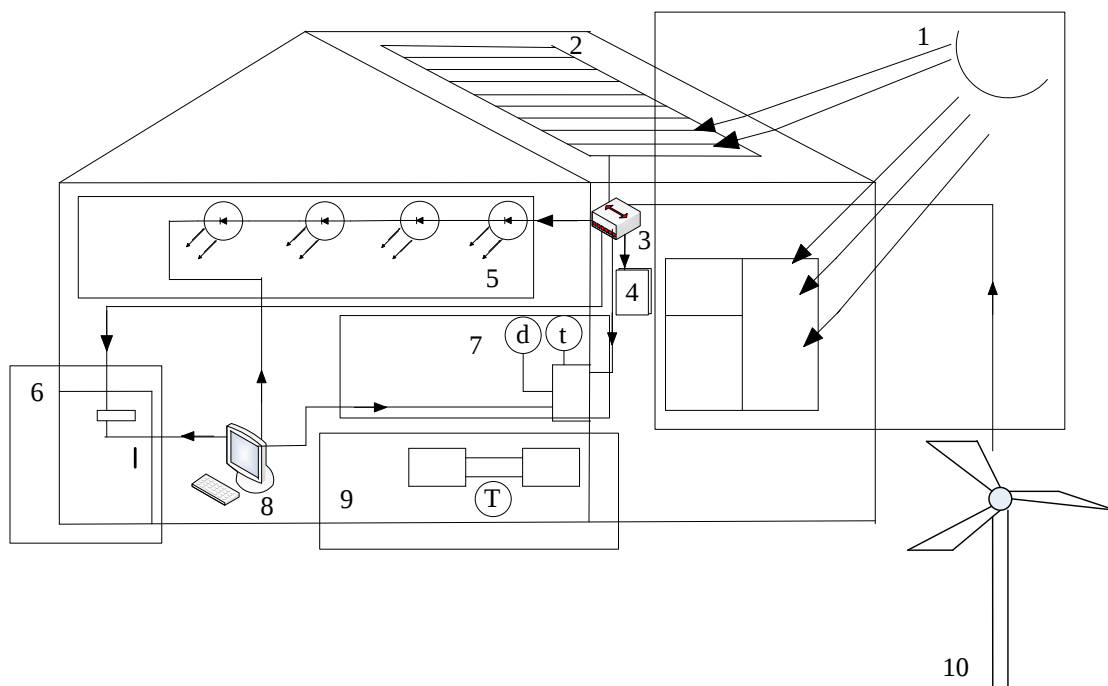
1.4 «Интеллектуальное» здание: концепции и тенденции развития

В настоящее время существуют множество разновидности «Умного, интеллектуального» дома, объекта.

«Умный дом» [82, 89, 91, 108-109] это комплекс технических средств и программного обеспечения для построения систем автоматизации ее подсистем.

Несмотря на довольно чёткое и общепринятое разделение технологии «Умный дом» [110-113] на подсистемы, нет никакой необходимости при проектировании использовать их все.

На рисунке 1.9 показана структурная схема «Умного дома».



1 – естественное освещение, 2 – солнечная батарея, 3 – контроллер, 4 – аккумулятор, 5 – система управления освещением, 6 – система безопасности, 7 – система климат контроля дома, 8 – управление системой компьютером, 9 – система управления отоплением, 10 – ветровая установка

Рисунок 1.9 – Общий вид «Умного дома»

Общепринятые подсистемы управления «интеллектуального» дома:

- освещением;
- силовым и резервным питанием;
- стабилизацией напряжения;

- кондиционированием;
- отоплением;
- тёплыми полами;
- пожарной сигнализацией;
- контролем протечек воды;

Выработанная от солнечной батареи 2 и ветровой установки 10 энергия поступает в контроллер 3, откуда одновременно энергия поступает в аккумулятор 4 и в систему управления «Умный дом» в подсистему управления освещением 5, подсистему безопасности 6 и подсистему климат контроля 7 и подсистему отопления 9.

Для системы энергообеспечения автономного объекта выбраны солнечная батарея, ветровая установка, БГУ и ТНУ. Солнечная батарея [114-115] используется для низковольтной светодиодной системы освещения и после преобразования напряжения для системы электроснабжения. Ветровая установка и БГУ [116-118] используется для обеспечения автономного объекта переменным током с напряжением 220В, отопление производится за счет ТНУ или БГУ.

1.5 Выводы по главе

1. На основе анализа современного состояния генерации тепловой и электрической энергии и ВИЭ можно сделать вывод, что для реализации эффективной выработки электрической энергии в условиях Казахстана необходимо использовать солнечную энергию.

2. Анализ ресурсов Казахстана по солнечной энергии показал, что в районах ВКО можно получать 1560кВт м²/час.

3. Использование СМАРТ технологий позволяет дополнительно осуществлять экономию на уровне 30-50%.

4. Концепция управления интеллектуальным зданием может быть дополнительно усовершенствована путём использования автоматизированных систем управления.

На базе проведенного анализа можно выделить направления исследования, позволяющие эффективно осуществлять энергообеспечение автономного объекта:

- проведение теоретических расчётов эффективности ВИЭ;
- изучение использования солнечных батарей для низковольтной системы питания (24В) светодиодного освещения автономного объекта;
- разработка автоматизированных систем управления энергообеспечением автономного объекта;
- разработка программных средств для контроля и управления «Умным домом»;
- разработка СМАРТ технологий для управления автономным объектом.

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА

В данном разделе рассмотрены расчеты солнечной панели и ветровой установки. Расчет произведен на базе возобновляемых источников энергии как солнечная энергия.

На основе этих расчетов построена модель системы энергообеспечения автономного объекта с несколькими источниками генерации энергии.

Так же приведен расчет низковольтной светодиодной системы освещения на базе солнечных панелей.

При моделировании данной системы рассмотрена оптимизация процесса автоматизированного контроля и управления температурой в автономном объекте.

2.1 Теория использования организации систем автономного объекта

Для разработки математической модели произведены расчеты солнечной панели и ветровой установки и приведен расчет КПД низковольтной системы освещения с использованием светодиодов.

2.1.1 Солнечная установка

Мощность, вырабатываемая солнечной батареей рассчитывается по формуле [114, 119, 120]:

$$P_{\text{сб}} = R_{\Sigma} \cdot S_{\eta} \cdot N \quad (2.1)$$

где R_{Σ} – текущая суммарная мощность прямого и диффузного рассеянного излучения солнца на поверхность солнечной батареи, кВт/м²;

S – площадь солнечной батареи, м²;

η – КПД Солнечной батареи;

N – число солнечных батарей, штук

Для составления базы данных необходимо определить валовой потенциал солнечной энергии в заданной точке местности в соответствии с методикой [114, 119] и сравнить с данными метеостанции. Валовой потенциал солнечной энергии в заданной точке местности определяется по формуле:

$$\Theta_{\Sigma} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \int_0^{T_{\text{год}}} R_{\Sigma}(t) \cdot K_c dt \quad (2.27)$$

где K_c – коэффициент позволяющий учесть углы наклона площадки.

Для временного отрезка, равной один год формула (2.27) примет вид:

$$\Theta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N R_{\Sigma} \cdot K_{ci} \cdot \Delta t_i \quad (2.28)$$

где Δt_i – период (интервал) времени.

Для энергии солнечного излучения конкретной географической точки вводим корректировочный коэффициент, который определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{\mathcal{E}_{CB}}{\mathcal{E}_M} \quad (2.29)$$

где $\mathcal{E}_{CB}$ и $\mathcal{E}_M$ – потенциал энергии солнечного излучения в очках расположения солнечной батареи и на метеостанции, кВт/м².

Зависимость между суммарной солнечной инсоляцией на метеостанции и территории расположения солнечной батареи определяется по выражению:

$$R_{CB_i} = K_{S_i} \cdot K_{3_i} \cdot R_{M_i} \quad (2.30)$$

где i – порядковый номер месяца.

После определения зависимости между суммарной солнечной инсоляцией на метеостанции необходимо определить реальную вырабатываемую мощность солнечной панели. Для этого надо рассчитать ток пропорциональной освещенности солнечной панели.

Источник тока генерирует ток пропорциональной освещенности солнечной панели [119]:

$$I(F) = I_{\max} \cdot F \quad (2.1)$$

где F – освещенность в условных единицах относительно максимальной освещенности [119] $F_{\max}=1$;

I – генерируемый ток, А.

Ток диода описывается классической моделью:

$$I(V) = I_s \left(\exp \left(\frac{V}{V_T \cdot N} \right) - 1 \right) \quad (2.2)$$

где N – коэффициент вырождения, для идеального диода $N=1$ [145];

V – напряжение на диоде, $V_T = \frac{k \cdot T}{q_e} = 25mA$;

k – постоянная Больцмана, Дж/К;

q_e – заряд электрона, Кл;

T – температура помещения равна 20°C, 293K.

Для построения математической модели переходим на применение вольтамперных характеристик, таких как ток короткого замыкания, напряжение холостого хода и ширина диапазона напряжений вблизи напряжения холостого хода, которая соответствует уменьшению тока относительно тока короткого замыкания в 2,7 раз.

Параметры освещенности солнечной батареи выражаются с помощью следующих выражений [15, 119]:

$$N = \frac{wV}{V_T} \quad (2.3)$$

где wV – ширина диапазона напряжений.

$$I_s = I_{sc} \cdot \exp\left(-\frac{V_{o_{oc}} - V_T}{wV}\right) \quad (2.4)$$

где I_{sc} – ток короткого замыкания, А;

$V_{o_{oc}}$ – напряжение холостого хода, В.

При расчетах будут использоваться паспортные значения солнечной батареи и учитываться влияние солнечного излучения и рабочей температуры ВАХ солнечной батареи мы упростим выражение [121] и запишем в виде:

$$\mathfrak{I}_{sc} = \mathfrak{I}_{o_{sc}} + \Delta I_1 + \Delta I_T \quad (2.5)$$

$$V_{oc} = V_{o_{oc}} + \Delta V_{I1} + \Delta V_{I2} + \Delta V_T \quad (2.6)$$

где $\mathfrak{I}_{o_{sc}}$ – исходная плотность тока короткого замыкания, измеренная при стандартных условиях освещения $\mathfrak{I}_o = 1000 \text{ Вт/м}^2$ и температуре солнечной батареи $T_o = (20 \pm 2)^\circ \text{C}$;

ΔI_1 , ΔV_{I1} , ΔV_{I2} – поправки, учитывающие изменение плотности потока солнечного излучения;

ΔI_T , ΔV_T – поправки, учитывающие изменение температуры солнечной батареи.

Данные поправки определяются по формулам:

$$\Delta I_1 = \frac{I - I_o}{I_o} \cdot \mathfrak{I}_{o_{sc}} \quad (2.7)$$

$$\Delta V_{I1} = -\Delta I_1 \cdot R_{\Pi} \quad (2.8)$$

$$\Delta V_{I2} = k \cdot \lg\left(\frac{I}{I_o}\right) \quad (2.9)$$

$$\Delta I_T = \beta_1 \cdot \mathfrak{I}_{o_{sc}} (T - T_o) \quad (2.10)$$

$$\Delta V_T = \beta_V \cdot V_{oc} (T - T_o) \quad (2.11)$$

где R_{Π} – сопротивление поверхности солнечной батареи, $\text{Ом} \cdot \text{см}^2$;

k – коэффициент освещенности, находится в диапазоне от $0 \leq k \leq 2$ до $0,5 \leq k \leq 1,5$ [119];

β_1 , β_V – температурные коэффициенты тока и напряжения, $1/^\circ \text{C}$.

На работу солнечной батареи оказывают влияние интенсивность солнечного излучения и температура окружающего воздуха. Из-за увеличения температуры уменьшается выходная мощность, вследствие падения напряжения холостого хода. В связи с этим при моделировании управления солнечной батареей возникает задача по определению значений интенсивности солнечного излучения и температуры окружающей среды. Интенсивность солнечного излучения зависит от степени ее пространственной ориентации.

Поэтому, в диссертации рассматривается полная ориентация солнечной батареи на солнце, с системой слежения за солнцем. Также, при необходимости, возможно фиксировать поверхность солнечной батареи на нужную сторону горизонта.

Суммарная интенсивность при фиксированном положении солнечной батареи определяется по формуле [122, 123]:

$$I_H = I_{\Pi} \frac{\cos \xi}{\cos \theta} + I_D \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho(I_{\Pi} + I_D) \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (2.12)$$

где I_{Π} и I_D – интенсивность прямого и диффузного рассеянного излучения солнца на поверхность солнечной батареи, Вт/м²;

ξ – угол между ориентированной на юг поверхностью солнечной батареи и направлением на солнце, в градусах;

Θ – угол между направлениями на зенит и солнце, в градусах;

β – угол наклона поверхности к горизонту, в градусах;

ρ – альbedo или коэффициент отражения земной поверхности.

Углы Θ и ξ определяются по ниже приведенным формулам [123]:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (2.13)$$

$$\cos \xi = \sin \delta \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cos(\varphi - \beta) \cos \omega \quad (2.14)$$

где δ – склонение солнца, в градусах;

φ – географическая широта определенной местности, в градусах;

ω – часовой угол солнца, в градусах.

Склонение солнца определяем по формуле Купера, а часовой угол определяется по формуле [122]:

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (2.15)$$

$$\omega = (15^\circ \text{час}^{-1}) (t_{\text{SOL}} - 12) \quad (2.16)$$

где n – порядковый номер дня года;

t_{SOL} – местное солнечное время в часах.

Азимутное слежение за интенсивность солнечного излучения производится по формуле 2.12, для этого рассчитывается угол между направлением солнца и поверхностью по формуле [123]:

$$\cos i = \sin \beta [\cos \delta (\sin \beta \cos a_{\Pi} \cos \omega + \sin a_{\Pi} \sin \omega) - \sin \delta \cos \varphi \cos a_{\Pi}] + \cos \beta [\cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi] \quad (2.17)$$

где a_{Π} – азимут поверхности солнечной батареи.

При управлении работой солнечной батареи, когда солнечная батарея следит за солнцем, то азимут поверхности солнечной батареи равен азимуту солнца и рассчитывается по формуле [114]:

$$a = \arcsin\left(\frac{\cos \delta \sin \varphi}{\cos \alpha}\right) \quad (2.18)$$

где α – угол высоты солнца, в градусах.

Угол высоты определяется по формуле:

$$\alpha = \arcsin(\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \Rightarrow \alpha = \arcsin(\cos \theta) \quad (2.19)$$

При полном слежении солнечной батареи за солнцем суммарная интенсивность солнечного излучения определяется [114]:

$$I_{OP} = \frac{I_{\Pi}}{\cos \theta} + I_D \frac{1 + \cos \theta}{2} + \rho(I_{\Pi} + I_D) \frac{1 - \cos \theta}{2} \quad (2.20)$$

Что бы математически описать изменение температуры окружающей среды в течение суток используем формулу [147]:

$$T_B(t) = T_{OB} + \frac{\Delta T_M}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{t_{\Pi}}(t_{SOL} - t_M)\right) \quad (2.21)$$

где T_{OB} – среднесуточная температура окружающей среды, °C;

ΔT_M – суточная амплитуда температуры окружающей среды, °C;

t_{Π} – период изменения температуры окружающей среды, °C;

t_M – время наступления максимальной температуры окружающей среды по местному солнечному времени в часах.

Температура солнечной батареи определяется через уравнение энергетического баланса солнечной батареи [114]:

$$T = \frac{I \cdot [\mu - \eta_0(1 + \chi \cdot T_0)] + \lambda \cdot F \cdot T_B}{\lambda \cdot F - I \cdot \eta_0 \cdot \chi} \quad (2.22)$$

где I – интенсивность излучения на поверхности солнечной батареи, Вт/м²;

μ – интегральный коэффициент поглощения солнечной батареи солнечного излучения;

η_0 – КПД солнечной батареи полученных при испытаний;

χ – температурный градиент зависящий от конструкции и типа солнечной батареи, $\chi=0,003 \div 0,005 \text{K}^{-1}$ [119];

λ – коэффициент теплоотдачи поверхности солнечной батареи;

T_0 – температура солнечной батареи при проведенных испытаниях, °C;

T_v – температура окружающего воздуха, °C;

F – отношение тыльной и лицевой площади солнечной батареи к площади освещаемой поверхности.

Коэффициент теплоотдачи поверхности солнечной батареи определяется из уравнения:

$$\lambda = \lambda_K + 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_B^3 \quad (2.23)$$

где λ_K – коэффициент конвекции, Вт/(м²·°C);

ε – интегральный коэффициент излучения солнечной батареи;

σ – постоянная Стефана – Больцмана $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4)$, [119].

Коэффициент конвекции вычисляется по формуле Мак – Адамсом:

$$\lambda_K = 5,7 + 3,8v \quad (2.24)$$

где v – скорость ветра, м/с.

Математическая модель управления работой солнечной батареи была составлена с учетом всех выше приведенных зависимостей, которая представлена системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} V'_{CB}(T, I, \mathfrak{I}) = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \ln \left[\frac{(I \cdot z \cdot \mathfrak{I}) e^{\frac{q}{A \cdot k \cdot T} \left[V_{OC} - \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) \mathfrak{I}_{SC} R_{\Pi} + \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) + V_{OC} \cdot \beta_V (T - T_0) \right] - 1}}{I \cdot z} + 1 \right] - \mathfrak{I} R_{\Pi}; \\ \mathfrak{I}_{SC}(I, T) = \mathfrak{I}_{OC} + \frac{I - I_0}{I_0} \cdot \mathfrak{I}_{OC} + \beta_I \cdot \mathfrak{I}_{OC} (T - T_0); \\ T(I, T_B, v) = \frac{I' [\mu - \eta_0 (1 + \chi \cdot T_0)] + [(5,7 + 3,8v) + 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_B^3(n, t)] \cdot F \cdot T_B(n, t)}{[(5,7 + 3,8v) + 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_B^3(n, t)] \cdot F - I' \eta_0 \cdot \chi} \\ I(I_{\Pi}, I_D, \rho, \Lambda, Y, \Omega, \tau) = \left[I_{\Pi}(n, t) \frac{\cos \Lambda}{\cos \Omega} + I_D(n, t) \frac{1 + \cos Y}{2} + \rho(n) [(I_{\Pi}(n, t) + I_D(n, t))] \frac{1 - \cos Y}{2} \right] \cdot \tau; \\ \tau(\Lambda) = (1 - \rho_{оп}(\Lambda)) \exp \left(-K \frac{B}{\cos \Lambda} \right); \\ V_{CB} = N \cdot V'_{CB}(T, I, \mathfrak{I}) \\ I_{CB} = N \cdot \mathfrak{I} \cdot S_{CB}; \\ P_{CB} = V_{CB} \cdot I_{CB}. \end{array} \right. \quad (2.25)$$

где V_{CB}' – напряжение солнечной батареи, В;
 A – безразмерный параметр кривизны ВАХ;
 k – постоянная Больцмана, Дж/К;
 q_e – заряд электрона, Кл;
 T – температура солнечной батареи, °С;
 I и I' – интенсивность солнечного излучения, падающая на поверхность солнечной батареи и отнесенная к единице поверхности солнечной батареи, Вт/м²;
 z – коэффициент пропорциональности плотности потока к интенсивности солнечного излучения, А·м²/Вт·см²;
 z – плотность потока, А/см²;
 V_{OOC} – напряжение холостого хода солнечной батареи, В;
 z_{OOC} – плотность тока короткого замыкания солнечной батареи, измеренные при стандартных условиях освещения $z_o=1000$ Вт/м² и температуре солнечной батареи $T_o=(20\pm 2)^\circ\text{C}$, А/см²;
 R_n – сопротивление поверхности солнечной батареи, Ом·см²;
 k – коэффициент освещенности, находится в диапазоне от $0 \leq k \leq 2$ до $0,5 \leq k \leq 1,5$ [119];
 β_1, β_V – температурные коэффициенты тока и напряжения, 1/°С;
 z_{OC} – плотность тока короткого, А/см²;
 μ – интегральный коэффициент поглощения солнечной батареи солнечного излучения;
 η_0 – КПД солнечной батареи полученных при испытании;
 χ – температурный градиент зависящий от конструкции и типа солнечной батареи, $\chi=0,003 \div 0,005 \text{ K}^{-1}$ [119, 123];
 $(5,7+3,8v)$ – размерное соотношение Мак-Адоамса для расчета коэффициента конвекции, Вт/(м²·°С);
 v – скорость ветра, м/с
 ε – интегральный коэффициент излучения солнечной батареи;
 σ – постоянная Стефана – Больцмана $\sigma=5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}^4)$, [15, 119]
 T_0 – температура солнечной батареи при проведенных испытаниях, °С;
 T_v – температура окружающего воздуха, °С;
 F – отношение тыльной и лицевой площади солнечной батареи к площади освещаемой поверхности;
 t – время, час;
 n – порядковый номер дня года;
 ρ – альбедо или коэффициент отражения земной поверхности.
 I_{Π} и I_D – интенсивность прямого и диффузного рассеянного излучения солнца на поверхность солнечной батареи, Вт/м²;
 A, Ω, Y – углы, определяющие пространственную ориентацию солнечных батарей, в градусах;
 τ, ρ_{OTR} – коэффициенты пропускания и отражения солнечного излучения поверхности солнечной батареи;
 K – показатель поглощения солнечного излучения поверхности солнечной батареи, см⁻¹;

B – толщина поверхности солнечной батареи, см;
 I_{CB} – ток нагрузки солнечной батареи, А;
 N – количество солнечных батарей, штук;
 S_{CB} – площадь солнечной батареи, см²;
 P_{CB} – мощность солнечной батареи, Вт.

По разработанной математической модели составлен алгоритм управления, показанный в приложении Ж.

Углы, определяющие пространственную ориентацию солнечных батарей, определяются по формулам (2.13, 2.14).

Разработанная математическая модель солнечной панели позволяет оценить выходные энергетические характеристики солнечной панели, таких как:

- интенсивность солнечного излучения;
- температуры воздуха;
- скорости ветра;
- степени ориентации солнечной панели на солнце в зависимости от времени года и суток.

Данная математическая модель позволяет управлять и оптимизировать работу солнечной батареи в зависимости от климатических условий и от степени освещенности.

2.1.2 Ветровая установка.

Для реализации бесперебойного энергоснабжения автономного объекта необходимо разработать математическую модель ветровой установки, как основной источник энергии.

Для составления математической модели управления ветровой установки необходимо знать мощность ветродвигателя, которая определяется по формуле [116, 118, 124]:

$$P_{BY} = 0,5\rho \cdot S^3 \cdot C_p \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_p \quad (2.31)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³;

S – площадь ометаемая ветровым колесом, м²;

C_p – коэффициент использования мощности, определяется конструкцией ветровой установки;

η_{Γ} – КПД генератора;

η_p – КПД редуктора.

Угловая скорость ветродвигателя пропорциональна частоте тока в обмотке синхронного генератора и определяется как:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot f}{2p} \quad (2.32)$$

где f – частота тока в обмотке синхронного генератора, Гц;

$2p$ – число пар полюсов.

Скорость ветра определяется с помощью значения оценки аэродинамического момента:

$$V = \sqrt[3]{\frac{2\omega \cdot M_A}{\rho \cdot S \cdot C_p}} \quad (2.33)$$

где M_A – аэродинамический момент ротора.

2.2 Моделирование комплекса системы энергообеспечения автономного объекта несколькими источниками генерации энергии

Полная автоматизация энергообеспечением автономного объекта подразумевает необходимость определения потребляемой мощности автономным объектом, что приводит к разработке методики расчета потребляемой мощности системы.

Для составления математической модели системами автоматизированного управления подсистемами «интеллектуального, умного» автономного объекта необходимо определить показатель работоспособности системы энергообеспечения, который дает возможность обеспечить автономный объект электроэнергией мощностью:

$$P_{\Gamma} + P_A \geq P_{\Pi} \cdot k_3 \quad (2.34)$$

где P_{Γ} – мощность, генерируемая совместно всеми типами возобновляемых источников энергии, Вт;

P_A – мощность аккумулированная, Вт;

P_{Π} – мощность, необходимая потребителю, Вт;

k_3 – коэффициент запаса.

Эффективность электрогенерирующих установок включает в себя набор показателей, определяющих работоспособность, надежность, технико-экономические показатели и т.д. Решение данной задачи решается путем моделирования [118, 124] и приведено в подразделе 2.1 (Теория использования организации систем «Умного дома»).

В рассматриваемой системе автоматизированного управления системы энергообеспечения автономного объекта сумма мощностей источников электрической энергии должна быть равна сумме мощностей, расходуемых в приемниках этой энергии за вычетом потерь при преобразований энергии.

Источником энергии являются устройства работающие на возобновляемых источниках энергии, как солнечная батарея и ветровая установка.

Потребителями являются автономный объект.

Система аккумулирования является как потребителем, так и источником энергии.

Суммарная мощность электроэнергии генерируемой всеми видами возобновляемых источников энергии записываем в виде формулы:

$$P = P_{BY} + P_{CB} \quad (2.35)$$

где P_{BY} – мощность ветровой установки, Вт;

P_{CB} – мощность солнечной батареи, Вт.

Данные мощности определяют конструкцию генерирующих устройств.

Средняя мощность солнечной установки определяется по формуле (2.26):

$$P_{CB} = R_C^\Gamma \cdot \eta_{СП} \cdot \eta_C (K_C(\beta) N_C) \cdot S_C \quad (2.36)$$

где R_C^Γ – среднесуточная полная мощность солнечного излучения приходящего на горизонтальную поверхность единичной площади солнечной поверхности, кВт/м².

Баланс мощностей системы энергообеспечения автономного объекта необходим для разработки автоматизированного управления системы в целом.

Генерируемая мощность электроэнергии в любой момент времени при рассматриваемом периоде времени, с учетом потерь, больше мощности, необходимой автономному объекту. А количество энергии, которое возможно сохранить в текущий момент времени, определяется двумя параметрами – ёмкостью системы аккумулирования и максимальным значением тока и определяется зависимостью:

$$C_A \cdot (1 - k_P) \geq D_A \quad (2.37)$$

где C_A – ёмкость аккумуляторной батареи;

k_P – коэффициент допустимого заряда аккумуляторной батареи, $k_P \approx 0,2$.

D_A – сводная ёмкость системы аккумулирования.

Для составления математической модели автоматизированного управления автономного объекта необходимо составить баланса мощностей, который в математическом описании имеет следующий вид:

$$\text{- при } P_A = P - \frac{P_{\Pi}}{k_H} \geq 0$$

$$\begin{cases} P_A \cdot t \leq D_A \cdot U_A \cdot k_A; \\ I_A = \frac{P_A}{N_A \cdot U_A} \leq I_3, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D_A' = D_A - \frac{P_A \cdot t}{U_A} k_A; \\ P_b = 0 \end{cases} \quad (2.38)$$

$$\begin{cases} P_A \cdot t \leq D_A \cdot U_A \cdot k_A; \\ I_A = \frac{P_A}{N_A \cdot U_A} > I_3, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D_A' = D_A - I_3 \cdot t \cdot k_A; \\ P_b = P_A - I_3 \cdot U_A \end{cases} \quad (2.39)$$

$$\begin{cases} P_A \cdot t > D_A \cdot U_A \cdot k_A; \\ I_A = \frac{P_A}{N_A \cdot U_A} \leq I_3, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D_A' = 0; \\ P_b = P_A - \frac{D_A \cdot U_A}{k_A \cdot t} \end{cases} \quad (2.40)$$

$$\begin{cases} P_A \cdot t > D_A \cdot U_A \cdot k_A; \\ I_A = \frac{P_A}{N_A \cdot U_A} > I_3, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D_A' = D_A - I_3 \cdot t \cdot k_A; \\ P_b = (P_A - I_3 \cdot U_A) \end{cases} \quad (2.41)$$

где P_{Π} – потребляемая мощность, Вт;

N_A – количество аккумуляторных батарей соединенных параллельно, штук;

U_A – напряжение заряда одной аккумуляторной батареи, В;

I_A – ток заряда одной аккумуляторной батареи, А;

k_A – КПД аккумуляторной батарей;

D_A и D_A' – начальное и конечное значения емкости и системы аккумуляирования, А·час;

P_A – излишек мощности, часть которой идет на питание аккумуляторной батареи или рассеяна балластной нагрузкой, Вт;

P_b – мощность, используемая балластной нагрузкой, Вт;

I_3 – ток заряда, А

- при $P_A = P - \frac{P_{\Pi}}{k_{II}} < 0$

$$\begin{cases} |P_A| \cdot t \leq [(1 - k_p)C_A - D_A] \cdot U_A; \\ I_A = \frac{|P_A|}{n_A \cdot U_A} \leq I_p, \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} D_A' = D_A + \frac{|P_A| \cdot t}{U_A} A_p(I_A); \\ C_A' = (1 - k_p)C_A - D_A' > 0 \end{cases} \quad (2.42)$$

где I_p – максимально допустимый ток разряда аккумулятора, А;

$A_p(I_A)$ – корректирующая функция тока разряда в цепи системы аккумуляирования, значение которой ≥ 1 ;

C_A' – текущая емкость аккумулятора, А·час.

Корректирующая функция тока разряда в цепи системы аккумуляирования определяется функцией:

$$\begin{cases} A_p = a \cdot e^{I_A^k} + b, \rightarrow \text{при} \rightarrow I_A > \frac{C_{10}}{T_{10}}; \\ A_p = B(I_A), \rightarrow \text{при} \rightarrow I_A \leq \frac{C_{10}}{T_{10}}; \\ A_p = 1, \rightarrow \text{при} \rightarrow \frac{C_{10}}{T_{10}} \leq I_A \leq \frac{C_{20}}{T_{20}}, \end{cases} \quad (2.43)$$

где a, b – являются параметрами $A_p(I_A)$

C_{10} и C_{20} – емкость аккумулятора, номинальная, А·час;

T_{10} и T_{20} – время заряда и разряда, равное 10 и 20 часам, час.

Возобновляемыми источниками, энергия которых может быть преобразована в энергию электрического тока, рассматриваемыми в диссертации являются - энергия ветра и солнечного излучения. В первом разделе второй главы данной диссертационной работы предложена и

обоснована методика расчёта энергетического потенциала каждого из перечисленных видов энергии. Однако очевидно, что реальное количество электроэнергии, которое может быть сгенерировано на базе этих источников зависит от количества генерирующих установок, их технических параметров и количественного соотношения генерирующих устройств различных видов: ветровых установок и солнечных панелей, в структуре комплекса энергообеспечения.

Таким образом, суммарную мощность, вырабатываемую генерирующими установками, с учетом соотношений (2.1), (2.32), (2.31) и (2.33) будет иметь вид:

$$P = R_{\Sigma} \cdot N_{CB} \cdot S_{\eta} \cdot \eta_{СП} \cdot \eta_C + 0,5 \cdot N_{ВУ} \cdot \rho \cdot S_{ВУ} \cdot V^3 \cdot \eta_{ВД} \cdot \eta_B \quad (2.44)$$

где R_{Σ} – текущая суммарная мощность прямого и диффузного рассеянного излучения солнца на поверхность солнечной батареи, кВт/м²;

N_{CB} – число солнечных батарей, штук;

S_{η} – площадь солнечной батареи, м²;

$\eta_{СП}$ – КПД Солнечной батареи;

η_C – КПД линии электропередач, систем коммуникации, стабилизации и др. солнечной панели;

$N_{ВУ}$ – количество ветроустановок, штук;

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

$S_{ВУ}$ – площадь ометаемая ветровым колесом, м²;

$\eta_{ВД}$ – КПД ветровой установки (суммарный КПД генератора, редуктора, ветроколеса и др.);

η_B – КПД линии электропередач, систем коммуникации, стабилизации и др. ветрового двигателя.

Приведенное соотношение полностью и однозначно описывает результат генерации электроэнергии преобразователем любого конструктивного исполнения.

Основными параметрами ветровой установки с горизонтальной осью являются - диаметр ветроколеса, значение которого зависит от его площади ометаемой ветровым колесом и высотой расположения его оси над поверхностью земли с учетом (2.33), определяется выражением:

$$D = 2 \cdot \sqrt{\frac{S_{ВУ}}{\pi}} \quad (2.45)$$

Если ось ветровой установки расположена вертикально, то его параметры диаметр ветроколеса и высота будут определяться по выражению:

$$S_{ВУ} = D \cdot H_K \quad (2.46)$$

где D - диаметр ветроколеса, м;

H_K – высота расположения оси ветроколеса, м.

Коэффициент η_{CB} увеличивается путем применения систем концентрации солнечного излучения и слежения за солнцем. Энергетический потенциал солнечного излучения – количество энергии солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность единичной площади в единицу времени. Количество энергии, поступающего на произвольно расположенную поверхность определяется из системы уравнения (2.25)

Суммарная мощность (2.44) является функцией времени, значения которой доступны в дискретных точках, заданных через постоянные промежутки времени:

$$\Delta T = t_{j+1} - t_j = const \quad (2.47)$$

Полагая, что функция $P(t)$ на отрезке времени ΔT изменяется по линейному закону от значения P_1 до P_2 , а потребляемая мощность постоянна, получим выражения для расчета избыточной и недостаточной энергии при следующих возможных вариантах соотношении (2.48) – (2.51) согласно рисунку 2.1:

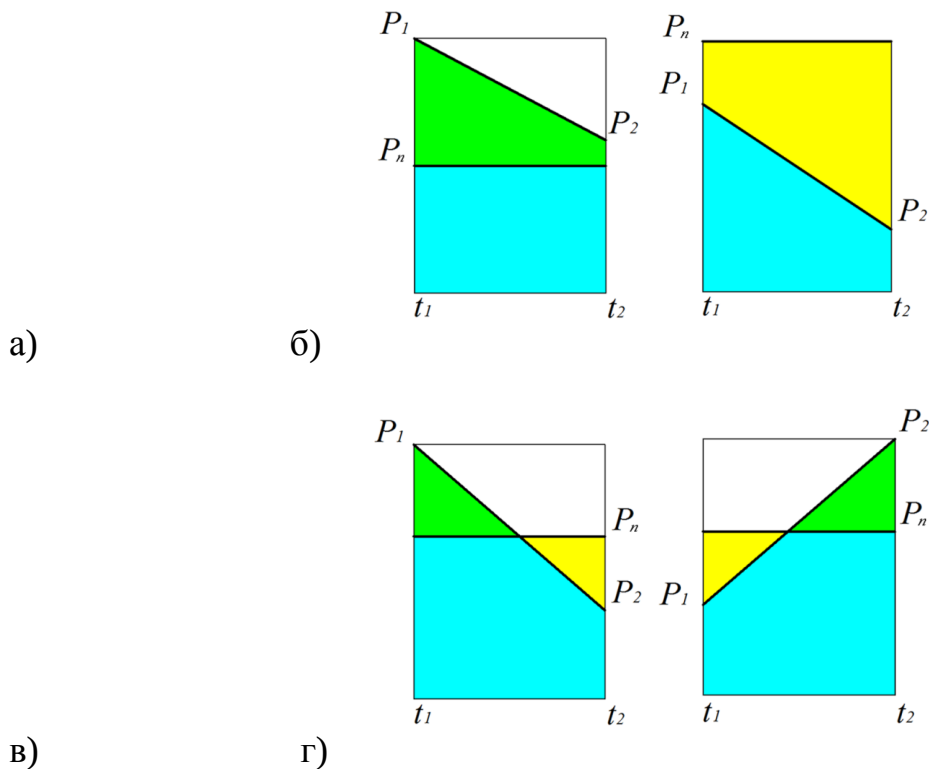


Рисунок 2.1 – Изменение функция $P(t)$ на отрезке времени ΔT : а) при $P_1 \geq \frac{P_n}{k_{и}}$,

$P_2 \geq \frac{P_n}{k_{и}}$; б) при $P_1 < \frac{P_n}{k_{и}}$, $P_2 < \frac{P_n}{k_{и}}$; в) при $P_1 > \frac{P_n}{k_{и}}$, $P_2 < \frac{P_n}{k_{и}}$; г) при $P_1 < \frac{P_n}{k_{и}}$, $P_2 > \frac{P_n}{k_{и}}$.

- при $P_1 \geq \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}, P_2 \geq \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}$

$$\begin{cases} W_{\text{и}} = \frac{P_1 + P_2 - \frac{2P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}}{2} \cdot \Delta T; \\ W_{\text{н}} = 0. \end{cases} \quad (2.48)$$

- при $P_1 < \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}, P_2 < \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}$

$$\begin{cases} W_{\text{и}} = 0; \\ W_{\text{н}} = \frac{\frac{2P_{\Pi}}{k_{\text{и}}} - P_1 - P_2}{2} \cdot \Delta T \end{cases} \quad (2.49)$$

- при $P_1 > \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}, P_2 < \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}$

$$\begin{cases} W_{\text{и}} = \frac{\left(P_1 - \frac{2P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}\right)^2}{2(P_1 - P_2)} \cdot \Delta T; \\ W_{\text{н}} = \frac{\left(P_2 - \frac{2P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}\right)^2}{2(P_1 - P_2)} \cdot \Delta T \end{cases} \quad (2.50)$$

- при $P_1 < \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}, P_2 > \frac{P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}$

$$\begin{cases} W_{\text{и}} = \frac{\left(P_2 - \frac{2P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}\right)^2}{2(P_1 - P_2)} \cdot \Delta T; \\ W_{\text{н}} = \frac{\left(P_1 - \frac{2P_{\Pi}}{k_{\text{и}}}\right)^2}{2(P_1 - P_2)} \cdot \Delta T \end{cases} \quad (2.51)$$

где $W_{\text{и}}$ – избыточная энергия;

$W_{\text{н}}$ – недостающая энергия.

Таким образом, на временном отрезке $[t_j, t_{j+1}]$, $i=0, 1, 2 \dots m$ значение мощности $\Delta W_j \geq 0$ или $\Delta W_j < 0$, в соответствии с зависимостью (2.43 – 2.44):

$$\Delta W_j = W_{\text{и}} + W_{\text{н}} \quad (2.52)$$

где j – порядок номера временного отрезка.

Если $\Delta W_j \geq 0$, то часть избыточной энергии будет аккумулирована в соответствии (2.38) – (2.41), а оставшаяся часть рассеяна:

$$\Delta D_j = D_j - D_j' \quad (2.53)$$

При этом энергетический баланс системы выражается через уравнение:

$$\Delta W_j = \Delta D_{Aj} \cdot U_A + P_{bj} \cdot \Delta T \quad (2.54)$$

где D_A и D_A' – начальное и конечное значения емкости и системы аккумулирования, А·час, определяются (2.37) – (2.41);

P_b – мощность используемая балластной нагрузкой, Вт, с учетом (2.38) – (2.41), определяется:

$$P_A = \frac{\Delta W_j}{\Delta T}, \quad P_{bj} = P_j, \quad \Delta T = t \quad (2.55)$$

Если $\Delta W_j < 0$, то недостаточная часть энергии восполняется из системы аккумулирования и уравнение энергетического баланса примет вид:

$$\Delta D_{Aj} \cdot U_A \frac{\Delta W_j}{\Delta T} \quad (2.56)$$

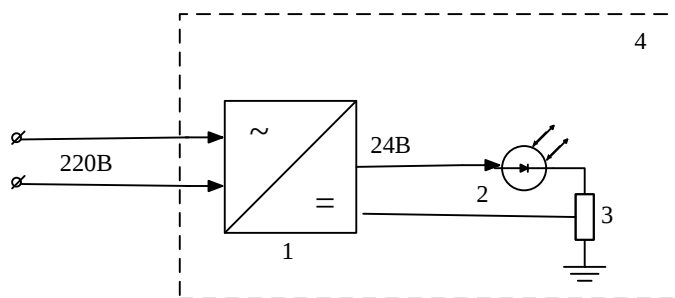
где ΔD_A – определяется из уравнения (2.42) с учетом (2.55).

Соотношения (2.54) и (2.56) представляют математическую модель системы энергообеспечения автономного объекта с применением возобновляемых источников энергии. Решение задачи моделирования предполагает реализацию последовательности математических расчетов, в соответствии с разработанной методикой, для m временных точек ($t_1, t_2, t_3, \dots, t_m$), которыми развивается промежуток времени T на $(m-1)$ интервал.

2.3 Исследование системы низковольтного освещения автономного объекта с использованием солнечной панели

При проведенных исследованиях выявили, что напряжение тока вырабатываемого солнечной панели совпадает с напряжением светодиодного освещения и составляет 24В. Постоянный ток с напряжением 24В считается низковольтным [130] и не представляет опасности для жизни человека.

Классическая схема включения светодиода в осветительном приборе показана на рисунке 2.2.

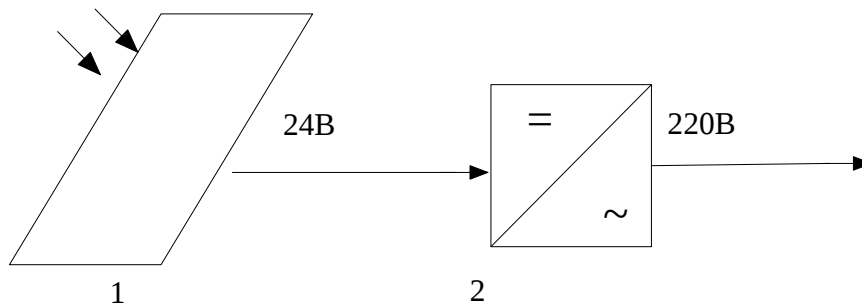


1 – преобразователь переменного тока в постоянный (драйвер), 2 – светодиод, 3 – эквивалентное сопротивление светодиода, 4 – контур осветительного прибора

Рисунок 2.2 – Типичная схема осветительных приборов

Одним из элементов осветительного прибора является источник питания 1 (преобразователь с переменного напряжения в постоянный). Таким образом, при освещении светодиодным светильником помещения подключенного к сети с переменным напряжением 220В происходит потеря энергии при преобразовании напряжения драйвером, так как его КПД не равен 100%.

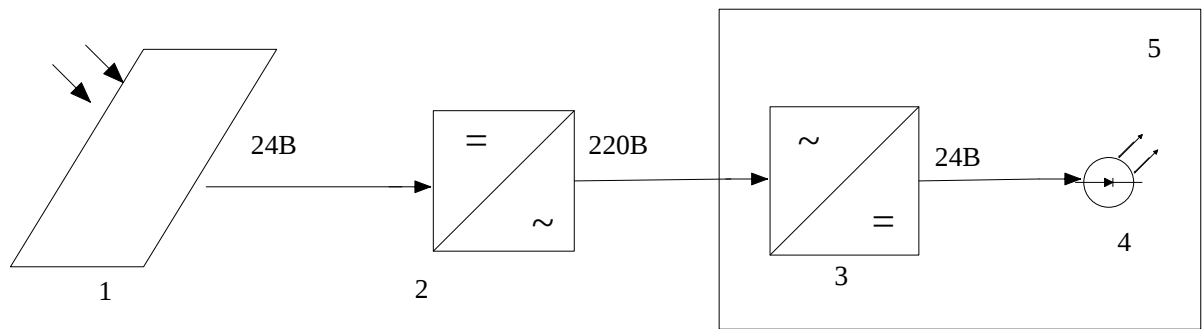
При широком внедрении альтернативных источников энергии в частности солнечных батарей или солнечных элементов питания для использования типовых осветительных приборов необходимо преобразовать полученный от них постоянный ток в переменный, рисунок 2.3.



1 – солнечная батарея, 2 – преобразователь из постоянного напряжения в переменное

Рисунок 2.3 – Схема преобразования с постоянного напряжения вырабатываемой солнечной батареей в переменное

Обычно, при применении альтернативных источников энергии, используют уже имеющиеся в наличии осветительные приборы схематично представленные в виде контура 4 на рисунке 2.2. А для обеспечения переменного напряжения 220В устанавливается конвертор 24-220В. Таким образом, общая схема реализации подключения светодиодных осветительных систем может быть представлена в виде рисунка 2.4



1 – солнечная батарея, 2 – конвертор, 3 – преобразователь переменного тока в постоянный, 4 – светодиод, 5 – осветительный прибор

Рисунок 2.4 – Общая схема реализации подключения светодиодных осветительных систем

Несмотря на незначительный КПД солнечных батарей, их применение является эффективным из-за использования возобновляемого источника энергии. Однако, в рассматриваемой схеме (рисунок 2.4) имеется два преобразователя - позиция 2 и 3, вносящие потери и утечки в систему освещения. Первый преобразователь 2 осуществляет преобразование постоянного тока вырабатываемым солнечной батареей 24В в рабочее напряжение сети 220В переменного тока, а второй конвертор (преобразователь переменного тока в постоянный) 3 осуществляет преобразование переменного тока в постоянный с 220В до напряжения в 24В.

Для определения эффективности применения двойного преобразования тока необходимо произвести расчет КПД системы [130].

Коэффициент преобразования (КПД) преобразователя характеризуется отношением активной мощности, отдаваемой в нагрузку, к полной мощности, потребляемой преобразователем.

Коэффициент преобразования (КПД) преобразователя определяется по формуле:

$$\eta = P_d / (P_d + \Delta P) \quad (2.57)$$

где P_d – мощность преобразователя:

$$P_d = P_{d, \text{ном}} / \eta \quad (2.58)$$

где $P_{d, \text{ном}}$ – номинальное значение мощности преобразователя;

ΔP – суммарная мощность потерь в преобразователе.

Суммарная мощность потерь в преобразователе определяется:

$$\Delta P = \Delta P_B + \Delta P_{\text{упр}} + \Delta P_{\text{тр}} \quad (2.59)$$

где ΔP_B – потери в вентилях преобразователя:

$$\Delta P_B = n \times \Delta U_{\text{пр}} \times I_a \quad (2.60)$$

где n – количество вентиля в схеме выпрямителя преобразователя;
 $\Delta U_{\text{пр}}$ – прямое падение напряжения в вентиле преобразователя, В;
 I_a – среднее значение анодного тока в вентиле преобразователя, $I_a = I_{d.\text{ном}}/3$, А;
 $I_{d.\text{ном}}$ – значение номинального тока двигателя преобразователя, А;
 $\Delta P_{\text{упр}}$ – мощность, потребляемая системой управления. Можно принять $\Delta P_{\text{упр}} = 0,5\% \times P_{d.\text{ном}}$, Вт;
 $\Delta P_{\text{тр}}$ – потери в силовом трансформаторе:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_{\text{м}} \quad (2.61)$$

где $\Delta P_{\text{ст}}$ – потери в силовом трансформаторе;
 $\Delta P_{\text{м}}$ – потери в меди трансформатора, определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{м}} = P_{\text{кз}} \times (I_2 / I_{2.\text{ном}}) \quad (2.62)$$

где $P_{\text{кз}}$ – мощность короткого замыкания;
 I_2 – действительное значение рабочих токов вторичной обмотки;
 $I_{2.\text{ном}}$ – ток вентильной обмотки.

Для внедрения низковольтной системы мы рассчитали необходимое сечение проводов при использовании низковольтных светодиодных ламп. Для расчета используются медные провода, с удельным сопротивлением $0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$, [1-2].

- сопротивление провода, Ом, определяется по формуле:

$$R = \rho \times (l/S) \quad (2.63)$$

где ρ – удельное сопротивление провода, $\text{Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$;

l – длина проводника, м;

S – площадь его поперечного сечения, мм^2 .

- площадь поперечного сечения определяем по формуле:

$$S = \rho \times (l/R) \quad (2.64)$$

Ток в линии провода определяется по формуле:

$$I = P/U \quad (2.65)$$

где P – мощность потребляемая нагрузкой, Вт;

U – напряжение в линии провода, В.

Внедрение низковольтной системы питания дает возможность эффективно использовать вырабатываемой солнечной панелью энергию без потерь на преобразование.

2.4 Оптимизация процесса автоматизированного контроля и управления температурой в автономном объекте

Не маловажным фактором при энергообеспечении автономного объекта является температура в помещении объекта.

Эффективность контроля и управления микроклиматом автономного «умного» зависит от оптимального выбора методов и средств. Средства контроля характеризуются экономическими и точностными показателями. Показателями качества контроля является достоверность, с повышением достоверности стоимость контроля повышается, но при этом уменьшается вероятность ошибочных решений и материальных последствий данных ошибок[129, 139-141].

Задача оптимизации процесса контроля состоит в минимизации суммы затрат на систему контроля и потерь за тот же период в функции достоверности, как показано на рисунке 2.5. Потери в данной задаче измеряются стоимостью жизни среднестатистического человека в определенной остановке, где температура в среде его обитания являются критическими параметрами.

В аналитическом виде целевая функция затрат на приобретение оборудования и указанных выше потерь в функции достоверности контроля представлена в следующем виде[142]:

$$C_{\Sigma} = C_1(\sigma) + C_2(D) \quad (2.66)$$

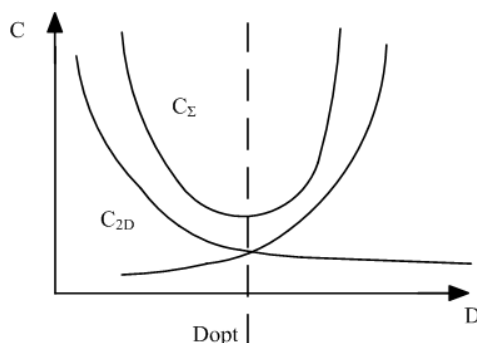
где $C(\sigma)$ – затраты на приобретение и эксплуатацию оборудования, контролирующего параметр σ погрешностью σ ;

$C_2(D)$ – экономические потери за контролируемый период в функции достоверности;

D – достоверность контроля ($D=1-P_{HO}-P_{ЛО}$);

P_{HO} – вероятность необнаруженного отказа;

$P_{ЛО}$ – вероятность ложного отказа.



C – затраты, $C_{\text{сум}}$ – суммарные затраты, C_{2D} – потери в функции достоверности; $C_{1\sigma}$ – затраты на приобретение оборудования, D - достоверность

Рисунок 2.5 – Графическая модель оптимизации уровня достоверности в системе контроля температуры

Так как в данной задаче рассматривается метрологическая надежность системы контроля, принята терминология из теории надежности – отказ, когда результаты не отвечают установленным нормам.

Из выражения (2.66) следует, что внедрение системы контроля приводит к измерению C_{Σ} в двух направлениях:

- к его увеличению за счет дополнительных затрат на оборудование $C_{1\sigma}$;
- к уменьшению за счет сокращения потерь в исследуемой системе C_{2D} [129, 139-141].

Потери C_{2D} обусловлены P_{HO} и $P_{ЛО}$, их можно представить в виде суммы слагаемых[139-141]:

$$C_2(D) = C_{HO}(P_{HO}) + C_{ЛО}(P_{ЛО}) \quad (2.67)$$

где $C_{ЛО}(P_{ЛО})$ – вероятные потери от ошибок, называемых в теории надежности, ложным отказом, а в системе принятия решений ложным браком контроля;

$C_{HO}(P_{HO})$ – вероятность потери от необнаруженных отказов.

Вероятности отказа, как было установлено в работе [131], являются функциями законов распределений контролируемых параметров и погрешности измерений, соотношения допуска на параметр и погрешности измерений, а так же положения допуска по отношению среднему значению параметра. Для того, чтобы количественно измерить все последствия, необходимо найти аналитические зависимости в функции достоверности.

Первая составляющая в выражении (2.66) стоимость средств контроля и регулирования температуры в помещении в функции погрешности измерения, найденная по эмпирическим данным может быть аппроксимирована следующим выражением:

$$C_1(\sigma) = 550 \cdot \exp(-0,112 \cdot \sigma) \quad (2.68)$$

Подставляя (2.83 и 2.84) в (2.82) получим целевую функцию в общем виде:

$$C_{\Sigma} = C_{HO}(P_{HO}) + C_{ЛО}(P_{ЛО}) + C_0 \sigma^{-a} + a_0 \quad (2.69)$$

где σ – погрешность измерения температуры.

Стоимость выражается в тыс. тенге.

Формально модель оптимизации определяется[129, 139-141]:

$$C_{\Sigma} \rightarrow \min$$

- при наличии ограничения $\sigma_{\min} \leq \sigma \leq \sigma_{\max}$;

$$\Delta_{\min} \leq \Delta \leq \Delta_{\max};$$

$$C_1(\sigma) \leq C_1(\sigma)_{\max};$$

Данная модель позволяет определить оптимальные значения достоверности контроля D , погрешность прибора σ и значение поля допуска на параметр Δ при условии:

$$\Delta = S_B - S_H; C_\Sigma = C_{\Sigma \min}, \text{ то } \sigma = \sigma_{opt}; \Delta = \Delta_{opt}$$

где S_B – верхнее значение допуска контролируемого параметра;

S_H – нижнее значение допуска контролируемого параметра.

В выражении (2.69) присутствуют два рода ошибок:

- первая ошибка, оценивая вероятностью P_{HO} , состоит в том, что измеряемая температура среды находится за предельным значением, а прибор измерения фиксирует значение в установленных пределах, и автоматическая система будет поддерживать этот температурный уровень. Это ошибка является наиболее опасной для здоровья человека;

- вторая ошибка, оценивая вероятностью $P_{ЛО}$, состоит в том, что измеряемая температура среды находится в нормативных пределах, а прибор измерения фиксирует значение за установленными пределами, и система будет отрабатывать в сторону уменьшения.

Так как первая ошибка является наиболее опасной, то второй составляющей можно пренебречь.

Для перехода от общего вида целевой функции, заданной выражением (2.69) к частному, необходимо определить вид эмпирических зависимостей $C_{HO}(P_{HO})$ при контроле температуры автономного объекта T .

Оптимизации в графической форме эмпирической функции C_Σ будет иметь вид показанный на рисунке 2.6 и описывается зависимостью:

$$C_\Sigma = 906,6 + 42,01\sigma - 68,1\sigma^2 + 15,03\sigma^3 - 1,19\sigma^4 + 0,032\sigma^5 \quad (2.70)$$

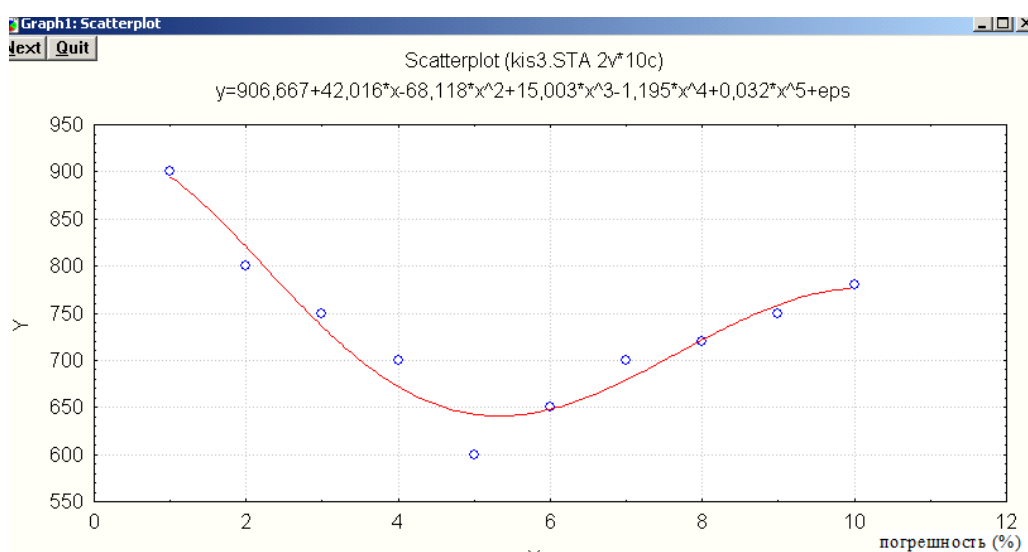


Рисунок 2.6 – Результаты компьютерного моделирования зависимости суммарных вероятных затрат в функции погрешности контроля температуры воздуха

Первым этапом моделирования предполагается, что плотности распределения контролируемого параметра $f(S)$ и случайной погрешности $\varphi(S_{\text{изм}})$ подчиняются нормальным законам, имеющие следующие аналитические формулы[129, 139-141]:

$$f(S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma \cdot \frac{2}{S}} \exp \left[-\frac{(S_i - S_{CP})^2}{\sigma \frac{2}{S}} \right] \quad (2.71)$$

$$\varphi(S_{\text{изм}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma \cdot \frac{2}{\sigma\varphi}} \exp \left[-\frac{S_{\text{изм}}^2}{\frac{2}{\sigma\varphi}} \right] \quad (2.72)$$

где S_i – истинное значение параметра;

$S_{\text{изм}}$ – измеренное значение параметра.

Для составления математической модели количественной оценки ошибок контроля, параметров микроклимата автономного объекта ограничим контролируемый параметр верхним и нижним пределами.

Разделим весь интервал от нижней до верхней части на k участков, при этом вероятность нахождения параметра в допустимых пределах будет равна сумме площадей этих участков[129, 139-141]:

$$S_A = \sum_{i=0}^{k-1} \int_{S_i}^{S_{i+1}} f(s) ds \quad (2.73)$$

Каждое значение измеренное прибором, имеет свое распределение:

$$Si_b = \int_{-\infty}^{S_H} \varphi(s) ds + \int_{S_B}^{\infty} \varphi(s) ds \quad (2.74)$$

Так как с точностью 95% можно сказать, что все значения распределены на интервале от $(S_{cp} - 3 \cdot \sigma = S_{\min})$ до $(S_{cp} + 3 \cdot \sigma = S_{\max})$, то разделив участки на k_1 и k_2 интервалов, получим другое выражение для расчета вероятности попадания измеренного значения температуры автономного объекта за пределы нормативов[129, 139-141]:

$$Si_b = \sum_{i=0}^{k_1-1} \int_{S_i}^{S_{i+1}} \varphi(s) ds + \sum_{i=0}^{k_2-1} \int_{S_i}^{S_{i+1}} \varphi(s) ds \quad (2.75)$$

Таким образом, вероятность ложного брака будет равна:

$$P_{\text{ЛБ}} = \sum_{i=0}^{k-1} \left(\int_{S_i}^{S_{i+1}} f(s) ds \cdot \left(\sum_{j=0}^{k1-1} \int_{S_j}^{S_{j+1}} \varphi(s) ds + \sum_{j=0}^{k2-1} \int_{S_j}^{S_{j+1}} \varphi(s) ds \right) \right) \quad (2.76)$$

Принцип оптимального управления микроклиматом автономного объекта строится на эмпирическом показателе, характеризующий сочетанное действие на организм человека параметров микроклимата, таких как, температура, влажность, скорости движения воздуха и тепловое излучение. Данный показатель называется тепловой нагрузкой среды ТНС, который определяется как результирующая температура взвешенная сумма двух температур[132]:

$$THC = 0,7 \cdot t_{\omega} + 0,3 \cdot t_g \quad (2.77)$$

где t_{ω} – температура смоченного термометра аспирационного психрометра. Используя соотношения, приведенные в [131] можно определить что:

$$t_{\omega} = t_a \cdot t_0 \cdot \ln(RH) \quad (2.78)$$

где t_0 – характерный масштаб температурной зависимости давления насыщающих паров воды, $t_0=16,7^{\circ}\text{C}$.

Производя соответствующие подстановки, получим формулу для ТНС индекса:

$$THC = 0,7 \cdot t_a + 0,3 \cdot t_g + t_1 \ln(RH) \quad (2.79)$$

При использования данного индекса ТНС рекомендуемая скорость движения воздуха не должна превышать 0,6м/с, а интенсивность теплового излучения 1200Вт/м².

Однако, эти формулы справедливы для ощущаемого тепла при температуре не ниже 27°C. Используя материалы, приведенные в работах [131, 132], была разработана таблица ощущаемой температуры для интервала температур от 21°C до 27°C. Полученные результаты приведены в таблице Приложения Б.

Использование данной таблицы (приложение 3) в системе автоматизированного регулирования температуры в автономном объекте возможно, но усложняется алгоритм работы.

Алгоритм работы управления температурой в автономном объекте показан на рисунке 2.7.

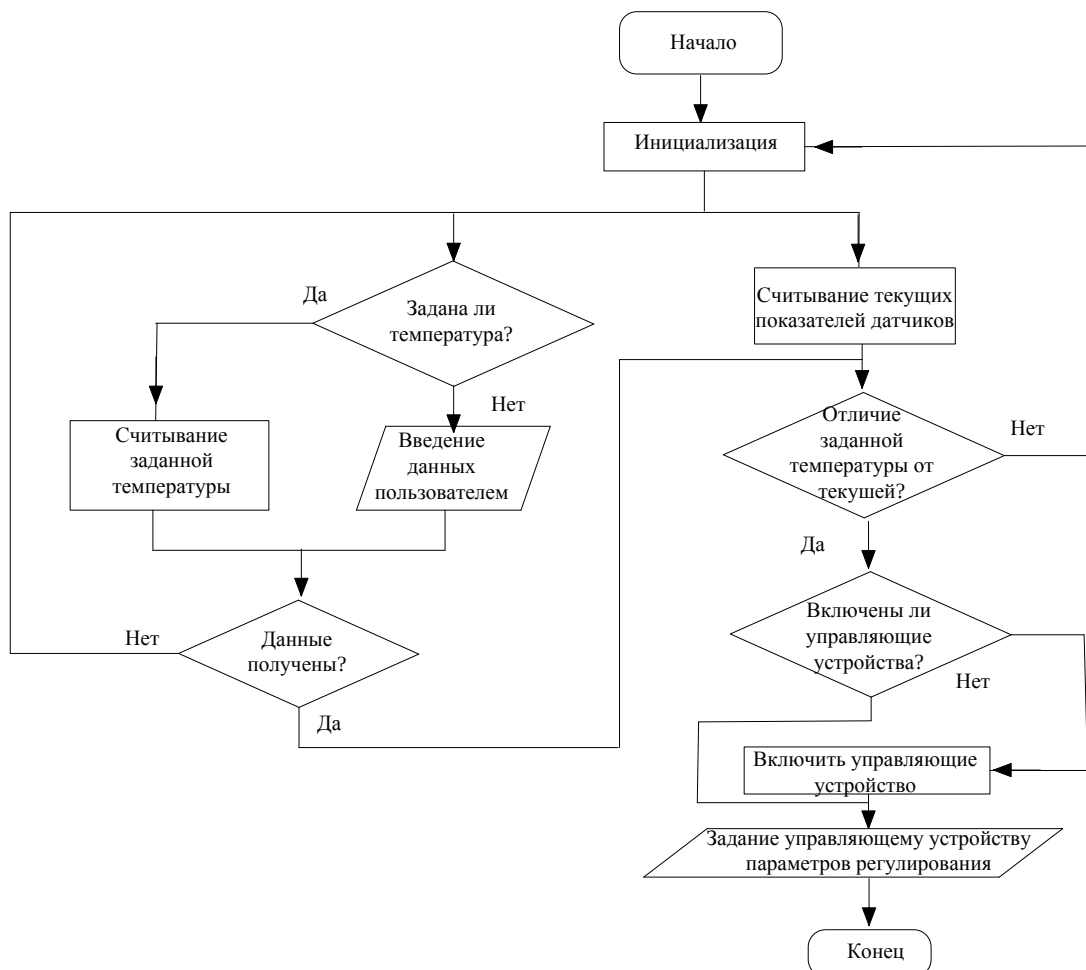


Рисунок 2.7 – Алгоритм работы управления температурой в автономном объекте

При разработке автоматизированного управления энергообеспечением и энергопотреблением автономного объекта составлена математическая модель оптимального автоматизированного управления температурой в автономном объекте.

Математическая модель основана на алгоритме оптимального автоматизированного управления температурой в автономном объекте, по критерию точности регулирования температурного режима.

Процесс автоматического регулирования температуры состоит из периодического измерения текущего значения температуры, сравнении измеренного значения с допусками, устанавливаемыми в ручную и, в случае отклонения, измеряемого значения от допуска в ту или иную сторону подачи управляющего сигнала на исполнительный механизм, для воздействия на регулятор температуры.

2.4.1 Автоматизированное управление сбора, хранения, обработки и передачи информации.

Сбор, хранение, обработка и передача данных о параметрах необходимых для автономного объекта и возобновляемых источников энергии это – процесс, содержащий тысячи записей о необходимом количестве мощности в определенный момент времени и соответственно возможность обеспечения

этой мощности возобновляемыми источниками энергии. Методика разработанная авторами [128], позволяет автоматизировать состояние возобновляемых источников энергии и состоит из следующих этапов:

- создание базы данных текущих измерений ветра и солнечной инсоляции;
- обработка сбора информации, заключающаяся в ее дискретизации, которая позволяет сохранить, обработать и использовать информацию о среднем скорости ветра и солнечной инсоляции в течении каждых трех часов;
- создание базы данных и программное решение с целью обработки данных

2.5 Выводы по главе

1 Разработана математическая модель, позволяющая управлять и оптимизировать работу солнечной батареи в зависимости от климатических условий и от степени освещенности;

2 Продемонстрирована методика расчета баланса мощностей автономного объекта, которая позволяет эффективно использовать генерируемую энергию от источников;

3 Разработана математическая модель системы энергообеспечения автономного объекта с применением солнечной панели и ветровой установки;

4 Проведён расчёт низковольтной системы питания, предложена методика, позволяющая эффективно использовать выработанную солнечной панелью энергию без потерь на преобразование;

5 При создании автоматизированного управления энергообеспечением и энергопотреблением автономного объекта разработана математическая модель оптимального управления температурой.

3 SMART ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА: АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Глава посвящена проведению натурных испытаний и апробация низковольтной светодиодной системы освещения с возобновляемыми источниками энергии в автономном объекте и разработка модели оптимального управления температурой в автономном объекте. А так же разработке метода комплексного управления системы электроснабжения с использованием Smart контроля управления и управлению контроллером энергообеспечения автономного объекта с элементами Smart технологии.

3.1 Низковольтная система освещения

Применение низковольтной системы освещения позволит сэкономить энергию, теряемую при двойном преобразовании тока.

Низковольтная система в работах [27] применяется в освещении улиц, книжных шкафов и др. В данной диссертационной работе предлагается использовать низковольтную систему освещения [135].

В результате проведенных исследований выявлено, что напряжение тока вырабатываемого солнечной панелью равен напряжению светодиодной лампы и составляет 24В.

Для исследования была собрана конструкция, состоящая из солнечной панели, преобразователя, аккумуляторной батареи, светодиодный прибор, вольтметр, амперметр и ваттметр. Была собрана электрическая цепь по рисунку 2.6 с измерительными приборами, которая показана на рисунке 3.1 [133].

Управление работой солнечной батареи. Количество работающих батарей зависит от количества требуемой мощности автономного объекта и от времени суток. Выбираем солнечные батареи следующих характеристик (одна панель солнечной батареи):

- максимальная мощность 400Вт;
- ток короткого замыкания 2,98 А;
- напряжение холостого хода 22,3В;
- напряжение при максимальной мощности 18,3В;
- ток при максимальной мощности 2,73А,
- размеры 500×800мм.

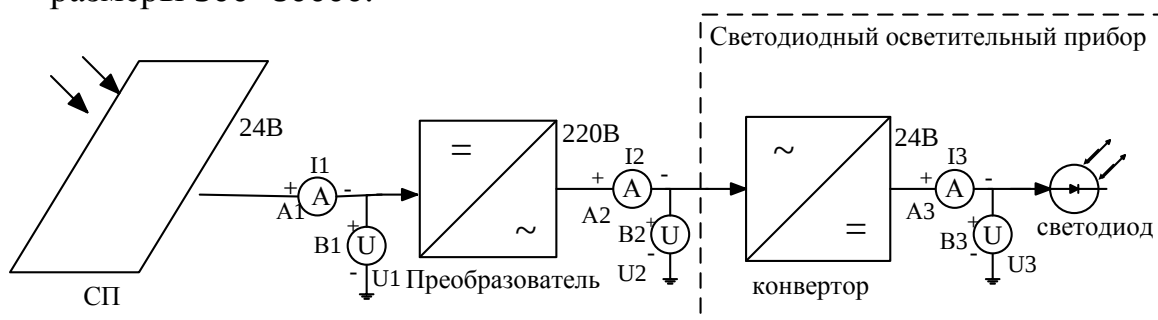


Рисунок 3.1 – Общая схема измерения системы

Источником энергии является солнечная панель СП, напряжение и ток были измерены до и после преобразователя и конвертора.

Конвертор на рисунке 3.1 является преобразователем напряжения с переменного тока на постоянный ток.

Общий вид собранной системы для проведения измерений показан на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Общий вид собранной в тестовом режиме системы освещения

Рассмотрим общую схему измерения КПД преобразователя и конвертора (преобразователь с переменного напряжения в постоянный) на рисунке 3.1. Допустим, что за основу взяли повышающий преобразователь напряжения. В разрыв цепи питания включаем амперметр A_1 , и параллельно входу питания преобразователя напряжения вольтметр V_1 , показания которых нужны для расчета потребляемой мощности P_1 устройства и нагрузки вместе от источника питания. К выходу преобразователя напряжения в разрыв питания нагрузки тоже включаем амперметр A_2 и вольтметр V_2 , требующаяся для расчета потребляемой нагрузкой P_2 мощности от преобразователя напряжения.

Для преобразования низковольтного напряжения использовался модуль от источника бесперебойного питания марки APC Back-UPS показан на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Преобразователь с постоянного тока в переменный

Для преобразования переменного тока в постоянный ток использовался преобразователь показанный на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Внешний вид преобразователя напряжения с 220В на 24В

Значения измеренных токов и напряжения, согласно схеме 3.1, приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Экспериментальные значения токов и напряжений

I_1, A	U_1, B	$P_1 Bт$	$I_2 A$	$U_2 B$	$P_2 Bт$	$I_3 A$	$U_3 B$	$P_3 Bт$
2,2	12,6	27,7	0,06	207	11,1	0,14	37,6	5,3

Расчет производится по общепринятым законам теории электрических цепей. Мощность определяется по следующим формулам:

$$P_1 = I_1 \times U_1 \quad (3.1)$$

$$P_2 = I_2 \times U_2 \quad (3.2)$$

КПД преобразователя η_1 определяем по формуле:

$$\eta_1 = (P_2 / P_1) \times 100\% \quad (3.3)$$

По данной формуле (3.3) мы определяем реальный кпд преобразователя напряжения.

Мощность конвертора (преобразователь с переменного напряжения в постоянный) определяется по следующим формулам:

$$P_2 = I_2 \times U_2 \quad (3.4)$$

$$P_3 = I_3 \times U_3 \quad (3.5)$$

КПД преобразователя с переменного напряжения в постоянный η_2 определяем по формуле:

$$\eta_2 = (P_3 / P_2) \times 100\% \quad (3.6)$$

Суммарный общий кпд $\Sigma\eta$ преобразователей можно определить по формуле:

$$\Sigma\eta = \eta_1 \times \eta_2 \quad (3.7)$$

Результаты расчетов по полученным экспериментальным значениям приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчетов по экспериментальным данным

P_1 Вт	P_2 Вт	P_3 Вт	η_1 %	η_2 %	$\Sigma\eta$ %
27,7	11,1	5,3	40	47,8	20

Полученные результаты показали не эффективное применение двойного преобразования напряжения с 24В в 220В и с 220В в 24В.

3.2 Метод комплексного управления системы энергообеспечения с использованием Smart контроля управления

На проведенных экспериментах и разработанной математической модели (Глава 2) разработана структурная схема системы энергообеспечения автономного объекта с использованием Smart технологий.

Для реализации математической модели использовалось программное обеспечение Simulink и Simpowersystems визуального моделирования входящий в пакете MatLab. Использование данного программного обеспечения позволит рассмотреть моделирование сложных электрических систем. Достоинством использования данной программы является сочетание методов структурного и имитационного моделирования, и такой подход обеспечивает гибкость системы под разрабатываемую модель, значительно упрощает модель, следовательно, повышает скорость вычислений.

Разработка имитационной модели системы энергообеспечения позволит регулировать параметры солнечной батареи, ветровой установки, аккумулятора, логический алгоритм работы системы управления и исследовать саму систему электроснабжения в основном и аварийных режимах.

В данной главе рассматривается комбинированная автоматизированная система энергообеспечения автономного объекта с использованием установок работающих на возобновляемых источниках энергии, таких как солнечная панель и ветровая установка.

Для того чтобы выбрать какую разработать имитационную модель создается база данных для сбора информации о необходимом количестве электрической и тепловой энергии для системы энергообеспечения автономного объекта и климатические условия данного района, методика расчета приведена во второй главе.

Возобновляемым источником энергии выбираем солнечные панели, ветровую установку. По мере необходимости эти оборудования могут работать одновременно и каждый по отдельности.

В настоящее время управление и контроль электрической схемой рассмотрено не в полном объеме. Поэтому предлагается управление системой электроснабжения, в которой генератором энергии системы электроснабжения служит солнечная энергия и ветровая установка. В дальнейшем именуемая как Smart технологии управления системой энергообеспечения автономного объекта.

В состав Smart технологии управления системой электроснабжения автономного объекта входят ключи коммутационной нагрузки, управляемые ключи солнечной батареи, контроллерную систему управления, щит управления ключами солнечной батареи, управляющее устройство ключами коммутационной нагрузки, датчики тока аккумулятора, солнечной батареи и ветровой установки, датчик напряжения аккумуляторной батареи, блок сбора информации и источник питания. Структурная схема Smart технологии управления системой энергообеспечения автономного объекта показан на рисунке 3.12.

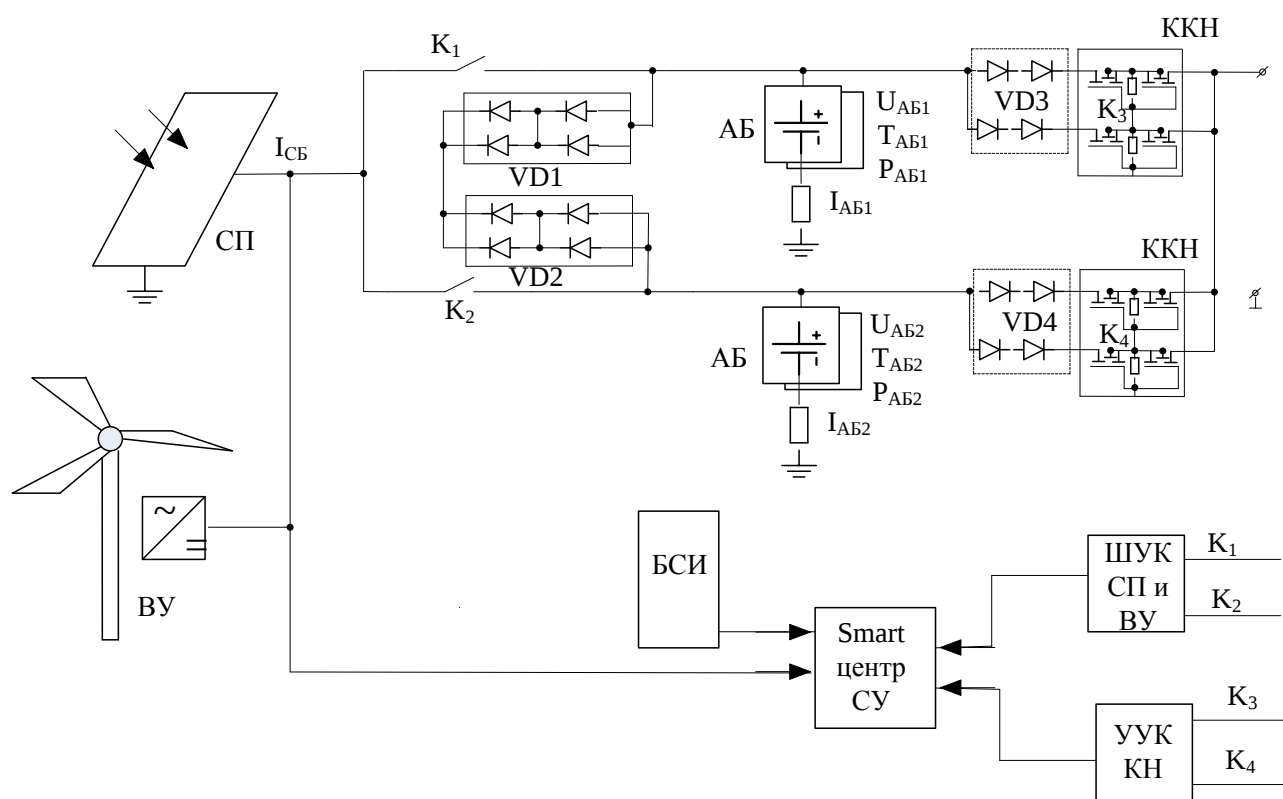


Рисунок 3.12 – Структурная схема Smart технологии управления системой электроснабжения автономного объекта

Аккумуляторные батареи выбраны стандартные (рисунок 3.1) в количестве 4 штук, два аккумуляторных батареи соединены последовательно для образования напряжения 24В, другие два между собой последовательно относительно к первым двум параллельно.

Система управления осуществляет управление силовыми ключами с помощью драйвера, расположенных в ШУКСП и ВУ и УУККН. Коммутация ключей осуществляется таким образом, что к солнечной батареи может быть

подключена одна пара аккумуляторных батарей или две пары сразу в зависимости от заряда аккумуляторов. При аварийных ситуациях система электроснабжения автономного объекта осуществляется от аккумуляторных батарей или ветровой установки. В случае возникновения аварийных ситуаций в ночное время суток при снижении заряда аккумуляторных батарей формируется аварийный сигнал, который поступает в Smart центр. В свою очередь Smart центр переключает электроснабжение объекта на другой вид возобновляемого источника энергии.

Уровень заряда аккумуляторной батареи организован по принципу подчиненного регулирования напряжения АБ, структурная схема которого показана на рисунке 3.13. В нормальном режиме работы принцип действия системы энергообеспечения СЭО основан на поддержании достаточного уровня мощности на шинах аккумуляторов путем коммутации секций СП. Управление ключами организовано по принципу подчиненного регулирования напряжения АБ, структурная схема которого представлена на рисунке 3.13.

Главный контур регулирования напряжения на АБ, рисунок 3.13. Исходя из уровня напряжения АБ регулятор $I_y(U_{AB})$ вырабатывает сигнал I_y , который является током – задатчиком для подчиненного контура регулирования. Регулятор $I_y(U_{AB})$ стремится поддержать напряжение АБ в диапазоне заданных значений $U_{мин} < U_{AB} < U_{макс}$. Когда U_{AB} достигает максимального значения $U_{макс}$, сигнал I_y устанавливается в нуль и этот режим называют поддержание заряда АБ. При снижении U_{AB} до значения $U_{мин}$ сигнал I_y устанавливается в значение, количественно равному максимально допустимому зарядному току АБ и ее называют заряд АБ.

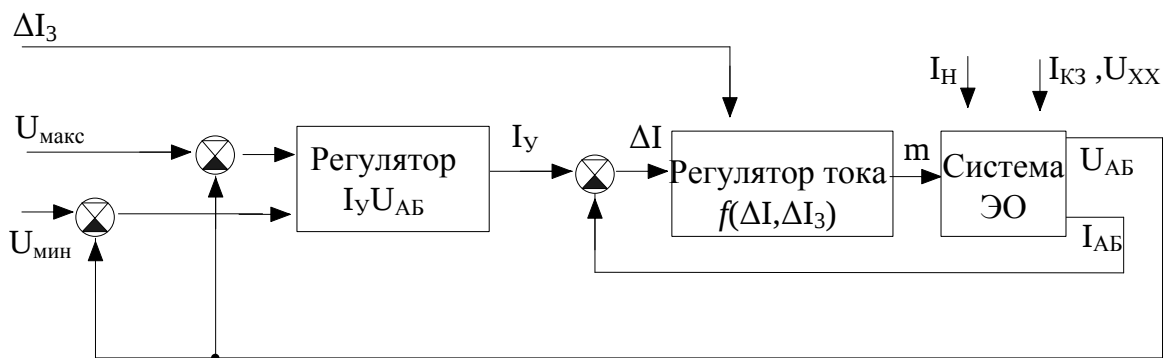


Рисунок 3.13 – Структурная схема подчиненного регулирования напряжения аккумуляторной батареи

В процессе работы системы электроснабжения автономного объекта, рисунок 3.13, возмущение в виде нагрузки I_H или параметров вольт – амперных характеристик солнечной панели (I_{K3} , U_{XX}) приводят к изменению тока аккумуляторной батареи на величину ΔI относительно тока установки I_y . Регулятор тока стремится подавить это отклонение так, чтобы оно не превышало максимально допустимой величины ΔI_3 и выдает соответствующий сигнал m на коммутацию ключей K1 и K2.

В процессе работы системы электроснабжения автономного объекта возмущение в виде нагрузки I_H (3.1), (3.2) или параметров вольт – амперных характеристик солнечной панели ($I_{кз}$, U_{xx}) приводят к изменению тока аккумуляторной батареи на величину ΔI относительно тока установки I_y . Регулятор тока стремится подавить это отклонение так, чтобы оно не превышало максимально допустимой величины ΔI_3 и выдает соответствующий сигнал m на коммутацию ключей $K1$ и $K2$:

$$I_H = \begin{cases} \sum_{k=1}^m I_{CBk} \pm I_{AB1}, npu U_{AB1} - U_{VDB1} - U_{KB1} > U_{AB2} - U_{KB2}; \\ \sum_{k=1}^n I_{CBk} \pm I_{AB2}, npu U_{AB2} - U_{VDB2} - U_{KB2} > U_{AB1} - U_{KB1}. \end{cases} \quad (3.1)$$

$$U_H = \begin{cases} U_{AB1} - U_{VDB1} - U_{KB1}, npu U_{AB1} - U_{VDB1} - U_{KB1} > U_{AB2} - U_{KB2}; \\ U_{AB2} - U_{VDB2} - U_{KB2}, npu U_{AB2} - U_{VDB2} - U_{KB2} > U_{AB1} - U_{KB1}. \end{cases} \quad (3.2)$$

$I_{кз}$, U_{xx} , U_{AB} , $I_{опт}$, U_{xx} , $U_{опт}$ – (токи короткого замыкания и экстремальной мощности, напряжения холостого хода и экстремальной мощности) рассчитываются согласно приведенным формулам (2.4, 2.5 – 2.25) во второй главе.

Такая структура еще не использовалась в системе электроснабжения объектов, поэтому ее исследовали с помощью имитационной модели. Структура такой модели представлена на рисунке 3.14 и состоит из блока – задатчика параметров СП и ВУ, имитирующего угол освещения солнечной панели скорости и ветра в процессе функционирования СЭО, имитирующего ВАХ СБ; Smart центр управления системой электроснабжения автономного объекта, имитирующего работу ключей солнечной панели и ветровой установки КСПиВУ, работу СЭО в нормальном и аварийном режимах R и работу системы управления СУ. В структуре имеются две аккумуляторные батареи $AB1$ и $AB2$, которые образуют общую шину нагрузкой R_H , изменяющейся по времени. Система управления имитационной моделью СУ ИМ СЭО предназначена для задания параметров названных блоков, монитор для визуализации контролируемых параметров моделируемых процессов.

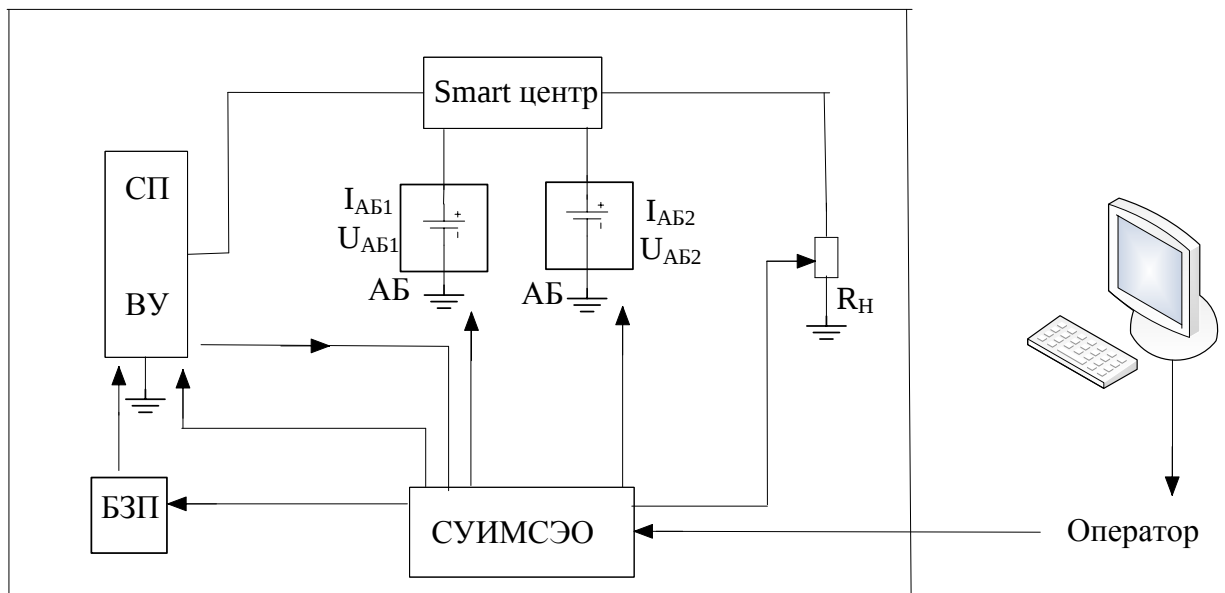


Рисунок 3.14 – Структура модели системы электроснабжения

Данная система электроснабжения включает в себя солнечную панель, ветровую установку, аккумуляторную батарею и Smart технологии управления системой электроснабжения автономного объекта (рисунок 3.14). Структура модели системы энергообеспечения с солнечной батареей и ветровой установкой показана на рисунке 3.15.

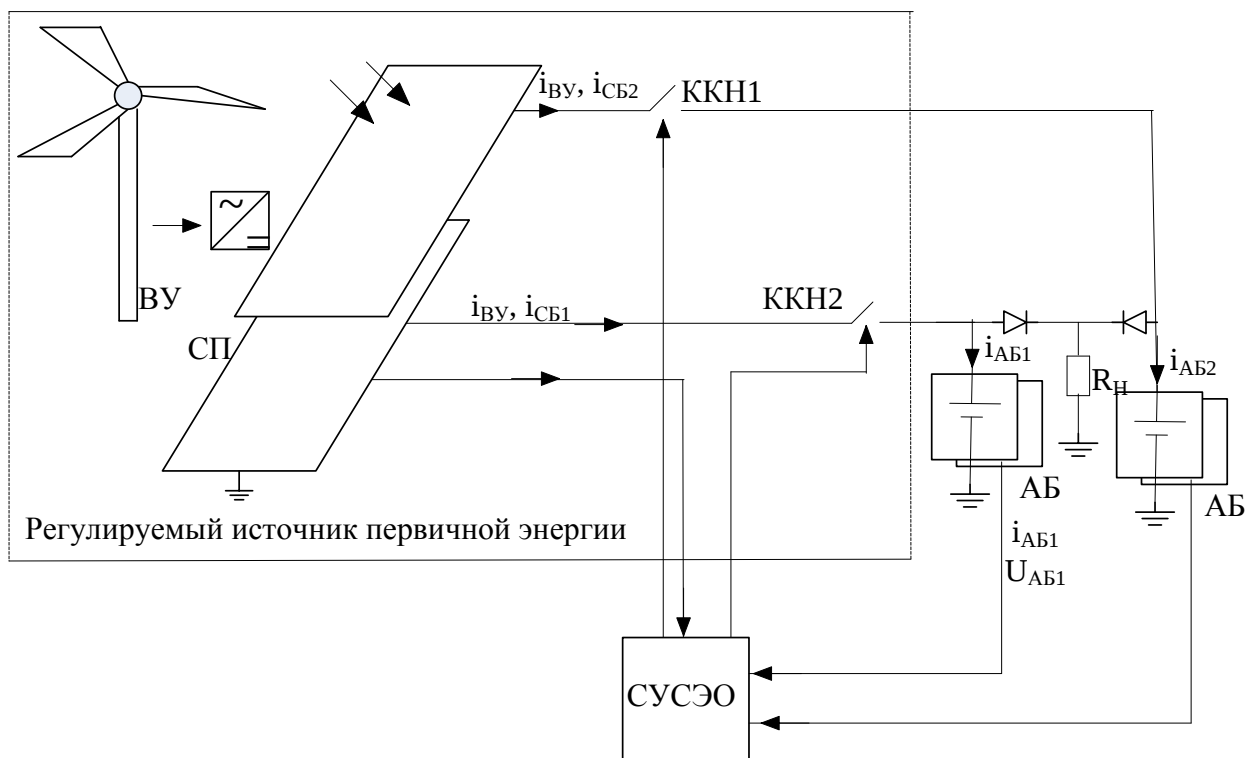


Рисунок 3.15 – Структура модели системы энергообеспечения с солнечной батареей

Чтобы модель позволяла гибко управлять ключами солнечной батареи и ветровой установки, предложена схема замещения системы энергообеспечения

автономного объекта, в которой регулируемый источник первичной энергии для шин аккумуляторной батареи, замещен управляемыми солнечными батареями и ветровой установкой (рисунок 3.16), которые имитируют ступенчатое увеличение или уменьшение токовой составляющей вольт – амперной характеристики солнечной батареи, ветровой установки – $i_{CB}nK(t)$ или $i_{CB}mK(t)$ в соответствии с сигналами (m и n) и $K(t)$ – сигналом коэффициента освещенности блока датчика параметров освещенности объекта.

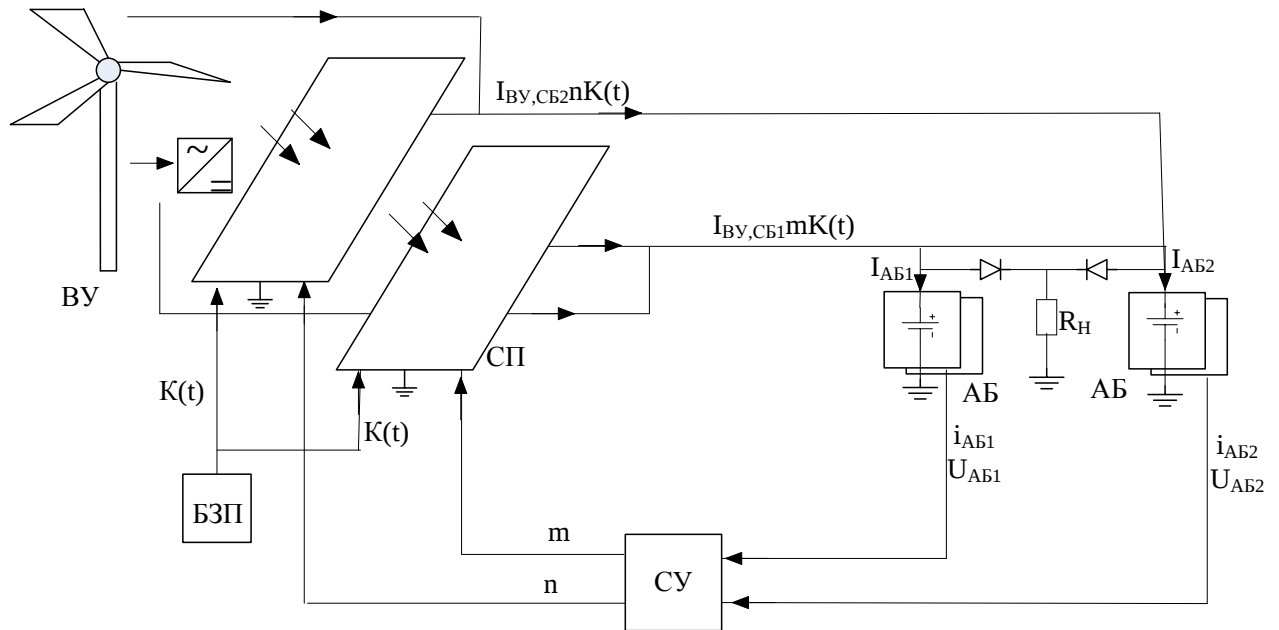


Рисунок 3.16 – Схема замещения структуры системы электроснабжения

Таким образом, задавая максимальные значения n и m и предельно настраивая ВАХ солнечной батареи при полной освещенности и ветровой установки, получаем математическое описание модели регулируемого источника первичной энергии, которое возможно реализовать в пакете MatLab.

Имитационная модель системы электроснабжения, представлена на рисунке 3.17 и реализованная в программе Sim Power Systems пакета MatLab. Управляемая солнечная панель и ветровая установка представляют собой управляемые источники тока с обратной связью по напряжению и имитируют общую ВАХ солнечных панели, подключенных к аккумуляторной батарее. Функциональная связь тока и напряжения описана на языке С в блоке Simulink. Модель задана эмпирической формулой (3.3) – (3.5) и настраивается по точкам $I_{кз}$, $I_{опт}$, $U_{хх}$, $U_{опт}$ (токи короткого замыкания и экстремальной мощности, напряжения холостого хода и экстремальной мощности).

Коэффициент степени освещенности солнечной батареи:

$$K_{osv}(t) = \sin(2\pi t / T_{osv}) \quad (3.3)$$

где $T_{osv} = T_{об} \times \alpha / 360$

$T_{об}$ – период вращения Земли вокруг Солнца, [119]

α – угол освещения поверхности солнечной батареи солнцем, [119].

Известна эмпирическая зависимость напряжения от тока СБ [106, 119], она удобна тем, что ВАХ задаются параметрами: $I_{кз}[K_{osv}(t)]$, $I_{опт}[K_{osv}(t)]$, U_{xx} , $U_{опт}$.

Модель солнечной модели строится в MatLab по зависимости:

$$I_n(U_n) = I_{кзreg} \left(1 - C_1 \times (e^{C_2 U_n^m} - 1) \right) \quad (3.4)$$

$$C_1 = 0,01175;$$

$$C_2 = 4,46 U_{xx}^{-m};$$

$$m = \left| \frac{\ln C_3 - \ln 4,46}{\ln U_{onm} - \ln U_{xx}} \right| \quad (3.5)$$

$$C_3 = \ln \frac{1,01175 I_{кзreg} - I_{onmreg}}{0,01175 I_{кзreg}}$$

Динамика изменения мощности солнечной батареи исходит из зависимости:

$$I_{кзreg}(K_{osv}(t)) = I_{кз} \times K_{osv} \quad I_{onm}(K_{osv}(t)) = I_{onm} \times K_{osv} \quad (3.6)$$

Скорость ветра и мощности ветровой установки определяются согласно главе 2 (2.54) и (2.31).

Модели аккумуляторов АВ1 и АВ2 взяты из программы SimPowerSystems, адаптированы к модели и позволяют с достаточной точностью настраивать зарядную и разрядную характеристики АБ.

Модель R4_Blok имитирует схему включения аварийного режима и реализована из блоков программы Simulink. При моделировании отслеживается напряжение на АБ и в случае достижения на любой из них минимального допустимого уровня вырабатывается сигнал R4Out для отключения нагрузки и перехода в аварийный режим работы СУ – Control system. При достижении максимально допустимого уровня сигнал снимается и возобновляется обычный режим работы.

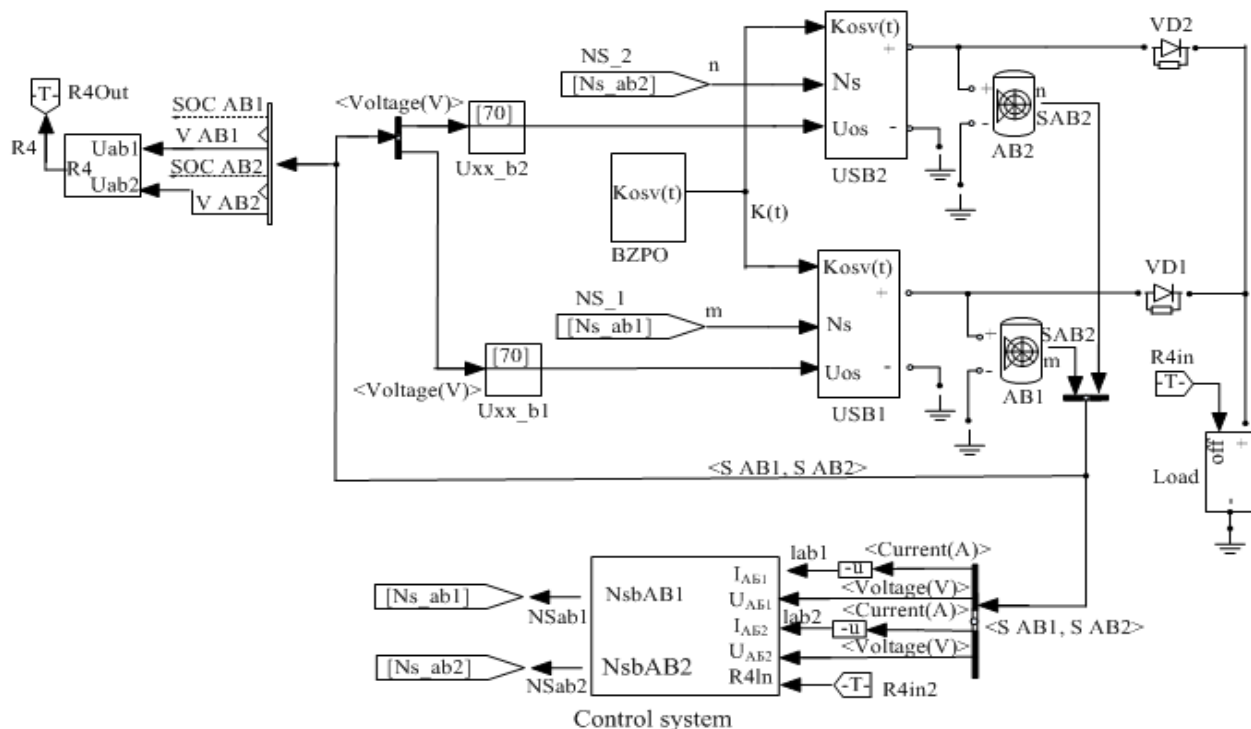


Рисунок 3.17 – Имитационная модель в программном пакете MatLab

Модель циклограммы нагрузки Load состоит из блоков программы Simulink и SimPowerSystems и представляет собой зависимый источник тока, реализующий функцию $I(t)=R4OutP(t)/U(t)$. Функция мощности $P(t)$ задана в виде прямоугольных импульсов, а напряжение $U(t)$ поступает с датчика напряжения выходной шины. Сигнал коэффициента $R4Out$ поступает с модели $R4_Blok$ и в обычном режиме равен 1, а в аварийном режиме равен 0, что позволяет имитировать работу ККН в обычном, так и в аварийном режимах.

Модель коэффициента освещенности BZPO реализована из блоков программы Simulink и отражает изменение угла наклона плоскости СП к лучу солнечного освещения.

Выходной сигнал $K(t)$ модели BZPO представлен на рисунке 3.18.

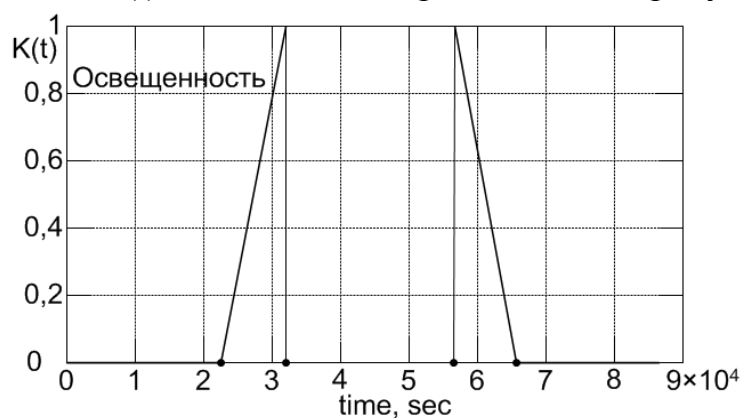


Рисунок 3.18 – Осциллограмма модели циклограммы освещенности СП

Модель СУ – Control system содержит блоки программы Simulink, которые имитируют мажоритарные элементы, и модели резервированных

микроконтроллеров ММК, которые выполнены в программе Stateflow. Модели микроконтроллеров МК построены по принципу разделения алгоритмов работы на логические блоки и представлены на языке UML.

Контроллер ветровой установки рассмотрен в главе 2, рисунок 2.2.

Структурно ММК разделена на две группы программных блоков ПБ, которые представлены на рисунке 3.19, а. в один моделируемый такт поочередно вызывается все ПБ, т.е. работают параллельно друг с другом и каждый из них составляет различные режимы работы основного алгоритма и называется состоянием. Между состояниями происходит переходы в ответ на инициирующие условия. В результате переходов производятся необходимые операции, выдаются сигналы для других ПБ, которые называются событием.

ПБ управления АБ рисунок 3.19 блоки УАБ1 и УАБ2 идентичны друг другу и имитируют работу контуров регулирования токов и напряжений АБ. В моменты переходов между их состояниями в каждый моделируемый момент времени формируются события на подключение или отключение СП или ВУ ($m \pm 1$, $n \pm 1$) для ПБ управления УСБ1иВУ (УУСБ1иВУ, УУСБ2иВУ на рисунке 3.19 а). На рисунке 3.19 б для примера приведено состояние УУСБ1иВУ, реализованное в программе Stateflow. УУСБ1иВУ в соответствии с событием $m \pm 1$ производит холостые переходы между одним состоянием Out, выполняя при этом вызов одной из функций на поочередное подключение СП, ВУ – событие ON, отключение – OFF или подключение одной из СБ, ВУ в аварийном режиме работы – событие R4. Вызываемые функции логической обработки AddBS, SubBS, KeyR4 описаны на языке MatLab и в свою очередь формируют вектор $[m]$, обозначающий количество солнечных батарей подключенных к АБ1иВУ. Представление данных в виде вектора $[m]$ позволяет корректно имитировать работу мажоритарных элементов, сравнивающих значения параллельно работающих микроконтроллеров резервированной СУ.

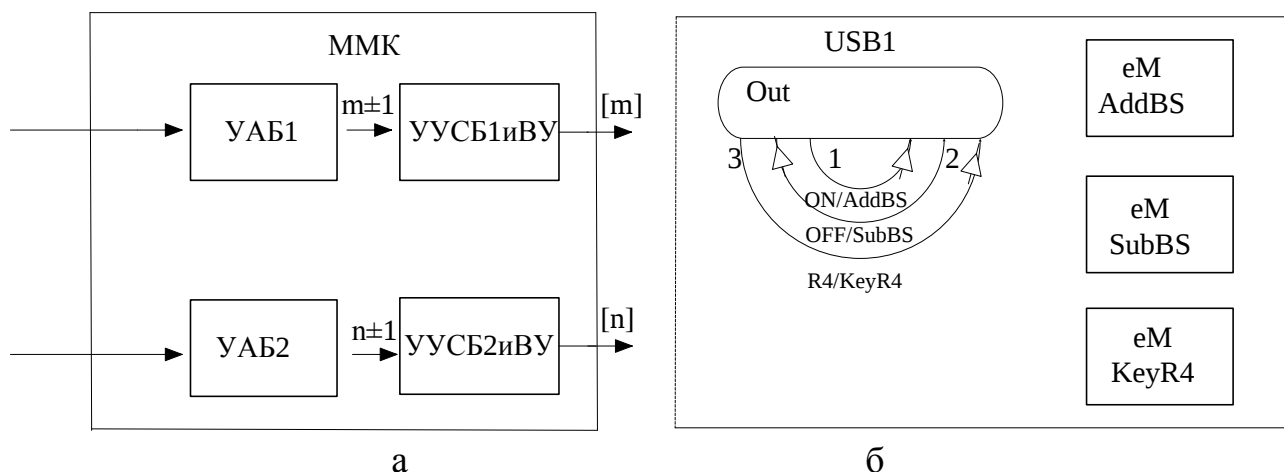


Рисунок 3.19 – Программное обеспечение модели СУ на языке UML а – структура программного обеспечения ПО; б – диаграмма состояний программного блока УСБ1иВУ в MatLab

3.2.1 Синтезированная структура солнечной панели

При рассмотрении структурной схемы подчиненного регулирования напряжения аккумуляторной батареи рисунок 3.13 в Simulink, входящей в состав пакета Matlab, построена структурная схема солнечной панели рисунок 3.20.

Система энергообеспечения автономного объекта состоит из солнечной панели и ветровой установки. Гибкая солнечная панель расположена на крыше Юрты, как показано на рисунке 3.10. При проведении исследования определили оптимальное напряжение аккумуляторной батареи и солнечной панели, типа преобразователя напряжения при фиксированных параметрах нагрузки.

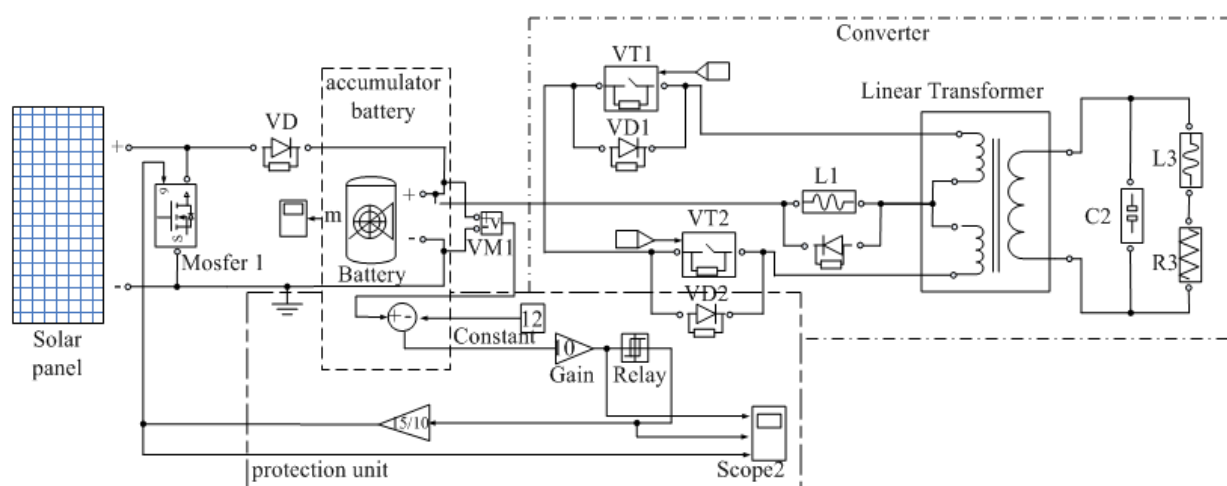


Рисунок 3.20 – Структурная схема солнечной панели в Simulink, входящей в состав пакета MATLAB

Защиту аккумуляторной батареи (accumulatorbattery) от перенапряжения, при преобразовании (converter) напряжения с 24В в 220В, обеспечивает блок защиты (protectionunit) аккумуляторной батареи показанной на рисунке 3.20, разработанной на основе математической модели в главе 2.

Моделирование показывает, что при положительном энергобалансе напряжения на АБ1 и АБ2 находятся в заданном режиме 24/220В, и при этом обеспечивается полное функционирование нагрузки. При отрицательном энергобалансе функционирование нагрузки прекращается в момент достижения допустимого значения напряжения на АБ1 и АБ2, при этом СЭО переходит в аварийный режим работы и заряжает аккумуляторы.

Результаты моделирования позволяют заключить, что имитационная модель СЭО построена и функционирует в соответствии с заложенной в нее логикой работы. С помощью этой модели можно наглядно имитировать различные режимы работы СЭО.

3.3 Управление контроллером системы энергообеспечения автономного объекта с элементами Smart технологии

Для организации работы альтернативных источников питания необходимо создавать устойчивые схемы работы согласованные с электрическими системами.

В настоящее время во всем мире переходят на использование солнечной и ветровой энергии. Это позволяет экономить на изменении системы питания и позволит значительно уменьшить потребление энергии за счёт использования солнечных батарей, ветрогенератора. При преобразовании солнечной и ветровой энергии в электрическую или в тепловую окружающая среда не загрязняется. Генераторы для преобразования солнечной энергии в электрическую собирают из большого числа солнечных элементов. Солнечные батареи генерируют на свету значительную электрическую мощность, в основном применяемых для автономных устройств различного назначения.

Внедрение солнечной, ветровой энергетики приводит к решению задач эффективности работы энергообеспечения автономных объектов с учетом изменения окружающей среды. Моделирование процессов в системе преобразования энергии и систем электроснабжения позволяет предсказать ее функционирование при изменении внутренних и внешних условий. При проектировании эксплуатации автономных систем питания с использованием солнечных батарей, ветровых установок необходимо обеспечить выполнение энергобаланса в системе энергопитания при известных энергетических характеристиках ветровой установки солнечной и аккумуляторной батарей и заданной временной диаграмме энергопотребления со стороны нагрузки. При этом учитываются влияние деградационных изменений энергетических характеристик на работу систем энергопитания.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать имитационную модель автономной системы энергообеспечения. Для её выполнения воспользуемся средой визуального моделирования Simulink, входящей в состав пакета MATLAB [134]. Одним из главных его достоинств является возможность моделирования, сочетающего методы структурного и имитационного моделирования. Такой подход в отличие от пакетов схемотехнического моделирования позволяет существенно упростить модель, следовательно, повысить скорость вычислений, а также обеспечивает гибкость и трансформируемость системы под разрабатываемые алгоритмы [135].

Управление контроллером ветровой установки рассмотрено в главе 2.

На рисунке 3.21 приведена модель разработанной модели автономной системы энергообеспечения. У каждой установки есть свой контроллер, один Smart центр управления, который связывает систему энергообеспечения автономного объекта с источником энергии.

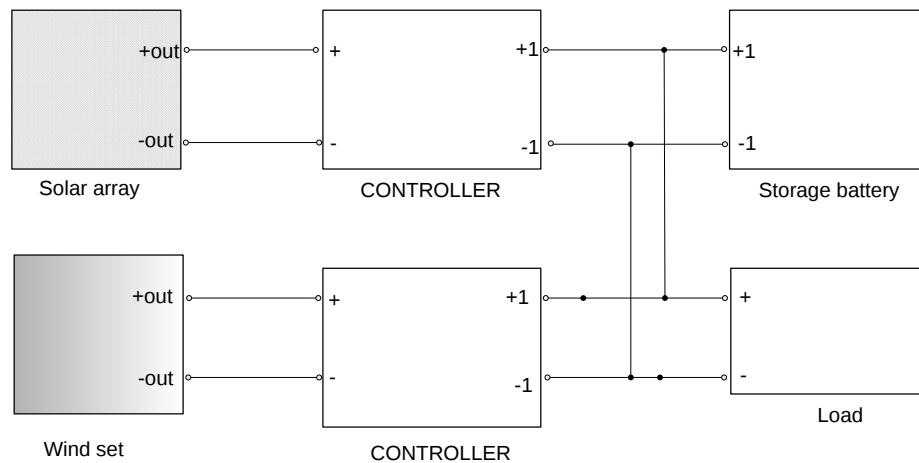


Рисунок 3.21 – Модель разработанной автономной системы энергообеспечения

На рисунке 3.22 изображены параметры системы, которые могут задаваться пользователем, к ним относятся ток короткого замыкания и напряжение холостого хода солнечного элемента и ВУ, угол падения солнечных лучей на панель (в радианах), температура окружающей среды (К), количество солнечных элементов в солнечной панели, скорость ветра, заданные значения тока заряда и напряжения полного заряда АБ, а также уровень освещённости солнечной панели.

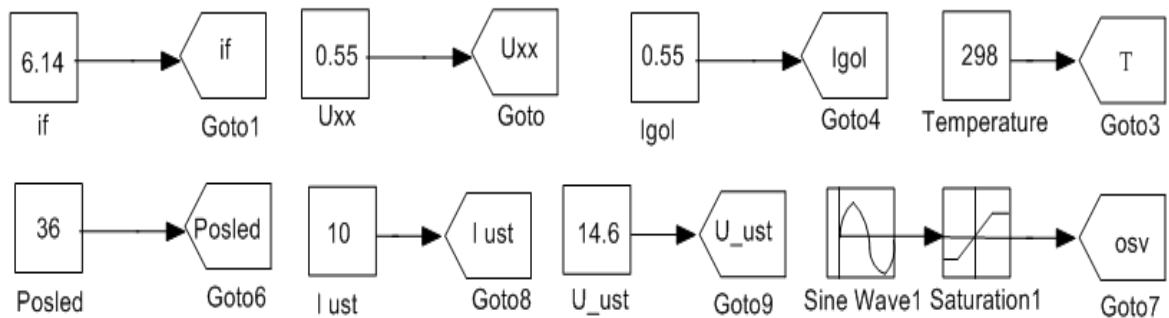


Рисунок 3.22 – Параметры модели разработанной автономной системы

Наиболее сложной составляющей системы является модель контроллера СБ, структурная схема которой приведена на рисунке 3.23.

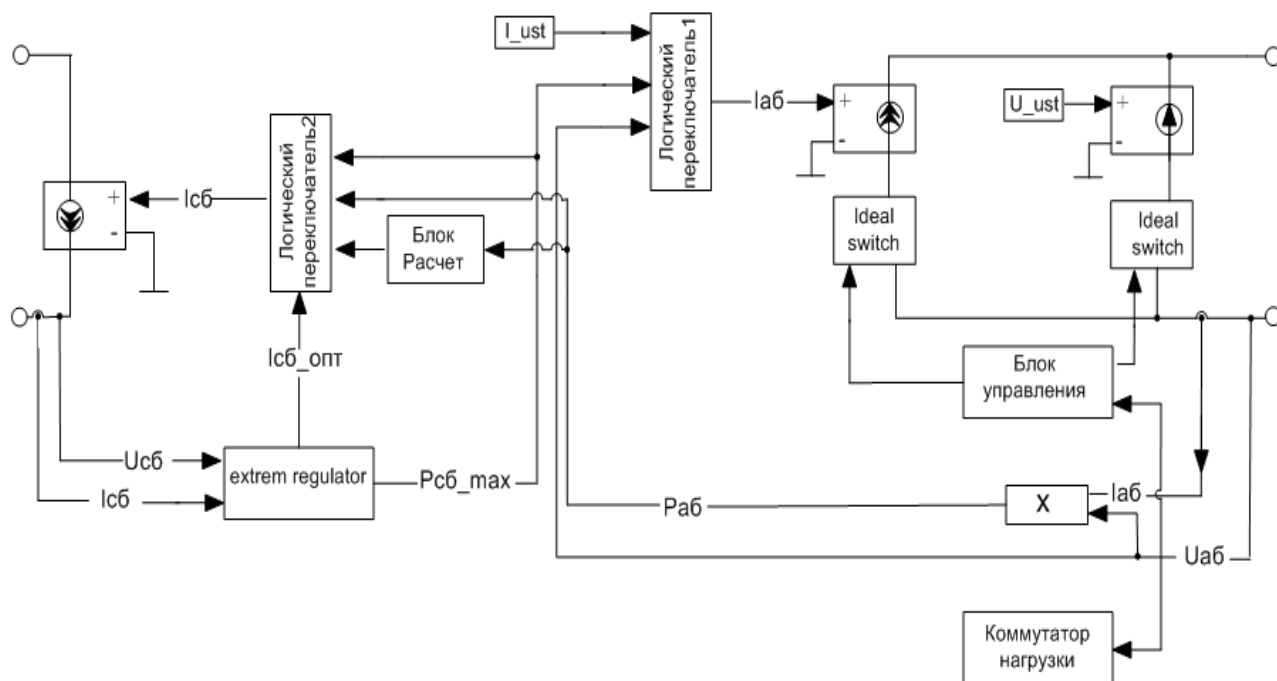


Рисунок 3.23 – Схема имитационной модели контроллера солнечной батареи

Модель контроллера солнечной панели, ветровой установки функционирует в нескольких режимах, в том числе в режиме экстремального регулирования.

Модели солнечной батареи, контроллера солнечной панели и аккумуляторной батареи рассмотрены в [119, 138]. Иерархическая структура блока «Load» с потребителями электрической энергии по таблице 3.3 представлена на рисунке 3.24.

Таблица 3.3 – Потребители электрической энергии

№	Наименование	Количество	Потребляемая мощность, Вт	Период использования
1	Ноутбук	1	65	12:00÷16:00
2	Холодильник	1	30	01:00÷00:00
3	Телевизор	1	40	20:00÷23:00
4	Светодиодные лампы	5	15	18:00÷24:00
5	Чайник	1	1800	06.00÷06.05 10.00÷10.05 18.00÷18.05 20.00÷20.05
6	Стиральная машина	1	1020	8.00-16.00
7	Водяной насос	1	300	06.00÷06.45 14.00÷14.45
8	Плитка	1	3200	11:00; 19:00

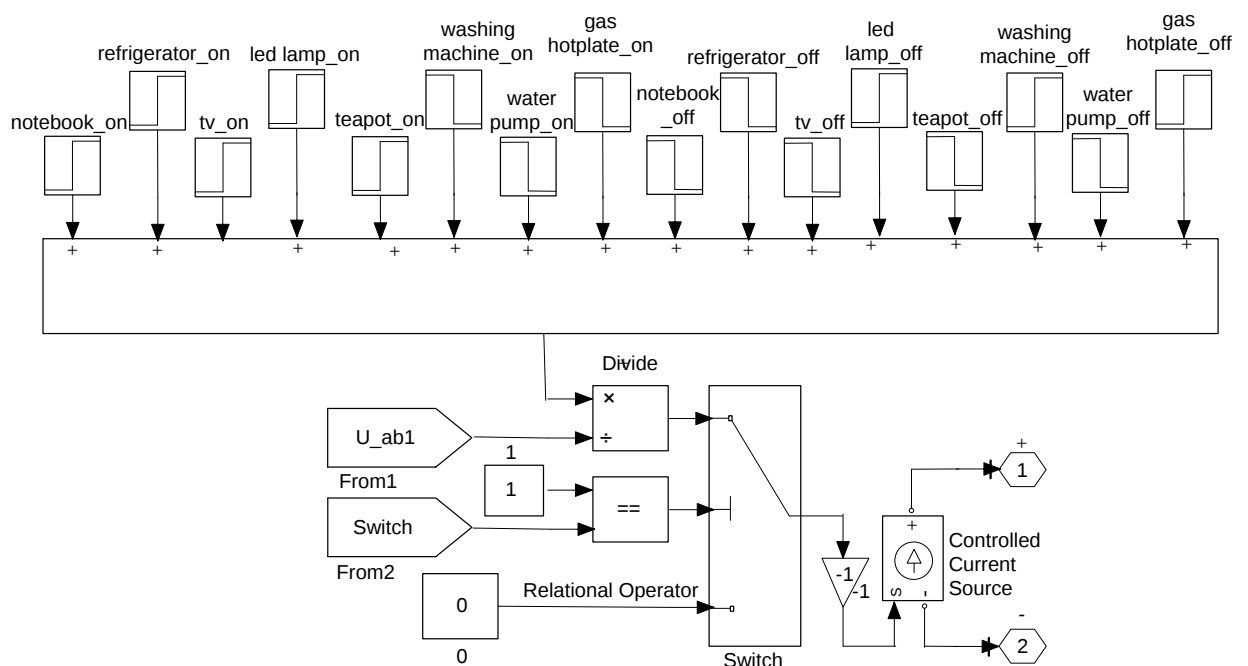


Рисунок 3.24 – Структура блока Load

Данная структура имитирует нагрузку, представленную в таблице 3.3.

3.4 Разработка модели оптимального управления нормативной температурой в автономном объекте

Оснащение жилых и производственных зданий системами программного управления температурой позволяет сократить затраты энергии на отопление за счет понижения температуры в периоды отсутствия людей и адаптации расхода тепловой энергии к изменению температуры окружающей среды [45].

При разработке систем управления температурой помещения возникает ряд проблем, таких как определение времени, необходимого для подъема температуры для обеспечения заданных значений к требуемому моменту, выбор алгоритма регулирования температуры и определение числовых параметров выбранного алгоритма [45].

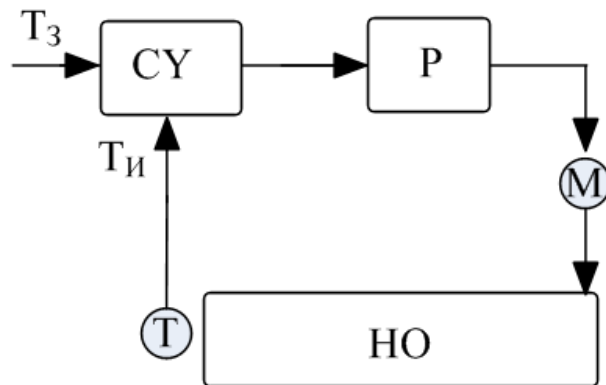
Задача выбора закона управления и типа регулятора состоит в выборе такого регулятора, который при минимальной стоимости и максимальной надежности обеспечивал бы заданное качество регулирования.

Для того чтобы выбрать тип регулятора и его настройки, необходимо знать статические и динамические характеристики объекта управления, требования к качеству процесса регулирования и характер возмущений, действующих на процесс регулирования.

Регуляторы с линейным законом регулирования по математической зависимости между входными и выходными величинами подразделяются на следующие виды [45]:

- пропорциональные (П – регуляторы);
- пропорционально-интегральные (ПИ – регуляторы);

- пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы).
Контур регулирования температуры в помещении показан на рисунке 3.25.



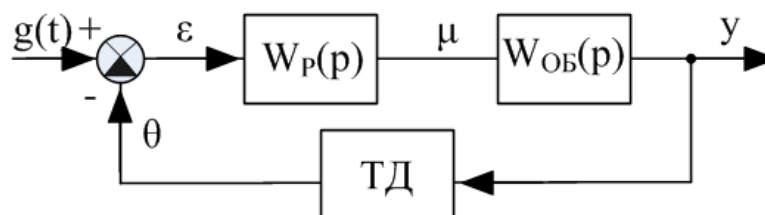
CY – сравнивающее устройство; T_3 – заданная температура; $T_{и}$ – измеренное значение температуры; P – регулятор; НО – нагревающая установка; T – датчик температуры; M – исполнительный механизм

Рисунок 3.25 – Регулирование температуры в помещении

Температура воздуха поддерживается нагревательным оборудованием, но работающим за счет энергии солнечной панели. Температура в помещении измеряется датчиком T, далее эта величина поступает на сравнивающее устройство CY измеренного значения температуры $T_{и}$ и заданного T_3 . В зависимости от разности между заданным и измеренным значениями температуры регулятор P вырабатывает сигнал, воздействующий на исполнительный механизм M. Исполнительный механизм открывает или закрывает клапан до положения, при котором ошибка будет стремиться к нулю:

$$\varepsilon = T_{з\text{ад}} - T_{изм} \quad (3.7)$$

Обобщенная структурная схема САР представлена на рисунке 3.26.



$W_P(p)$ – передаточная функция регулятора; $W_{OP}(p)$ – передаточная функция объекта управления (регулирования); ТД – датчик температуры; $g(t)$ – заданное значение температуры; ε – ошибка регулирования; y – управляемая величина; θ – измеренное датчиком значение температуры

Рисунок 3.26–Структурная схема САР

Коэффициент передачи от рассогласования ε к выходу y определяется выражением:

$$W(j\omega) = W_P(p)W_{OP}(p) \quad (3.8)$$

где $W_p(p)$ – коэффициент передачи регулятора;

$W_{op}(p)$ – коэффициент передачи объекта регулирования.

Для моделирования, анализа и синтеза объектов и автоматики, рассматривается задача синтеза системы САР температуры воздуха в помещении автономного объекта, температура внутри помещения не должна превышать 27°C . Структурная схема САР приведена на рисунке 3.26.

Для синтеза САР с типовым законом регулирования необходимо математически описать составляющие ее звеньев.

Получим теоретическим путем математическую модель помещения как объекта управления. Значение температуры воздуха в помещении θ зависит от мощности нагревательного оборудования P и температуры наружного воздуха θ_H . Для получения математического описания объекта управления использовались сведения из области теплотехники.

В процессе нагрева помещения одна часть тепловой мощности (нагревателя) расходуется на повышение температуры в помещении, а вторая часть рассеивается наружу путем теплопередачи через стены. Математические формулы имеют следующий вид:

$$P_1 = c \frac{d\theta}{dt} \quad (3.9)$$

$$P_2 = \frac{Sk}{l} (\theta - \theta_H) \quad (3.10)$$

где P_1 – тепловая мощность нагревателя, кВт;

P_2 – тепловая мощность, рассеивается наружу, кВт;

c – теплоемкость воздуха в помещении, кДж/(кг·°C);

S – площадь стен, м²;

k – коэффициент теплопроводности стен (ограждающей поверхности), кВт/(м·°C);

l – толщина стены, м.

Учитывая, что сумма этих мощностей равна мощности нагреваемой установки, получим:

$$P = c \frac{d\theta}{dt} + \frac{Sk}{l} (\theta - \theta_H) \quad (3.11)$$

Преобразуя эту формулу таким образом, чтобы все члены, содержащие выходную величину θ (температура), располагались в правой части, а входные величины P и θ_H в левой части, получим математическое описание рассматриваемого объекта управления:

$$\frac{l}{Sk} P + \theta_H = \frac{cl}{Sk} \frac{d\theta}{dt} + \theta \quad (3.12)$$

где $cl/Sk=T$, постоянная времени, с;
 $l/Sk=K$ – коэффициент преобразования, ($^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$), подставив эти преобразования получим:

$$KP + \theta_H = T \frac{d\theta}{dt} + \theta \quad (3.13)$$

Данное уравнение является линейным дифференциальным уравнением 1-го порядка.

В системах автоматического регулирования возникает необходимость в регуляторе, который вырабатывал бы дополнительное регулирующее воздействие, пропорциональное скорости отклонения регулируемой величины от заданного значения. Поэтому наши исследования проводились с использованием ПИД регулирования. Дифференциальная составляющая имеет вид:

$$\mu_d = T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3.14)$$

ПИД - регуляторы воздействуют на объект управления пропорционально отклонению регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины:

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_I} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (3.15)$$

где T_d – дифференцированная постоянная времени;

T_u – интегрированная постоянная времени;

По возможностям ПИД - регуляторы являются универсальными. Используя их, можно получить любой закон регулирования. Структурная схема и закон регулирования идеального ПИД – регулятора приведены на рисунке 3.27 и 3.28.

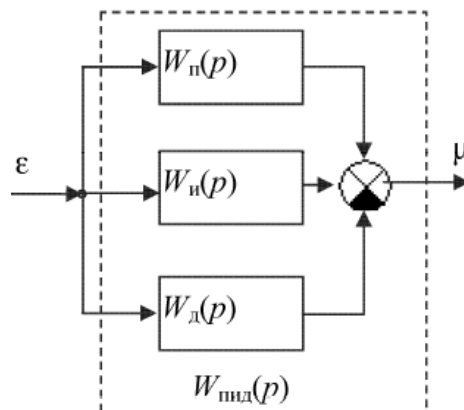


Рисунок 3.27 – Структурная схема регулирования идеального ПИД – регулятора

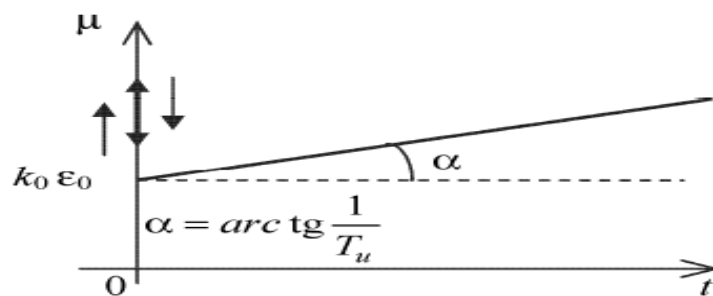


Рисунок 3.28 – Закон регулирования идеального ПИД – регулятора

При скачкообразном изменении регулируемой величины ПИД - регулятор в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое воздействие на объект регулирования, затем величина воздействия резко падает до значения, определяемого пропорциональной составляющей, после чего постоянно начинает оказывать влияние интегральная составляющая регулятора.

Переходный процесс в ПИД – регуляторах (рисунок 3.29) имеет минимальные отклонения по амплитуде и по времени по сравнению с П- и ПИ-регуляторами (т. е. наиболее высокое быстродействие).

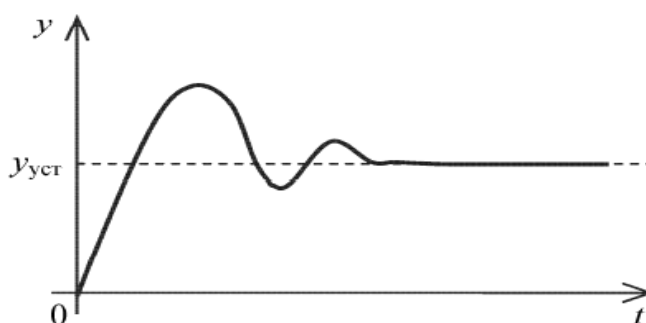


Рисунок 3.29–Переходный процесс в ПИД – регуляторах

Параметрами настройки ПИД - регулятора являются коэффициент пропорциональности регулятора k_p , постоянная времени интегрирования T_i и постоянная времени дифференцирования T_d .

С увеличением запаздывания в системе резко возрастают отрицательные фазовые сдвиги, что снижает эффект дифференциальной составляющей регулятора.

Кроме того, наличие шумов в канале измерения в системе с ПИД – регулятором приводит к значительным случайным колебаниям управляющего сигнала регулятора, что увеличивает дисперсию ошибки регулирования и износ исполнительного механизма.

ПИД – регуляторы позволяют обеспечить для систем регулирования температуры хорошее качество регулирования: рассогласование регулирования

менее 1 % от заданной точки, достаточно малое время выхода на режим и невысокую чувствительность к внешним возмущениям.

Следует иметь в виду, что при неточном задании параметров настройки ПИД – регулятор может ухудшить показатели по сравнению с другими типами регуляторов и даже перейти в режим автоколебаний.

При цифровой реализации ПИД - закон имеет вид:

$$\mu = \left[k_p \varepsilon_i + \frac{1}{T_I} \sum_{i=0}^n \varepsilon_i \Delta t_{\text{изм}} + T_D \frac{\Delta \varepsilon_i}{\Delta t_{\text{изм}}} \right] \cdot 100\% \quad (3.16)$$

Значения параметров настройки регулятора приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Значения параметров регулятора

Тип регулятора	Зона пропорциональности	Коэффициент передачи	Постоянная времени интегрирования	Постоянная времени дифференцирования
П–регулятор	$2P_{MS}$	$0,5k_{PS}$		
ПИ–регулятор	$2,2P_{MS}$	$0,45k_{PS}$	$0,83T$	
ПИД–регулятор	$1,67P_{MS}$	$0,6k_{PS}$	$0,5T$	$0,125T$

3.4.2 Расчет точности контроля программными средствами температуры в автономном объекте

Процесс управления сложными техническими, экологическими, социально-экономическими и прочими объектами на любой фазе их жизненного цикла состоит из нескольких обязательных этапов: диагностирование, принятие решения и корректирующее воздействие на объект с целью восстановления его нормативных функций. Диагностирование в зависимости от природы исследуемого объекта содержит процедуры контроля, анализа и принятия решения о состоянии объекта. Если функциональное состояние объекта отличается от заданных нормативов, считается, что возникла проблема, на которую необходимо реагировать и предпринять активные действия по устранению проблемы. Контроль является сложным процессом и состоит из процедуры измерения, сравнения измеренного значения с нормативами и принятия решения [139-141].

Процесс автоматического регулирования температуры состоит из периодического измерения текущего значения температуры, сравнения измеренного значения с допусками, устанавливаемыми вручную и, в случае отклонения измеренного значения от допуска в ту или иную сторону, подачи управляющего сигнала на исполнительный механизм для воздействия на регулятор температуры. Важное место в этой замкнутой системе играет

процедура контроля. Так как контроль содержит процедуру измерения, то возникают погрешности измерения, которые имеют случайную природу.

Для оценки качества системы управления тепловыми режимами была создана, по уже имеющимся наработкам программа.

Целями создания подсистемы оценки точности управления тепловыми режимами системы являются:

- определение рисков;
- определение качества регулирования в условиях детерминированных нормативных пределов;
- определение доли ошибочного результата в случае статистической неопределенности нормативных пределов;
- исследование влияния различных факторов на величину ошибки в принятии решений.

Функциональное назначение системы оценки и прогнозирования качества принятия решений:

- анализ характеристик параметра и погрешности измерения;
- выявление ошибок и информирование пользователя о допущенных нарушениях на любом этапе работы с системой;
- обеспечение логической последовательности действий;
- обеспечение пользовательского интерфейса;
- графический вывод результатов проведенных исследований.

Система позволит определять качество регулирования температурных режимов в заданных условиях, а также прогнозировать изменение достоверности регулирования при изменении величины погрешности измерения, а также отклонений нормативных пределов.

В качестве среды программной реализации послужила среда NETFramework.

Основная часть программного продукта была разработана с применением языка программирования VisualBasic.NET для новой исполнительной среды от Microsoft .NET.

Связь программы с пользователем представляется не что иное как обмен сообщениями: либо запрос формируется в программе, а пользователь ждет ответ, либо пользователь этот запрос передает, и к нему приходит ответ. Для ведения такого диалога пользователю должны быть предоставлены средства ввода сообщений, а сообщения, формируемые программой, должны представляться в форме, доступной для восприятия пользователем.

Интерфейс управления предназначен для ввода управляющей информации пользователем программы. На модули этого интерфейса целесообразно возложить и первичный (лексический) контроль вводимой информации, чтобы исключить явные ошибки пользователя, в том числе случайное нажатие клавиш.

Информационный интерфейс предназначен для вывода сообщений об ошибках и особых ситуациях, возникающих в процессе работы пакета. Поскольку эти сообщения возникают в случайные моменты времени и нежелательно, чтобы они перекрывали уже имеющуюся на экране

информацию, для информационных сообщений целесообразно выделить постоянную область экрана, например, нижние строки.

Информационный интерфейс в отличие от интерфейса управления является односторонним. Пользователь реагирует на сообщения об ошибках через интерфейс управления.

Интерфейс ввода-вывода. Данные для решения задач могут вводиться из заранее подготовленных файлов или же непосредственно пользователем пакета с клавиатуры.

Процесс инициализации системы диалоговых и информационных окон приближен к системе реального времени и способствует созданию впечатления реального диалога между компьютером и пользователем.

Надежность технических систем определяется в основном двумя факторами: надежностью компонент и ошибками в конструкции, допущенными при проектировании или изготовлении.

Доминирующим для надежности комплекса программ является второй фактор - ошибки проектирования. Источниками ненадежности являются непроверенные сочетания исходных данных, при которых отлаженный комплекс программ дает неверные результаты или отказы.

Понятие отказа связано с нарушением работоспособности изделия и его соответствия требованиям технической документации. Отказ при исполнении программ может появиться как следствие:

- нарушения кодов записи программ в памяти команд;
- стирания или искажения данных в оперативной или долговременной памяти ЭВМ;
- нарушения нормального хода вычислительного процесса.

Во всех случаях программные отказы приводят к прекращению выдачи пользователям информации и управляющих воздействий или к значительному искажению ее содержания и темпов выдачи.

Понятие «сбой» в теории надежности трактуется как самоустраняющийся отказ, не требующий внешнего вмешательства для замены отказавших компонентов.

Надежная программа или система, прежде всего, должна обеспечивать низкую вероятность отказа в процессе реального функционирования. Быстрое реагирование на искажения программ, данных или вычислительного процесса и восстановление работоспособности за время меньшее, чем порог между сбоем и отказом, позволяют обеспечить высокую надежность программы.

На надежность функционирования комплекса программ влияют, прежде всего, факторы, вызывающие сбой или отказ при исполнении программы:

- искажения исходной информации, поступающей от внешних абонентов;
- самоустраняющиеся отказы или сбои в аппаратуре;
- не выявленные ошибки в программах.

Наиболее эффективной является обработка информации в диалоговом режиме. Использование диалогового режима позволяет с рабочего места обращаться к любой информации, хранимой в памяти компьютера.

Основной особенностью прикладного программного обеспечения является наличие интерфейса пользователя, не требующего специальных навыков работы с ЭВМ.

После запуска приложения пользователю открывается его главная форма, в которой и будет осуществляться вся работа пользователя. Главное меню пользователя и панель инструментов, ускоряющая доступ к самым часто используемым его функциям расположены сверху. Как видно на рисунке 3.30 многие возможности интерфейса изначально закрыты и станут доступны пользователю далее, в процессе работы. Иконки панели управления имеют наглядный вид и контекстные подсказки.

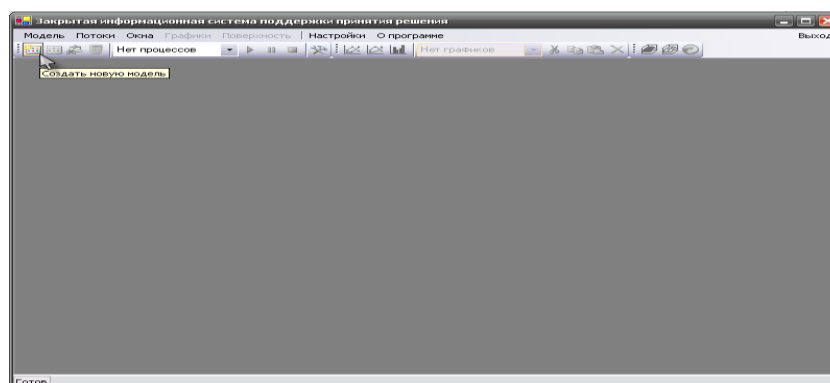


Рисунок 3.30 – Главное окно приложения

Для начала необходимо создать новую модель, вызвав окно мастера настройки моделей, как показано на рисунке 3.31. Сделать это можно соответствующей пиктограммой на панели инструментов или же через пункт главного меню.

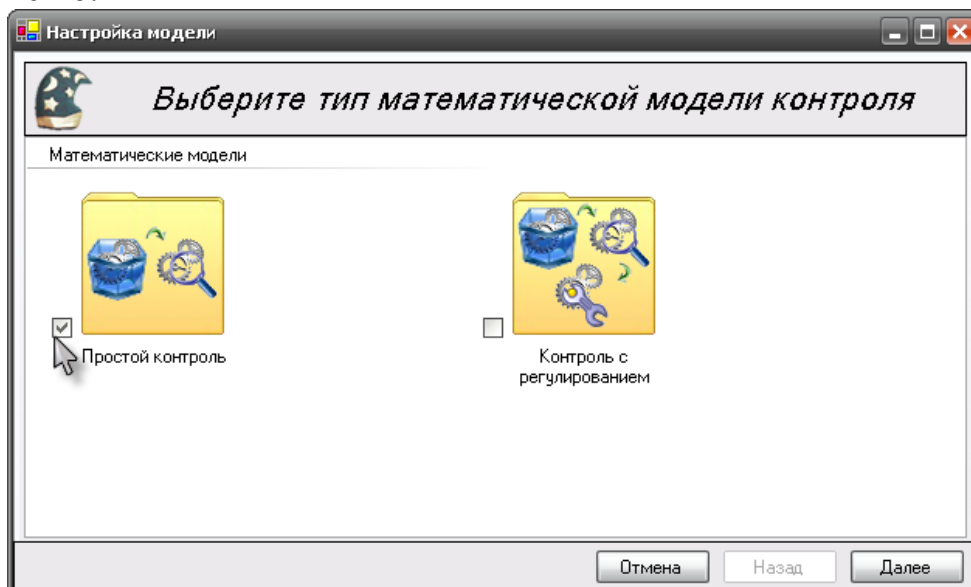


Рисунок 3.31 – Мастер настройки моделей

В первую очередь для построения математической модели необходимо определиться с её этапами. Модель простого контроля включает в себя проведение измерения, сравнения с нормативами, анализ и принятие решения о

«годности - не годности» объекта. Модель же контроля с регулированием содержит в себе этап попытки коррекции (восстановления) состояния объекта.

После определения типа математической модели контроля следует задать основные параметры модели - задать математические параметры распределения состояний диагностируемого параметра объекта для нормального закона, как показано на рисунке 3.32.

Параметр	Значение
Среднее значение параметра ($\bar{X}$)	100
Среднее квадратическое отклонение (G_x)	20
Нижний предел	80
Верхний предел	120
Количество имитаций	10000
Среднее квадратическое отклонение нижнего предела	0.20
Среднее квадратическое отклонение верхнего предела	0.20

Рисунок 3.32 – Задание параметров выборки статистических данных

На рисунке 3.32 приведено заполнение полей диалога для случая с недетерминированными нижним и верхним допусковыми ограничениями. Как видно, среднее квадратичное отклонение допусковых нормативов задано дробями в долях от среднего квадратичного отклонения выборки G_x . Забегая вперед, отметим, что все последующие задания вариации для удобства пользователя так же будут задаваться в долях от G_x . При необходимости возможно задание вариаций и в абсолютных величинах, что можно указать в настройках программы.

Далее нужно задать параметры измерения, как показано на рисунке 3.33.

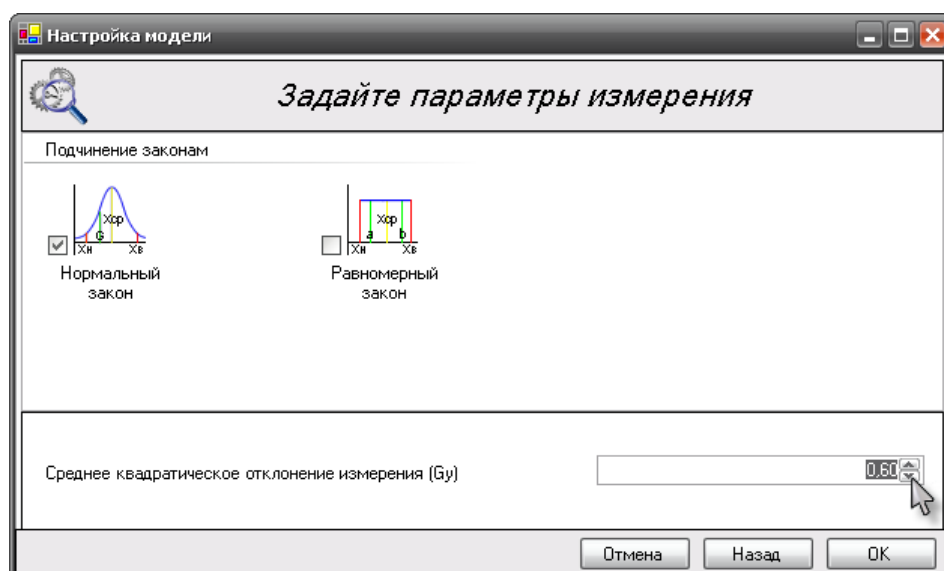


Рисунок 3.33 - Задание параметров измерения

Измерение может проводиться для нормального и равномерного законов распределения. Как видно из рисунка 3.34 для нормального закона задается среднее квадратичное отклонение измеренного значения от истинного состояния объекта. Для равномерного закона задаются значения нижнего и верхнего пределов интервала разыгрываемых значений измерения от истинного состояния объекта.

При выборке выборе контроля с регулированием диагностируемого объекта необходимо ещё указать параметры регулирования, как показано на рисунке 3.34.

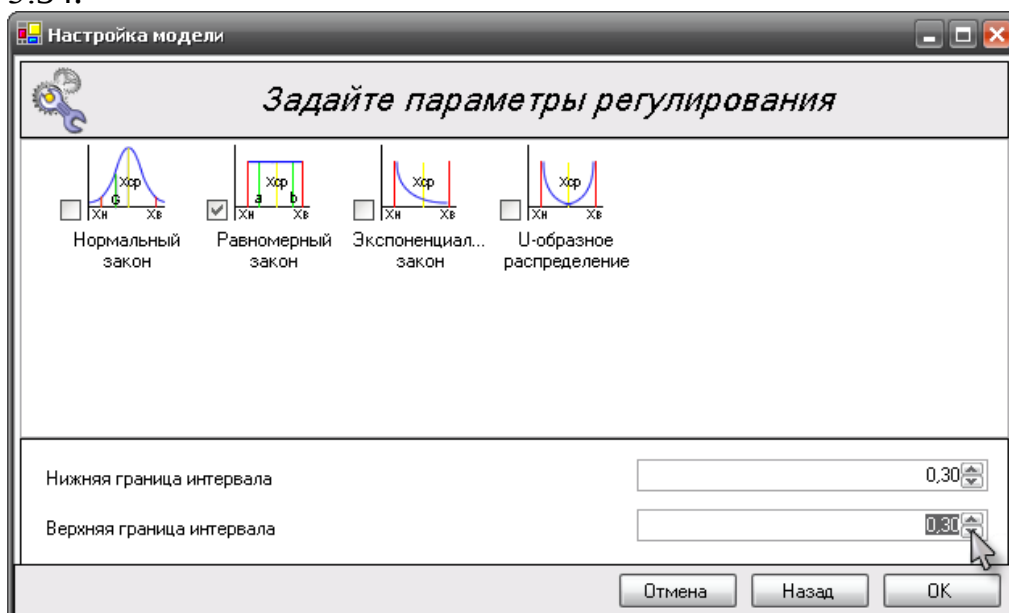


Рисунок 3.34 – Задание параметров регулирования

Определение параметров, задаваемых для нормального и равномерного законов распределения, ничем не отличаются от приведенных выше для этапа измерения, с той лишь разницей, что средним значением для разыгрываемого

состояния регулирования будет не истинное значение параметра объекта, а его среднее значение, указанное на рисунке 3.35.

Для экспоненциального и U-образного законов распределения никаких параметров указывать не нужно. Единственным параметром для разыгрываемого регулирования объекта по этим законам является измеренное значение диагностического параметра объекта, которое является результатом вычислений на предыдущем этапе модели. В соответствии с психологическими характеристиками лица принимающего решение можно соотнести законы как:

- нормальный закон – компетентный;
- равномерный закон – равнодушный;
- экспоненциальный закон - оптимистичный (или же напротив пессимистичный);
- U-образный закон - коллективное решение.

Результатом выполнения выше описанных шагов станет визуальное отображение созданной модели, как показано на рисунке 3.35.

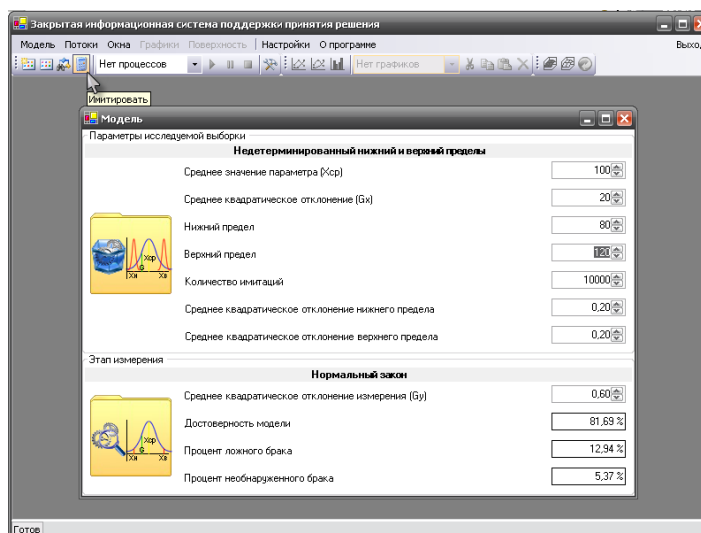


Рисунок 3.35 - Визуальное отображение имитационной модели

После создания модели можно провести её испытание, симитировав её возможное состояние, как показано на рисунке 3.35, результатом чего станут вероятности ложного и необнаруженного браков и достоверность модели в процентном отношении. Созданную модель можно легко модифицировать, снова вызвав мастер настройки модели. Так же теперь, когда создана модель, можно воспользоваться мастером исследований, начальное окно которого показано на рисунке 3.36.

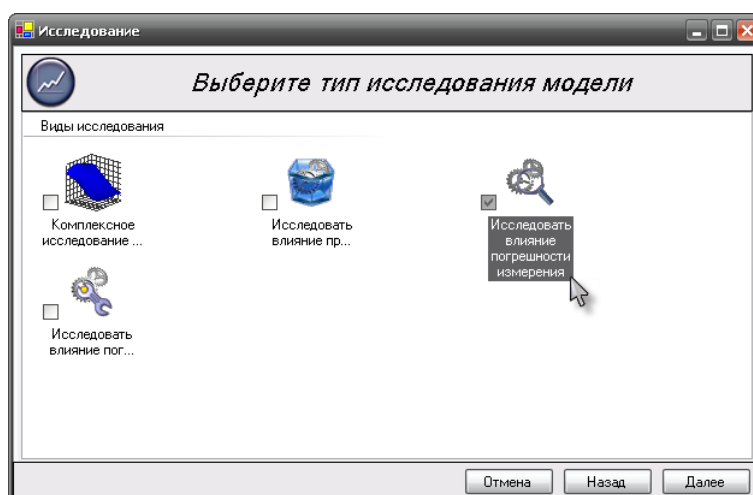


Рисунок 3.36 - Мастер исследований модели

Возможные варианты исследования созданной модели следующие:

- комплексное исследование всех параметров модели с выводом трехмерного построения;
- исследование влияния отклонения нормативных пределов;
- исследование влияния погрешности измерения;
- исследование влияния погрешности регулирования.

Для проведения комплексного исследования необходимо указать изменяемые параметры для двух осей координат, как показано на рисунке 3.37.

После проведения исследования будет построена трехмерная поверхность, пример такой поверхности приведен на рисунке 3.38. Где по осям координат X и Y изменялись выбранные параметры модели, а по оси Z отображено влияние этих параметров на достоверность модели. Для удобства чтения графика предусмотрены возможности его свободного вращения вокруг оси Z с автоматическим перемещением осей координат на фон построения, режим масштабирования и так же цветовой гаммы (осуществляется в настройках программы). Масштабирование предлагается по оси Z - от 0 до 100 и от минимального значения достоверности до максимального. Внизу графика приведена статистическая по шагу координатной сетки, минимальных и максимальных значений достоверности, а также об интервалах изменения исследуемых параметров.

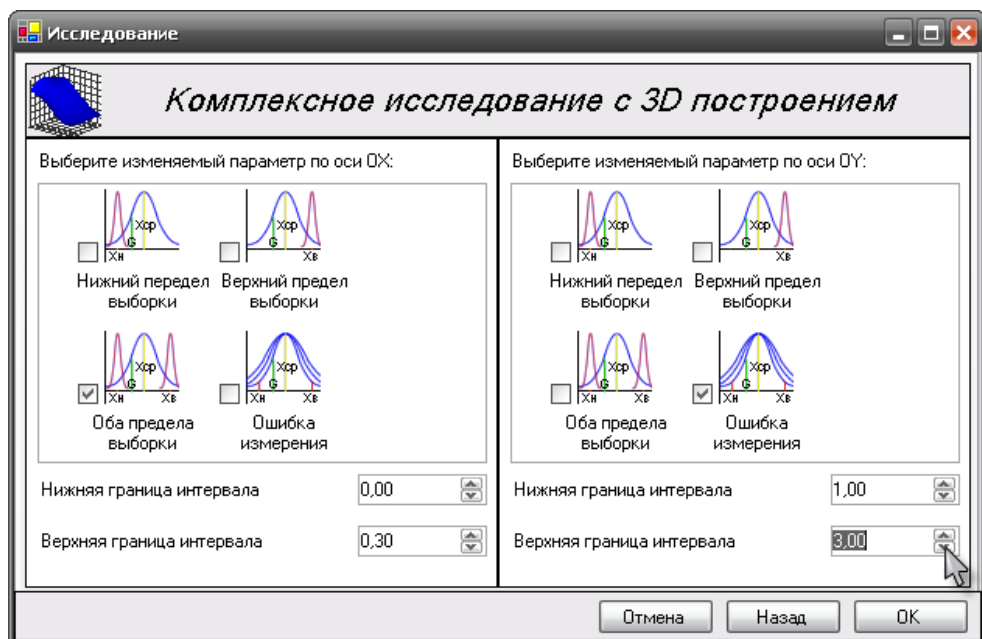


Рисунок 3.37 – Задание параметров комплексного исследования

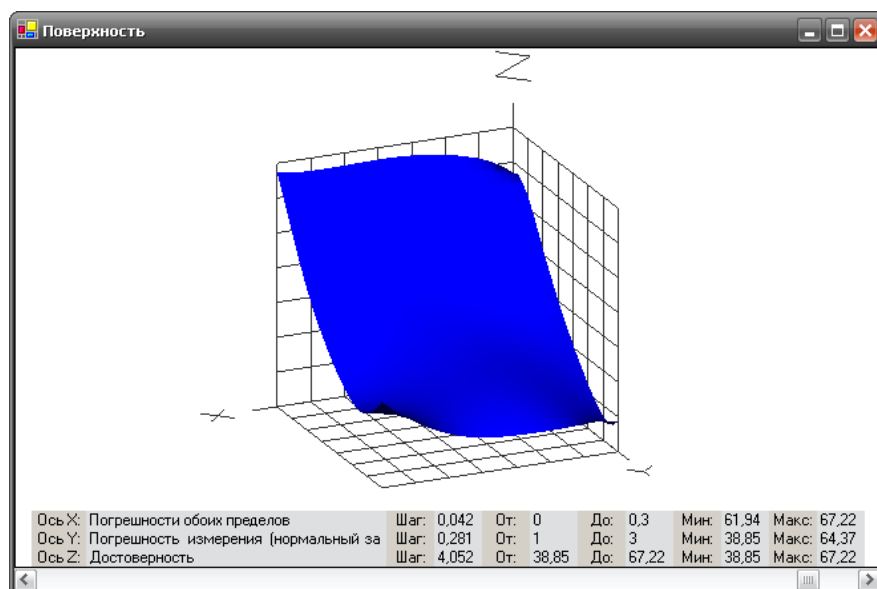


Рисунок 3.38 – Результат комплексного исследования параметров модели

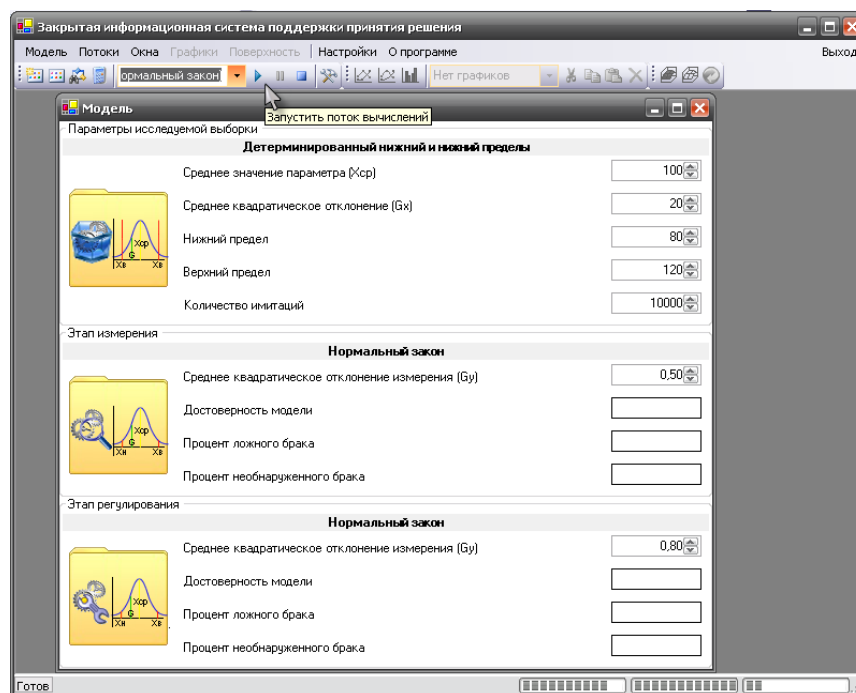


Рисунок 3.39 – Состояние выполнения потоков вычислений

После задания параметров любого типа исследования становится доступным часть интерфейса, ответственная за управление потоками исследований, как показано на рисунке 3.39. Так как исследование модели требует значительных машинных ресурсов, все вычисления проводятся независимыми потоками, каждый из которых можно запустить, приостановить или отменить. Состояние выполнения потоков наглядно отображается в строке состояния снизу. При наведении указателя мыши к интересующей диаграмме состояния выполнения потока всплывающая подсказка сообщает об условном названии потока вычислений. Для управления скоростью вычислений можно задать приоритет выполнения потоков в настройках программы. Тем не менее, не рекомендуется устанавливать высокий приоритет выполнения потоков на машинах с невысокой вычислительной мощностью из-за возможного «зависания» операционной системы в виду нехватки ресурсов.

Исследование влияния отклонения нормативных пределов, ошибок измерения и регулирования во многом схожи. Как видно на рисунке 3.40, 3.41 для исследования влияния нормативных пределов необходимо указать который из них необходимо исследовать или оба одновременно.

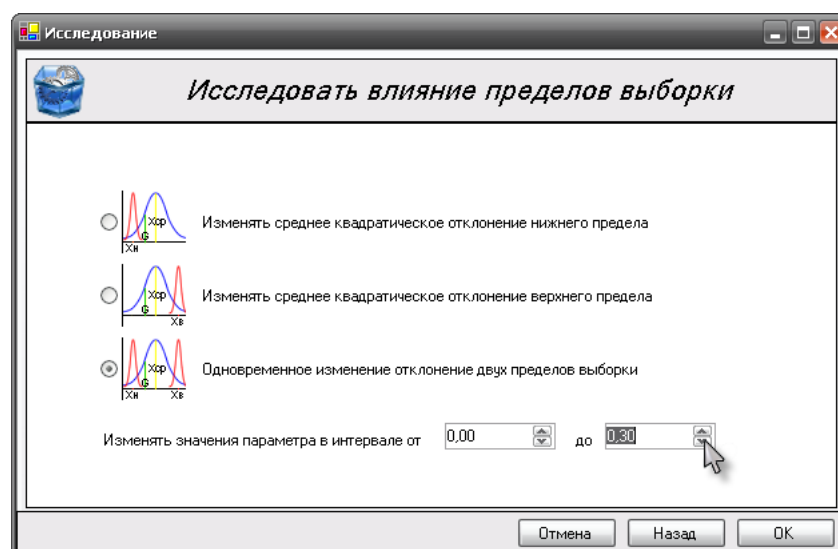


Рисунок 3.40 – Исследование отклонения нормативных пределов

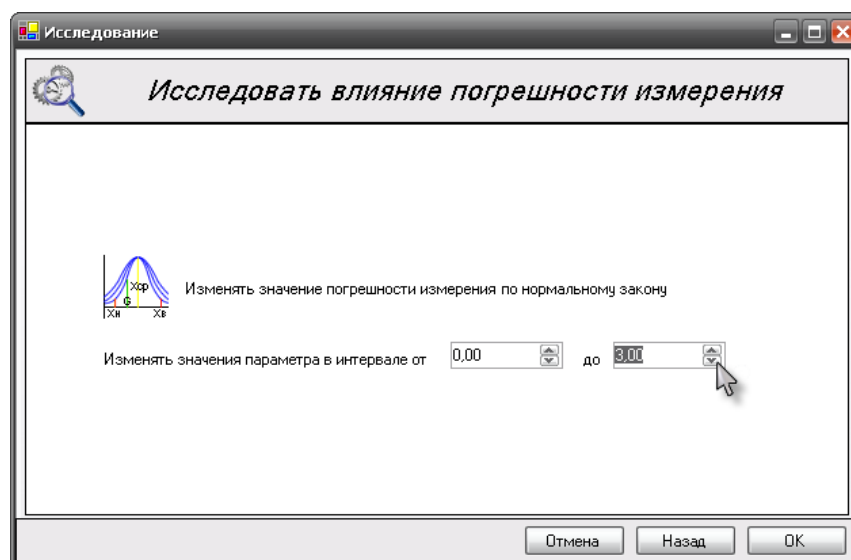


Рисунок 3.41 – Исследование влияния погрешности измерения

Так же, как и для любого другого исследования, необходимо указать интервал, в котором следует изменять исследуемый параметр модели. Виды окон для проведения исследований влияния погрешностей измерения и регулирования приведены на рисунках 3.42 и 3.43.

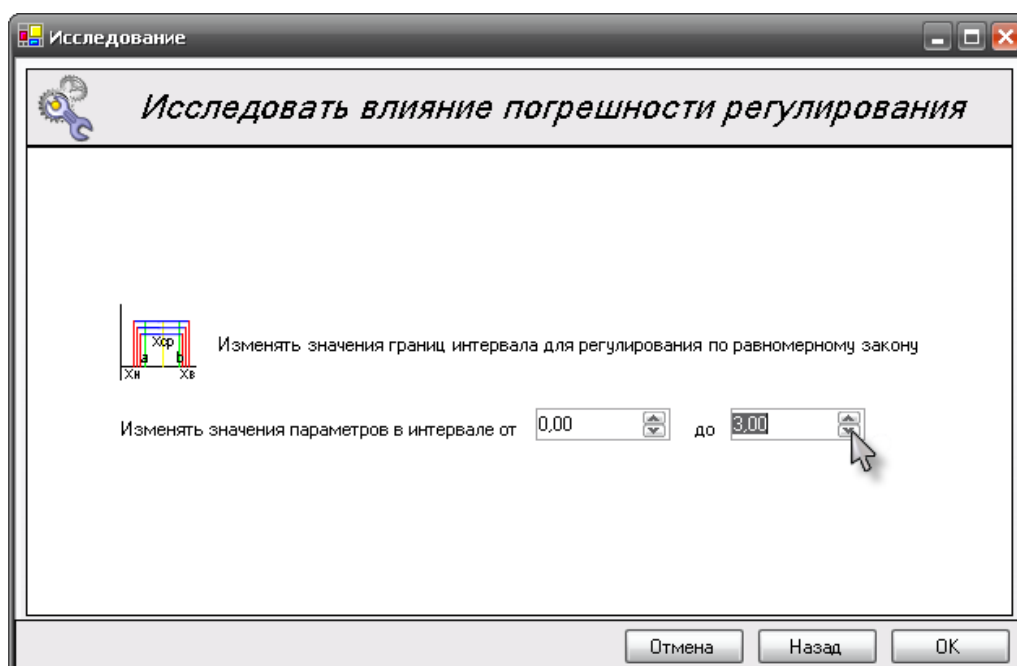


Рисунок 3.42 - Исследование влияния погрешности регулирования

После успешного завершения потока вычислений будет отображено окно графика, где в двух плоскостях отображается зависимость достоверности модели, ложного и необнаруженного браков от исследуемого параметра. После появления этого окна становятся доступными функции управления графиками, как показано на рисунке 3.43. Графиками можно свободно управлять как с помощью панели инструментов, так и из главного меню приложения, как продемонстрировано на рисунке 3.43. Предусмотрено изменение названий графиков, их вид отображения, а также стандартные операции копирования, вставки, удаления и перемещения графиков для их сравнения.

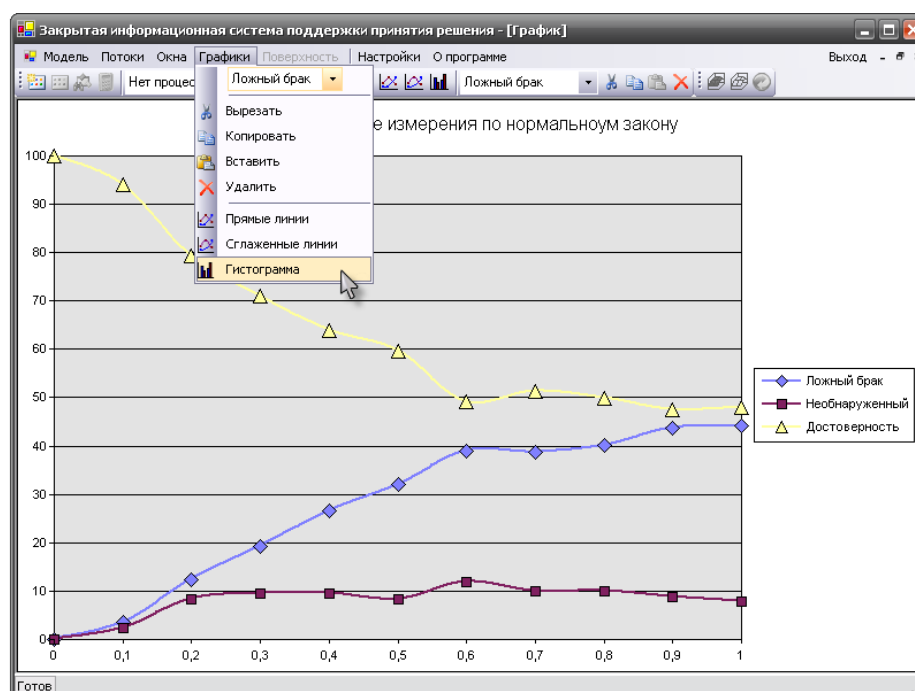


Рисунок 3.43 – Результаты исследования модели в виде графиков

В настройках программы можно указать некоторые предпочитаемые пользователем параметры, которые хранятся в специальном XML-файле настроек. Вид окна настроек приведен на рисунке 3.44.

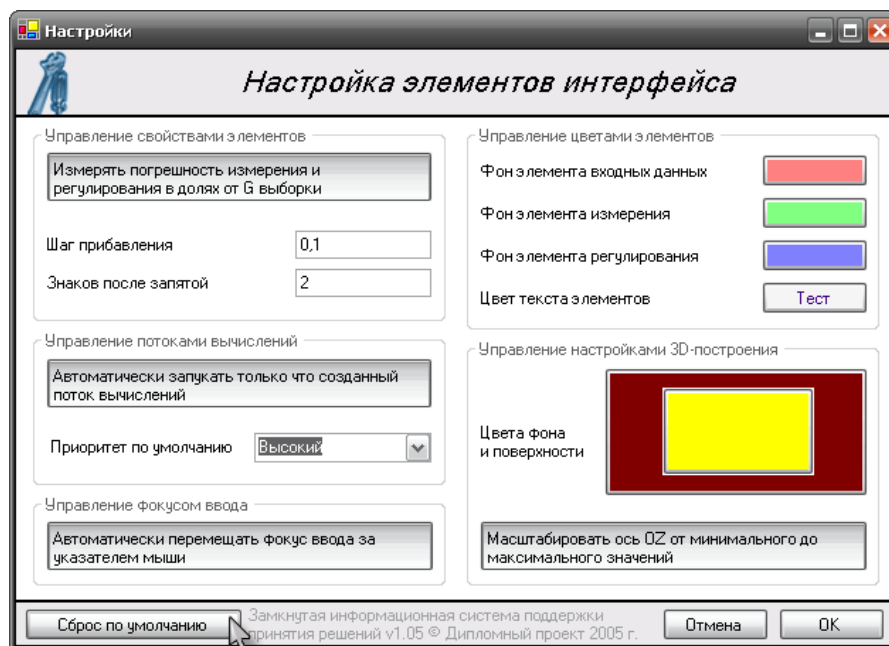


Рисунок 3.44 – Пользовательские настройки программы

В «Управлении свойствами элементов» пользователь может указать, как он будет задавать погрешности - в долях от среднего квадратичного отклонения выборки или же в абсолютных значениях.

В «Управлении потоками вычислений» можно указать, чтобы созданные потоки вычислений запускались автоматически или же пользователь, будет их запускать вручную с панели инструментов или из главного меню.

«Управление фокусом ввода» при включении позволяет фокусу ввода перемещаться на элемент интерфейса, находящийся под указателем мыши, упрощая процедуру ввода значений параметров.

В «Управлении цветами элементов» можно настроить индивидуальные цвета для элементов модели и надписей на них, что способствует их наглядности и читабельности.

В «Управлении настройками 3D-построения» можно указать, надо ли масштабировать ось значений достоверности от минимального, до максимального её значений или же выводить график в абсолютных величинах от 0 до 100 процентов.

Настройки автоматически сохраняются при нажатии «ОК», но могут быть легко сброшены в исходное состояние нажатием на кнопку «Сброс по умолчанию».

Основная часть программного кода представлена в Приложении И.

3.5 Выводы по главе

1 Показана возможность использования низковольтной системы питания для освещения автономного объекта и для заряда аккумуляторной батареи, без потерь энергии при преобразовании от 24В постоянного тока в 220В переменного тока;

2 В результате моделирования установлено, что, что при положительном энергобалансе напряжения на АБ1 и АБ2 находятся в заданном режиме 24/220В, и при этом обеспечивается полное функционирование нагрузки. При отрицательном энергобалансе функционирование нагрузки прекращается в момент достижения допустимого значения напряжения на АБ1 и АБ2, при этом СЭО переходит в аварийный режим работы и заряжает аккумуляторы;

3 В результате анализа работы модели показано, что имитационная модель СЭО построена и функционирует в соответствии с заложенной в нее логикой работы. С помощью этой модели можно наглядно имитировать различные режимы работы СЭО;

4 В программе Simulink и Simpowersystems, входящей в состав пакета MATLAB разработана имитационная модель управления контроллером энергообеспечения автономного объекта с элементами Smart технологии. Эта модель позволяет реально отображать логику работы солнечной панели и ветровой установки;

5 Разработана модель оптимального управления ощущаемой температуры в автономном объекте.

6 Представленные модели легли в основу при проектировании Smart технологии контроля и управления системами энергообеспечения автономного объекта.

4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТОК И РЕКОМЕНДАЦИЙ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ

На основе проведённых исследований в предыдущих главах, используя полученные результаты теоретического расчёта и моделирования, в главе рассматриваются новые схемы и технологии, внедрённые в производство и используемые в реальных автономных объектах. Рассмотренные в главе разработки имеют перспективу практического использования.

4.1 Практическое применение низковольтной системы освещения в автономном объекте

В работе была создана низковольтная система освещения, структурная схема которой показана на рисунке 4.1

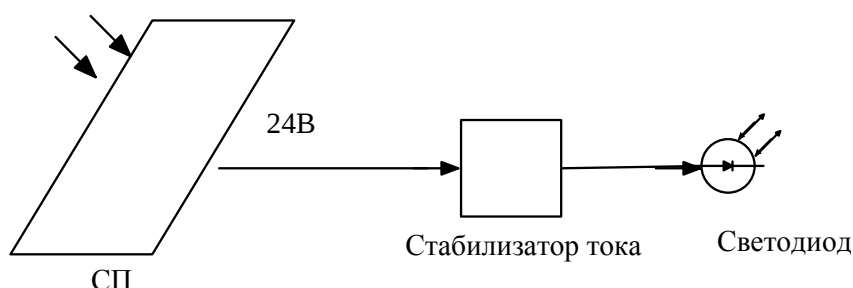


Рисунок 4.1 – Схема подключения светодиодного осветителя без применения преобразователей

В данной схеме была использована гибкая солнечная батарея размером $0,5 \times 8$ м, мощностью 400 Вт, производства США. Данная солнечная батарея имеет высокие свето – технические характеристики, при отсутствии прямых солнечных лучей и не большой облачности мощность падает на 30%. Внешний вид показан на рисунке 4.2.

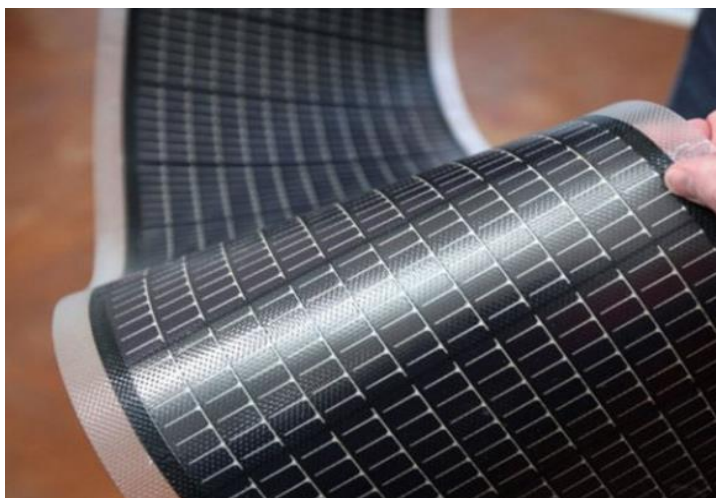


Рисунок 4.2 – Внешний вид солнечной панели

В качестве осветительных установок используются светодиодные лампы марки Ecolight, показанной на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Внешний вид светодиодной лампы

Схема подключения солнечной панели и светодиодной лампы показана на рисунке 4.3. На данном рисунке видно, что солнечная панель подключена через стабилизатор.

Для стабилизации постоянного тока использовался драйвер собственного изготовления на основе микросхемы PT4115, его типовая схема приведена на рисунке 4.4, а фото изготовленного образца на рисунке 4.5.

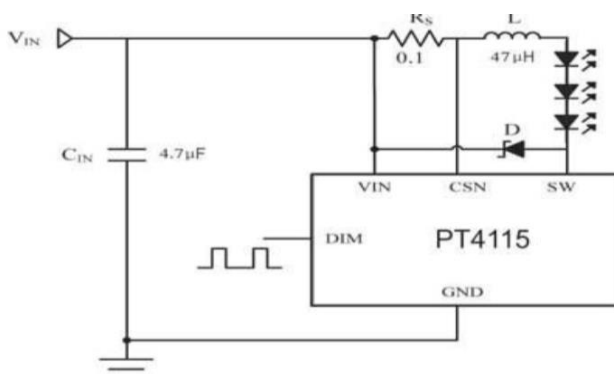


Рисунок 4.4 – Схема стабилизации тока

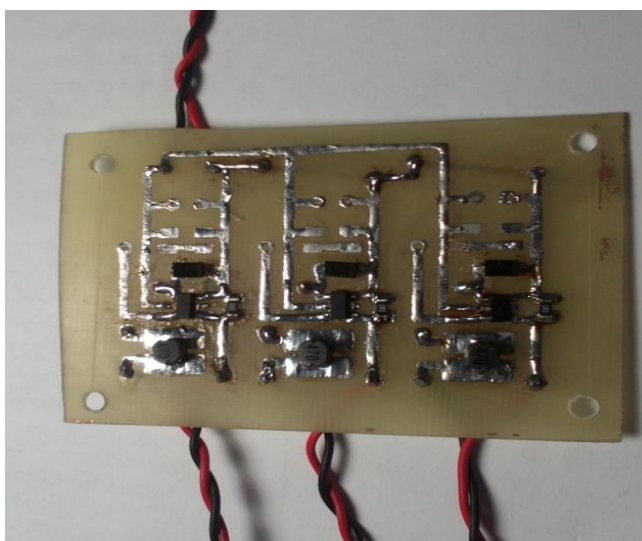


Рисунок 4.5 – Изготовленный стабилизатор тока

При проведенном испытании выявлено, что при использовании в системе освещения светодиодного прибора идет двойное преобразование напряжения. Постоянный ток с напряжением 24В преобразуется в переменный ток 220В и питает систему энергообеспечения автономного объекта. В светодиодном приборе уже встроен преобразователь (выпрямитель), который преобразует переменный ток с напряжением 220В в постоянный с напряжением 24В и подает светодиоду. При двойном преобразовании теряется около 80% энергии, поэтому в данной диссертационной работе предлагается в системе светодиодного освещения использовать постоянный ток с напряжением 24В (низковольтное напряжение).

На рисунке 4.3 показана схема системы низковольтного освещения подключения на основе светодиодов без преобразователей напряжения. Данная схема актуальна тем, что напряжение энергии выработанная с солнечной панелью позволяет использовать светодиоды высокой мощности без преобразования энергии, что в свою очередь повышает КПД системы.

Для накопления энергии и обеспечения устойчивой работы схемы дополнительно устанавливается аккумулятор 4 и контроллер 2, обеспечивающий оптимальный заряд энергии и необходимое напряжение для работы низковольтной системы освещения, рисунок 4.6.

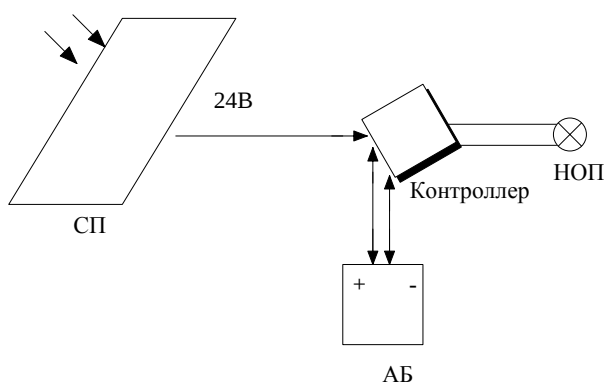


Рисунок 4.6 – Схема низковольтной системы освещения с использованием накопителя энергии

Постоянный ток поступает из солнечной панели рисунок 4.6 в контроллер, который обеспечивает бесперебойную подачу электрической энергии на низковольтную систему освещения НСП, одновременно осуществляется заряд аккумулятора.

Схема, представленная на рисунке 4.6, была реализована для автономного питания освещением юрты. В данной схеме контроллер заряда показан на рисунке 4.7.



Рисунок 4.7 – Контроллер заряда аккумулятора

Для испытания работоспособности системы были проведены натуральные испытания низковольтной системы освещения с использованием накопителя энергии по схеме, показанной на рисунке 4.7.

На национальном празднике Наурыз в г. Усть – Каменогорск в 2015г проводилась выставка автономных энергосберегающих технологий, где был собран реальный образец низковольтной системы. Фото реализованной автономной системы низковольтного освещения показаны на рисунках 4.8 и 4.9.



Рисунок 4.8 – Внешний вид юрты с гибкой солнечной батареей

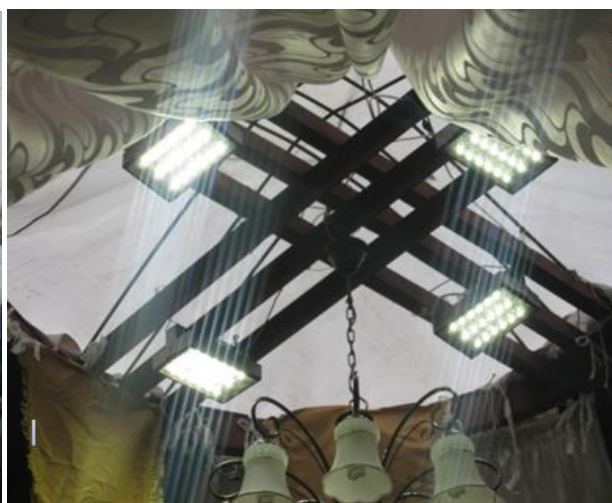


Рисунок 4.9 – Организация автономного режима работы освещения юрты

На 4.8 рисунке показан внешний вид юрты, а на рисунке 4.9 показаны светодиодные осветители.

Испытание данной системы показало, полную ее работоспособность. Система работала автономно в течении семи дней, при этом расход энергии на освещение составил всего 10% от вырабатываемой солнечной панели энергии, то есть можно было еще добавить нагрузку эквивалентную 100Вт электрической энергии.

Для обеспечения взаимосвязанного управления системой светодиодного освещения при помощи slave-контроллера FX3G-14M, master-контроллера FX3U-16M и планшетного компьютера написана программа для каждого устройства по отдельности. В качестве примера данная программа будет написана для автономной Юрты.

Первым устройством, которое необходимо запрограммировать, является slave-контроллер FX3G-14M. Данный контроллер располагается в каждой из комнат и отвечает за их управление. Программирование FX3G-14M осуществляется при помощи программного обеспечения GX IEC Developer версии 7.04, на языке Ladder Diagram [145].

Первым шагом при написании программы является объявление переменных. В таблице 4.1 представлено их описание

Таблица 4.1 - Глобальные переменные slave-контроллера

Класс	Имя	Адрес	Тип	Описание
VAR_GLOBAL	G_Input1	X0	Дискретный	Выключатель 1
VAR_GLOBAL	G_Input2	X1	Дискретный	Выключатель 2
VAR_GLOBAL	G_Input3	X2	Дискретный	Выключатель 3
VAR_GLOBAL	G_Out1	Y0	Дискретный	Световая схема 1
VAR_GLOBAL	G_Out2	Y1	Дискретный	Световая схема 2
VAR_GLOBAL	G_Out3	Y2	Дискретный	Световая схема 3

Алгоритм работы: каждый блок отвечает за одну световую схему. При подачи сигнала при помощи импульсного выключателя на любой из входов G_Input1, G_Input2 или G_Input3 включается та или иная световая схема. При повторном нажатии на импульсный выключатель формируется сигнал на выключение световой схемы. В это же время внутри каждого блока формируется регистр памяти, в 0,1,2 бит которого записывается состояние той или иной световой схемы и передаётся в master-контроллер. Связь контроллеров осуществляется по интерфейсу RS-485.

Следующим этапом в программировании подсистемы освещения является создание программы для центрального контроллера FX3U-16M. Его программирование также осуществляется при помощи программного обеспечения GX IEC Developer версии 7.04, на языке Ladder Diagram.

Снова первым шагом в программировании будет объявление переменных. Но если в первом случае мы привязывали их непосредственно к физическим входам/выходам контроллера, то при программировании master-контроллера привязка будет происходить к меркерам, временной ячейке памяти. В таком случае мы с лёгкостью сможем воздействовать на один объект, разными органами управления. В нашем случае ими являются slave-контроллер и планшетный компьютер. Master-контроллер, в данном случае, будет являться лишь связующим звеном между ними. В результате получаем список следующих переменных, представленный в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Глобальные переменные master-контроллера

Класс	Имя	Адрес	Тип	Статус
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_SetLeftLamp	M633	Дискретный	Световая схема 1 включена
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_ResetLeftLamp	M634	Дискретный	Световая схема 1 выключена
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_SetRightLamp	M635	Дискретный	Световая схема 2 включена
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_ResetRightLamp	M636	Дискретный	Световая схема 2 выключена
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_SetLamp	M637	Дискретный	Световая схема 3 включена
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_ResetLamp	M638	Дискретный	Световая схема 3 выключена
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_IndicationLeftLamp	M641	Дискретный	Индикация световой схемы 1
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_IndicationRightLamp	M642	Дискретный	Индикация световой схемы 2
VAR_GLOBAL	G_Cabinet_IndicationLamp	M643	Дискретный	Индикация световой схемы 3

В данном случае master-контроллер лишь проверяет состояние регистров, полученных из slave-контроллера и, разбивая их на биты, сравнивает с состоянием собственных меркеров, которые отвечают за те же функции, что и 0,1,2 биты каждого регистра, приходящего от slave-контроллера. После сравнения, контроллер отправляет регистры, сформированные на основе собственных меркеров, на slave-контроллер тем самым внося изменения в его работу.

Таким образом, описанная выше схема позволила устранить два преобразователя, которые используются в современных системах на солнечных панелях. Первый преобразователь преобразует постоянный ток с напряжением 24В переменный с напряжением 220В и второй преобразователь, который находится внутри светодиодной лампы преобразует переменный ток с напряжением 220В, а постоянный 24В. В нашем случае у светодиодной лампы преобразователь был убран.

В результате практических измерений эффективности работы реализованной нами схемы мы получили улучшение КПД работы низковольтной системы освещения близкой к теоретическому. Экспериментальный КПД 70%.

4.2 Исследование работы системы энергообеспечения от солнечной панели в пакете MatLab

После проведения экспериментальных данных по низковольтной системе освещения необходимо регулировать напряжение аккумуляторной батареи и солнечной панели.

По разработанным математическим моделям в 2 и 3 главах была собрана схема заряда аккумуляторной батареи от солнечной панели в программном обеспечении Simulink и Simpowersystems визуального моделирования входящий в пакете MatLab. Данная схема показана на рисунке 4.10, ниже приводится классическое амплитудное регулирование преобразователя напряжения от 12 В в 220В.

Напряжение солнечной панели и аккумуляторной батареи выбрано между 12 и 220В и преобразовывалась в 220В переменного тока с частотой 50Гц.

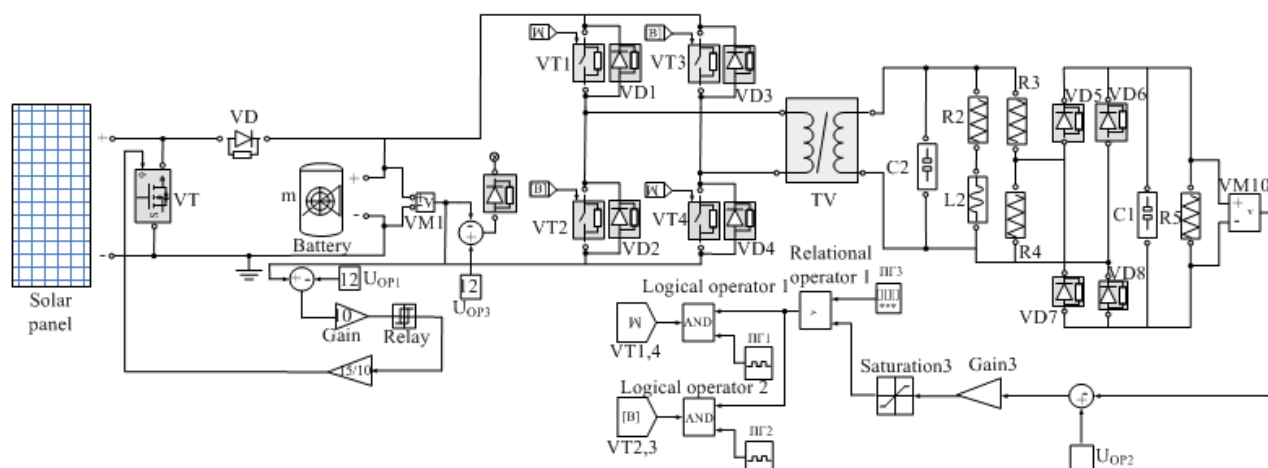


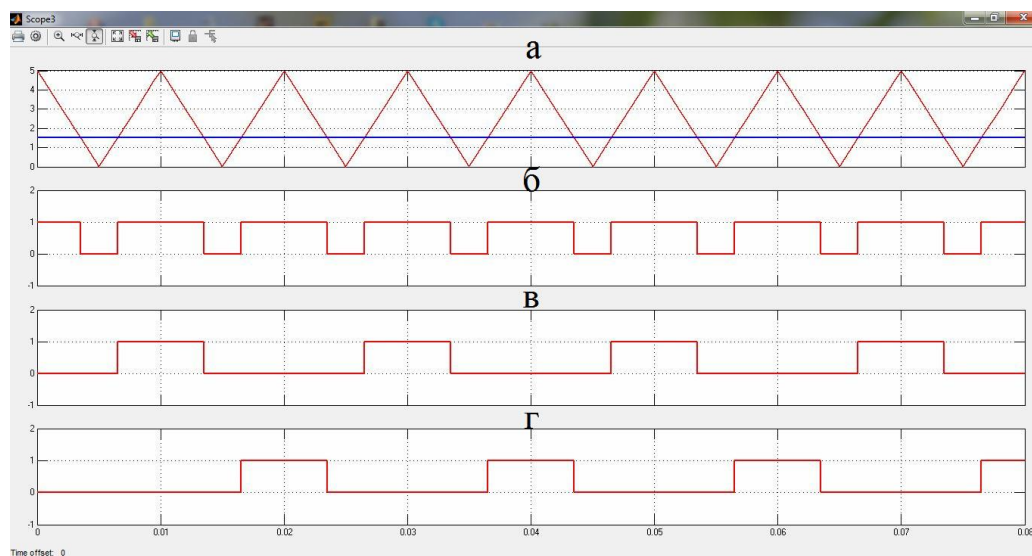
Рисунок 4.10 – Схема моделирования солнечной панели в программе MatLab

В результате моделирования в среде Simulink с разными номинальными напряжениями и преобразователем позволят выбрать напряжение аккумуляторной батареи и солнечной панели. По приведенному методу расчета во второй главе солнечной панели составлена модель в пакете MatLab, которая состоит из источника тока PV1 присоединенный к аккумуляторной батарее через разделительный диод VD. В цепь аккумуляторной батареи подключен контроллер VM1, GainRelay, для предупреждения перезаряда аккумуляторной батареи. Когда аккумулятор заряжается от солнечной панели до заданного максимального напряжения, схема предупреждения перезаряда параллельно солнечной панели подключает нагрузочный транзистор VT, чтобы поглощать избыточную мощность солнечной панели. Аккумуляторная батарея защищена от перезарядки релейным регулятором, который состоит из задатчика опорного напряжения Constant, устройство сравнения напряжения Battery с Constant – sumblock, усилитель ошибки регулятор Gain, релейный блок Relay, который управляет VT. При достижении напряжения заряда на аккумуляторной батарее 14В, солнечной панели коммутируется ключом VT.

В низковольтной схеме при напряжении U_{AB} 10 – 24В используется силовой трансформатор TV для повышения напряжения до 220В U_n , коэффициент трансформации составит $22 \div 16$. При моделировании применялся преобразователь с прямоугольной формы с регулированием выходного напряжения 50Гц по принципу широтно – импульсного регулирования.

Синусоидальная форма напряжения на нагрузке обеспечивается параллельным резонансным LC контуром, подключенным к преобразователю через трансформатор TV. Индуктивность L_{Π} сглаживает потребляемый ток инвертора, индуктивность L_H активно – индуктивной нагрузки с углом 0,8 и параллельно включенный трансформатор с конденсатором C_2 образует параллельный резонансный контур. Нагрузка подключена к конденсатору C_2 и имеет синусоидальную форму напряжения $K_T \leq 10\%$, при выборе напряжения аккумуляторной батареи 220В повышающий трансформатор TV отключен, программный код приведен в приложение К.

При моделировании использовался классический алгоритм регулирования выходного напряжения, показанный на рисунке 4.11.



а) сравнение опорного напряжения с треугольной формой, б) сигналы после сравнения с треугольной формой и опорным напряжением; в) сигналы поступающие на транзистор 1, 4; г) сигналы поступающие на транзистор 2, 3

Рисунок 4.11 – Алгоритм управления для ключей, регулирующих напряжение нагрузки

Амплитуда развертывающего напряжения симметричной треугольной формы $U_p = 2V$ с опорным напряжением $U_{Op} = 3,5V$.

На следующем рисунке 4.12 показана зависимость U_H от U_{AB} в режиме регулирования и без регулирования.

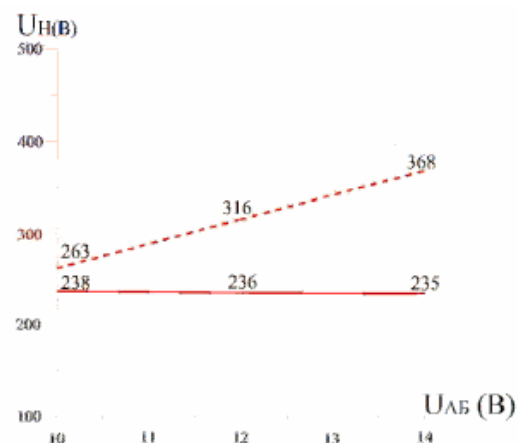


Рисунок 4.12 – Характеристики преобразователя

На рисунке 4.12 показаны характеристики преобразователя с регулированием сплошной линией, а без регулятора пунктирной линией.

На следующем рисунке 4.13 показана, регулировочная характеристика напряжения 220В и коэффициента гармоник $K_Г$ в зависимости от напряжения аккумуляторной батареи от 10 до 14В.

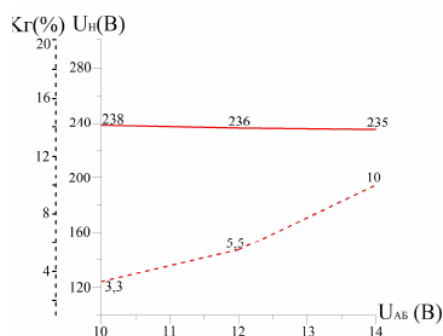


Рисунок 4.13 – Характеристики регулирования

В таблице 4.3 приведены характеристики нагрузки и измерительного органа.

Таблица 4.3 – Значения нагрузки и измерительного органа

Конденсатор C_2	150мкФ
Сопротивление R_2	19,36Ом
Индуктивность L_2	46мГн
Сопротивление R_3	26кОм
Сопротивление R_4	0,45кОм
Конденсатор C_1	100мкФ
Сопротивление R_5	10кОм

На рисунке 4.14 приведена нагрузочная характеристика преобразователя при постоянном напряжении аккумуляторной батареи 10В, которая снята при изменении нагрузки от номинального до холостого хода.

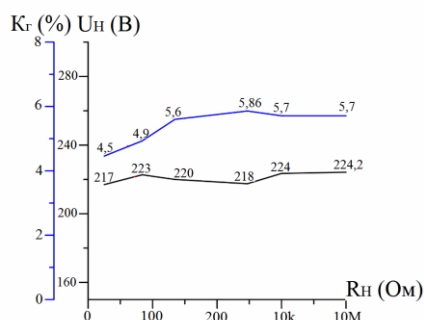


Рисунок 4.14 – Нагрузочная характеристика преобразователя

На следующем рисунке 4.15 показана внешняя характеристика преобразователя, которая снята без регулирования при напряжении 14В.

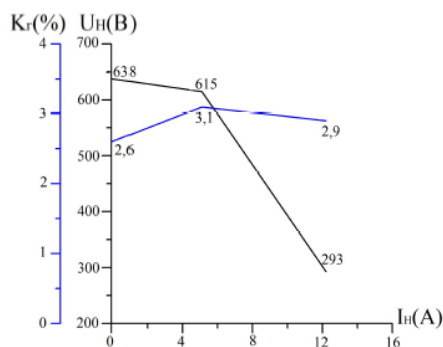


Рисунок 4.15 – Внешняя характеристика преобразователя без регулирования

Для обеспечения стабильности в режиме классического амплитудного регулирования определяем значение опорного напряжения и амплитуду развортывающего напряжения приведены в таблице 4.4 и на рисунке 4.16.

Таблица 4.4 - Результаты параметров между опорным и задающим генератором напряжением

$U_{AB}, В$	14			
$U_{OP} + U_P$	5			
$U_{OP}, мВ$	1,5	2,5	3,5	4,5
$U_P, В$	4	3	2	1
$U_n, В$	200	217	235	266
$K_g, \%$	14,7	12,8	10	7,4

По критерию гармоник приемлемым является $K_g=10\%$, поэтому из таблицы 4.3 выбираем соотношения $U_n=235В$, $U_{OP}=3,5 мВ$ и $U_P=2В$.

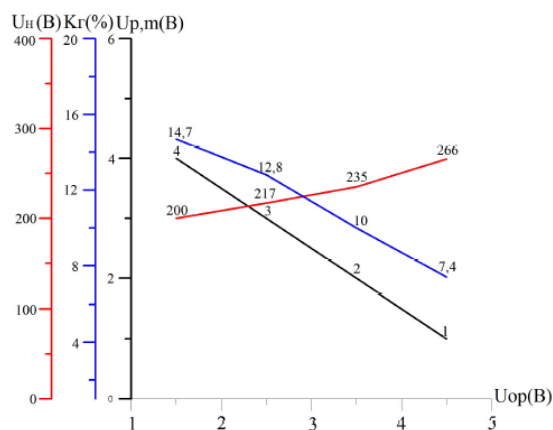
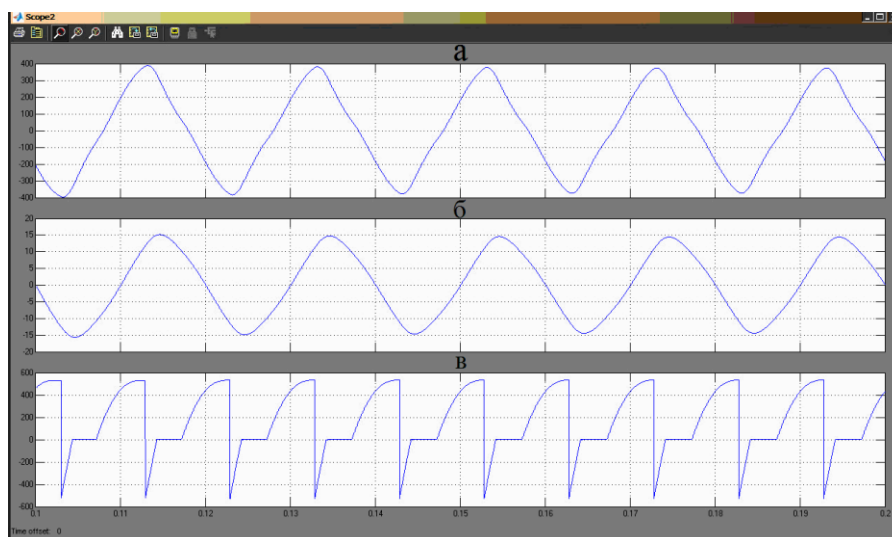


Рисунок 4.16 – Параметры преобразователя

Результаты моделирования управления солнечной панели с использованием классического амплитудного регулирования выходного напряжения при входном напряжении аккумуляторной батареи 14В, приведены на рисунке 4.17.



а) выходное напряжение преобразователя; б) ток, протекающий через нагрузку; в) ток источника питания

Рисунок 4.17 – Результаты моделирования солнечной панели

Исследование показало, что моделирования управления солнечной панели с использованием классического амплитудного регулирования выходного напряжения обеспечивает требуемую точность уровня напряжения нагрузки 220В с коэффициентом гармоник $K_r \leq 10\%$.

Данный способ регулирования применяется для низковольтного светодиодного освещения с напряжением 24В.

4.3 Практическая реализация модели количественной оценки ошибки контроля параметрами микроклимата в автономном объекте

После регулирования напряжения солнечной панели и аккумуляторной батареи, необходимо регулировать температуру в помещении контролировать параметры микроклимата в автономном объекте.

В процессе контроля возникают ошибки, которые в значительной мере зависят от погрешностей измерения. Различают три типа погрешностей: систематические, случайные и грубые, называемые промахами.

Систематические погрешности остаются постоянными или изменяются по определенному закону, они могут быть изучены, а в результат измерения вводится поправка. Случайные погрешности нельзя исключить из результатов измерений введением поправок. Однако, путем проведения ряда повторных измерений, используя математическую статистику, можно уточнить результаты измерения.

Контролируемые параметры X , согласно установленным требованиям, не должны выходить за некоторые допустимые нормативы (пределы, допуски). Ограничения в общем случае могут быть двухсторонние, например, ограничения по скорости:

$$X_n < X < X_v, \quad (4.1)$$

где X_n - нижний норматив X ;

X_v - верхний норматив X .

Случай двухстороннего ограничения называется допусковым, но бывают и довольно часто случаи одностороннего ограничения, которые можно считать частными случаями условия (4.1), если положить X_v или X_n равными нулю, как это обстоит на практике со скоростью движения автомобиля (ограничивается сверху).

Допусковый контроль представляет собой экспериментальную проверку соотношения (4.1), на основе измерения некоторого индикатора контролируемого процесса. Во многих случаях используется статистический или выборочный контроль, когда вывод о допустимости (качестве, годности или негодности объекта) (изделия, процесса) делается не в отдельности для каждого изделия или услуги, а по некоторой выборке однотипных изделий (услуг, испытаний). Статистические методы используют в тех случаях, когда экономически нецелесообразно измерять значения показателей для каждого исследуемого объекта. Однако следует иметь в виду, что в этих случаях целесообразность выборочного контроля должна быть достаточно обоснована.

Обязательной процедурой контроля является измерение. Термин и процедура «измерение» в настоящее время может использоваться для любого объекта (параметра, процесса, события) независимо от его природы. Под средствами измерения (измеритель, «прибор») будем понимать физические приборы, приборы и методику измерения, методику и ресурсы выявления данных по документам (пассивный эксперимент), субъект и используемые для

измерения ресурсы. Результатом измерения всегда является число (или совокупность чисел), дающее количественную оценку измеряемой величине в некоторых заранее выбранных единицах. Множество результатов измерения - это множество чисел из некоторого интервала возможных значений. Контроль - это последовательность процедур измерения, сравнения измеренного значения с нормативами и принятие решения по принципу- «контролируемый объект в норме», «контролируемый объект не в норме». Окончательное решение «годен-негоден» «в норме - не в норме», как правило, принимается человеком.

В реальной ситуации не всегда представляется возможным измерять истинные технические, физиологические или социально-экономические параметры контролируемого объекта, и тогда используют некоторую совокупность индикаторов, которые косвенно позволяют оценивать интересующее исследователя состояние объекта. Эти показатели называются «диагностическими параметрами», которые в дальнейшем будем обозначать символом S . Диагностирование в настоящее время приобретает довольно обширное понятие и значение. Одной из важнейших задач диагностики, которая должна быть решена в первую очередь- это обоснование оптимальной совокупности диагностических параметров, адекватно отражающих состояние объекта диагностирования. Адекватность - это соответствие одного объекта другому или как формулируется - «соответствие реальной системе относительно выбранного множества свойств».

Решение о том, удовлетворяют ли параметры контролируемого объекта условию (1.4), принимаются по результатам измерения. Как выше было условлено, измерительным прибором могут быть физические приборы, например, температура, влажность, или интегральное многопараметрическое оценивание. Поскольку результаты измерения всегда искажены случайными погрешностями, это неизменно приводит к ошибкам контроля и принятия решений, которые могут быть двух видов:

1 Ошибочное признание «нормального» объекта - «ненормальным» (технически исправного объекта -неисправным).

2 Признание «ненормального» объекта - «нормальным».

Ошибки первого вида приводят к прямым потерям времени, или каких-либо других ресурсов.

Ошибки второго вида увеличивают риск, что может привести к нежелательному последствию.

Оба типа ошибок являются ошибками контроля, и, если абстрагироваться от систематической составляющей, их следует рассматривать, как случайные события, поэтому в процессе их анализа будут использоваться вероятностно-статистические методы.

В качестве интегрированной оценки качества принятия решения будет использована - достоверность. Достоверность вычисляют по формуле:

$$D = 1 - [\text{сумма рисков (вероятностей ошибочных решений)}] \quad (4.2)$$

Индикаторы (диагностические параметры) контролируемых процессов по своей природе являются, как уже указывалось выше, величинами случайными. Система измерения этих показателей, а сюда автор относит: методику измерения и инструменты контроля, водителя и его субъективные качества и т.д., которые задействованы в контуре принятия решений, имеет погрешность. Поэтому, результат контроля - величина случайная, и как было установлено в ряде исследований [142], зависит от целого ряда факторов, таких как, статистические законы распределения контролируемого параметра, статистические законы распределения погрешности измерителя (прибора или водителя), величины нормативных значений. Однако, во всех известных работах нормативы рассматривались как величины детерминированные. В реальных условиях точное значение нормативов определить невозможно, что дает основание считать нормативы величиной случайной и возникает задача оценки рисков с учетом и этой гипотезы. Таким образом, возникает задача оценки и прогнозирования качества контроля и принятия решения, как функции всех перечисленных выше факторов и параметров. Показателем качества контроля, как было указано выше, может быть выбрана метрологическая характеристика- достоверность D и элементы достоверности - риски. Задачу оценки достоверности D и рисков, предполагается решить путем разработки вероятностной модели и проведения компьютерного эксперимента с целью получения расчетных оценок и прогнозов.

Рассмотрим формальную сторону моделирования.

Первым шагом моделирования автором процесс контроля подвергается декомпозиции до уровня простых случайных событий-процедур. В результате декомпозиции реального процесса контроля выявлены следующие события:

1. Измерение текущего значения контролируемого параметра;
2. Сравнение измеренного значения с нормативом;
3. Принятие решения о состоянии контролируемого объекта;
4. Если значение контролируемого параметра превысило нормативы, то принимается решения коррекции процесса.

На рисунке 4.18 представлена графическая интерпретация процесса формирования ошибок контроля.

В модели приняты следующие условные обозначения:

- S - контролируемый параметр;
- S_i - текущее значение контролируемого параметра;
- $S_{изм}$ - измеренное значение контролируемого параметра;
- $S_{иизм}$ - текущее измеренное значение контролируемого параметра;
- S_v - верхнее нормативное значение контролируемого параметра;
- S_n - нижнее нормативное значение контролируемого параметра;
- $f(S)$ - функция плотности распределения контролируемого параметра;
- $\varphi(S_{изм})$ - функция плотности распределения случайной погрешности измерения контролируемого параметра S .

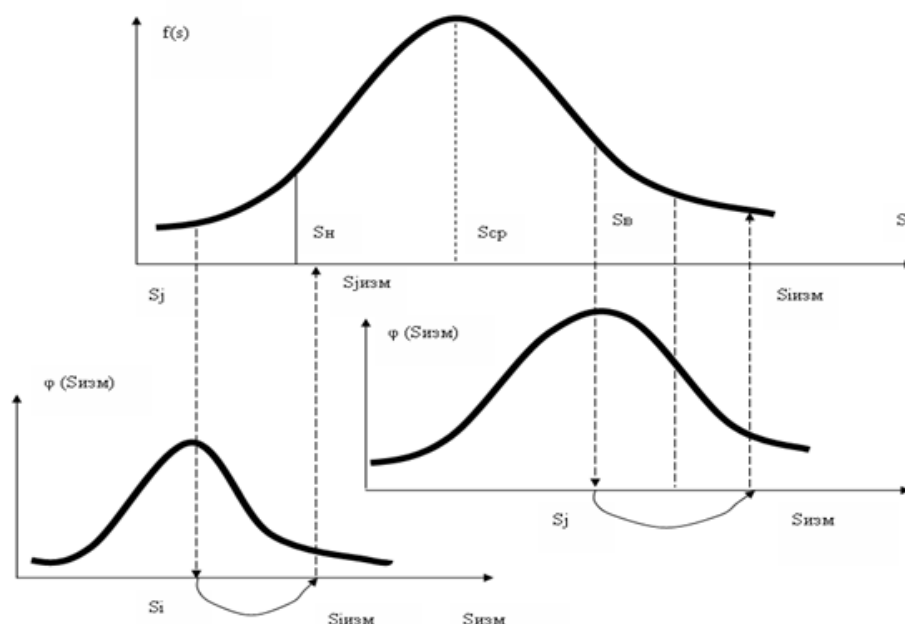


Рисунок 4.18 – Графическая интерпретация процесса формирования ошибок контроля

Этапы моделирования рассмотрены в главе 2, (2.92) – (2.100), алгоритм работы управления температурой в автономном объекте показан на рисунке 2.10.

В приложении К, рисунок 1 представлен алгоритм определения ошибок и достоверности принятия решений, в приложении 3 приведена таблица ощущаемой температуры.

В результате исследований в главе 2 по выражениям (2.77) – (2.79) установлено, скорость движения воздуха в помещении не должна превышать 0,6м/с, а интенсивность теплового облучения 1200Вт/м². Данные приложения 3 были подвергнуты статической обработке в среде STATISTICA, в результате получены трехмерные регрессионные модели, имеющие следующий вид:

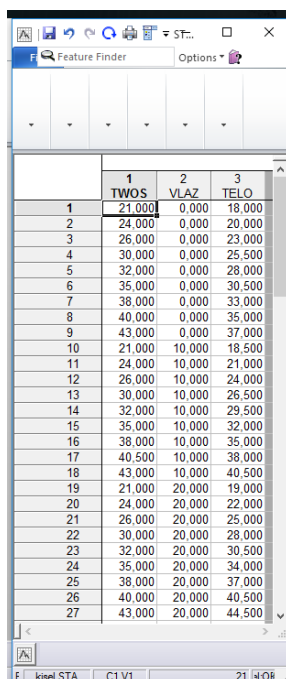
$$Z = 0.041 + 1.375 \times X - 0.061 \times Y - 0.007 \times X^2 - 0.005 \times X \times Y + 0.001 \times Y^2 \quad (4.3)$$

где Z - температура воздуха в помещении;

X - влажность среды;

Y - ощущаемая температура тела.

Данные, переведенные в программу STATISTICA и показаны на рисунке 4.19.



	1 TWOS	2 VLAZ	3 TELO
1	21,000	0,000	18,000
2	24,000	0,000	20,000
3	26,000	0,000	23,000
4	30,000	0,000	25,500
5	32,000	0,000	28,000
6	35,000	0,000	30,500
7	38,000	0,000	33,000
8	40,000	0,000	35,000
9	43,000	0,000	37,000
10	21,000	10,000	18,500
11	24,000	10,000	21,000
12	26,000	10,000	24,000
13	30,000	10,000	26,500
14	32,000	10,000	29,500
15	35,000	10,000	32,000
16	38,000	10,000	35,000
17	40,500	10,000	38,000
18	43,000	10,000	40,500
19	21,000	20,000	19,000
20	24,000	20,000	22,000
21	26,000	20,000	25,000
22	30,000	20,000	28,000
23	32,000	20,000	30,500
24	35,000	20,000	34,000
25	38,000	20,000	37,000
26	40,000	20,000	40,500
27	43,000	20,000	44,500

Рисунок 4.19 – Обработка данных в программе STATISTICA

Данная модель позволяет по существующей влажности воздуха (VLAZ), которая считается нерегулируемой величиной, и желаемой температурой тела (TELO), которая для каждого индивида имеет свое значение, и оно задается в автоматизированной системе человеком, рассчитать требуемую температуру воздуха в помещении, которая устанавливается и регулируется на кондиционере.

На рисунке 4.20 демонстрируется трехмерная интерпретация поверхности управления температурой воздуха в помещении («сухой» термометр).

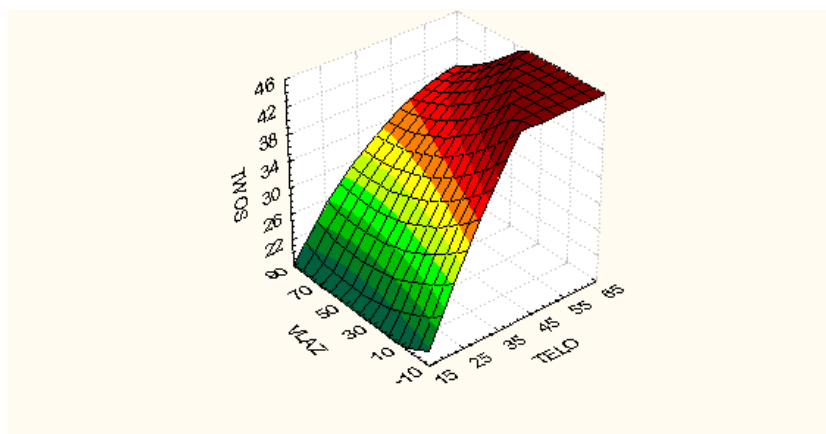


Рисунок 4.20 – Трехмерная интерпретация поверхности управления температурой воздуха в помещении («сухой» термометр)

Для случая расчета - какова будет ощущаемая температура тела при заданных: влажности и «сухой» температуры воздуха в помещении, была разработана следующая регрессионная двухфакторная модель:

$$Z=10.58 + 0.04 \times X - 0.197 \times Y + 0.014 \times X^2 + 0.014 \times X \times Y - 8.167 \times Y^2 \quad (4.4)$$

где Z- требуемая температура воздуха (TWOZ);

X - влажность среды (VLAZ);

Y - ощущаемая температура тела (TELO).

Трехмерные графические модели, рисунок 4.21, позволяют визуально оценивать степень влияния на регулируемый показатель контролируемых параметров атмосферы в замкнутом помещении.

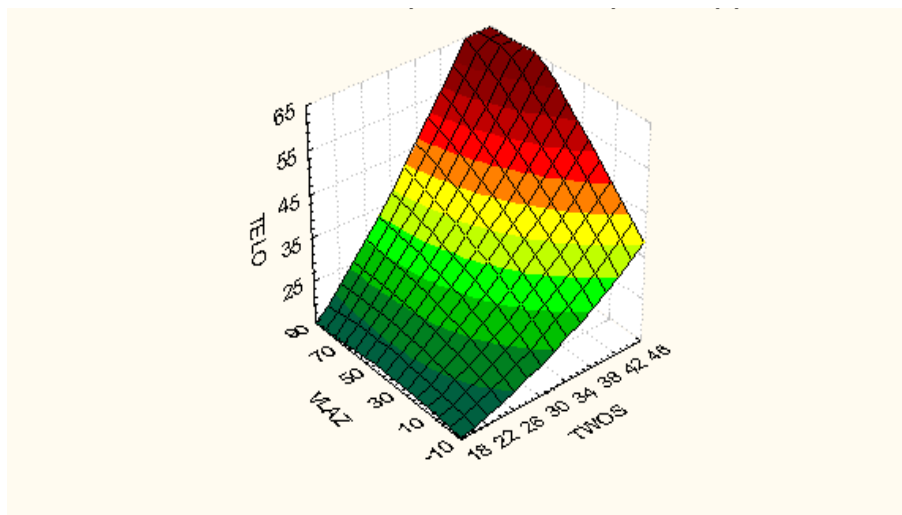


Рисунок 4.21 - Трехмерная графическая модель расчетного значения температуры тела (Z-TELO), при заданной температуре воздуха в помещении (Y-TWOZ) и измеренного значения влажности воздуха (X-VLAZ)

Оценка качества моделирования была реализована по критерию Фишера [143]. По расчетным значениям F – критериев было установлено, что с вероятностью 0.95 гипотеза об адекватности регрессионных моделей показанных на рисунке 4.21 и 4.22 не отвергается [142].

Модели, показанные на рисунке 4.21 и 4.22 реализованы в форме программного приложения.

В результате полученных данных измерение температуры была реализована с помощью Raspberry Pi и Arduino.

Для организации на реализации эксперимента была выбрана связка Raspberry Pi и Arduino. В Arduino используется микроконтроллер, а в Raspberry Pi – процессор.

В данном разделе к Arduino подключен датчик DHT11, измеряющий влажность и температуру окружающего воздуха.

Используемый модуль для получения информации об окружающей температуре и влажности включает в себя датчик DHT11 и другие необходимые компоненты на небольшой печатной плате. Датчик DHT11 включает в себя компонент измерения влажности резистивного типа, в NTC компонент измерения температуры и высокой производительности 8-разрядный микроконтроллер внутри, и обеспечивает калиброванный выход цифрового сигнала. Он имеет высокую надежность и высокую долговременную стабильность, благодаря эксклюзивной цифровой техники накопления сигнала, показан на рисунке 4.22.

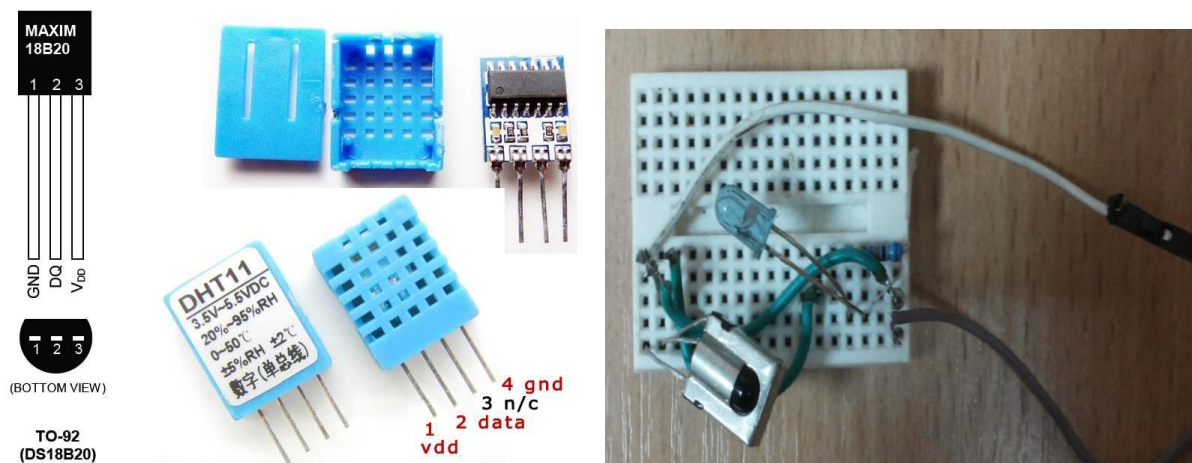


Рисунок 4.22 – Модуль - DHT11

Модуль DHT11 подключен к контроллеру на базе ATmega328 Arduino Uno, платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки.

Сигнальный вывод модуля DHT11 подключен ко второму дискретному входу платы Arduino, как показано на рисунке 4.23.

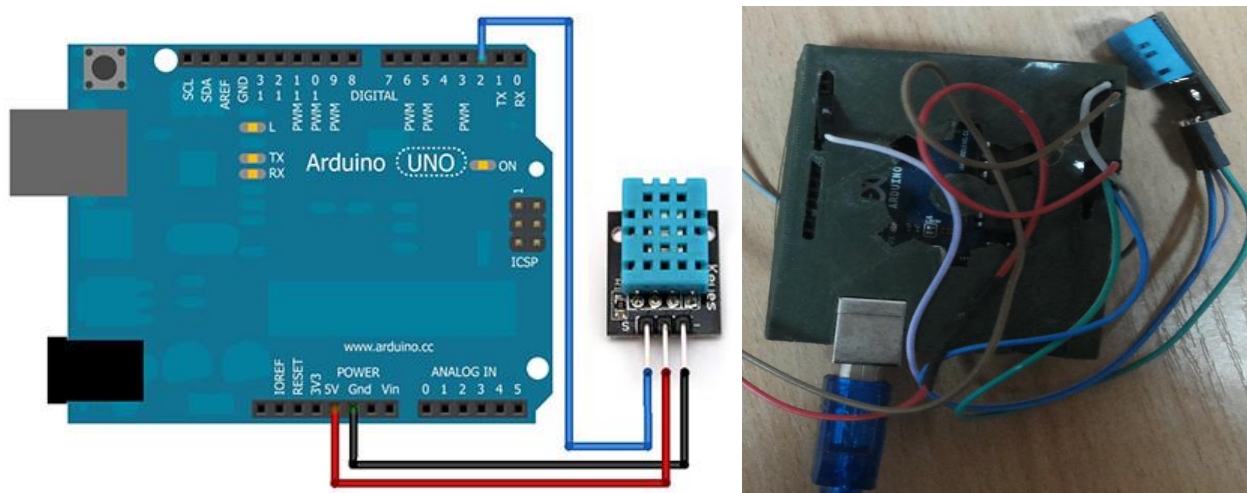


Рисунок 4.23 – Подключение DHT 11 к ArduinoUNO

Программный код для Arduino, посредством которого с DHT11 принимается сигнал, приведен в главе 2 рисунок 2.10.

После того как датчик стал передавать показания на Arduino, потребовалось передавать их на RaspberryPi, подключение осуществлялось с помощью интерфейса I2C.

С Raspberry Pi и коммуникатором I2C возможно соединить Pi с одним или несколькими платами Arduino.

Raspberry Pi работает на напряжении 3,3В в то время как Arduino работает на напряжении 5В. Однако, использовать преобразователь для коммуникатора I2C не требуется, если Raspberry Pi работает как «мастер», а Arduino – как дополнительное устройство.

Данные передаются, проходя по линии 0v, для высокого логического сигнала, при низком логическом сигнале, останавливается около уровня напряжения питания.

Последующий шаг это настройка Raspberry Pi как ведущего устройства, так как – Arduino ведомого, после необходимо настроить I2C мастер – Raspberry.

Данная программа написана для тестирования в Python. Это то, что она делает: Raspberry Pi попросит вас ввести цифру и посылает ее на Arduino, Arduino признает полученные данные и отправляет их обратно (Приложение Б).

Далее ArduinoUNO был подключен к RaspberryPi, показан на рисунке рисунке 4.25.

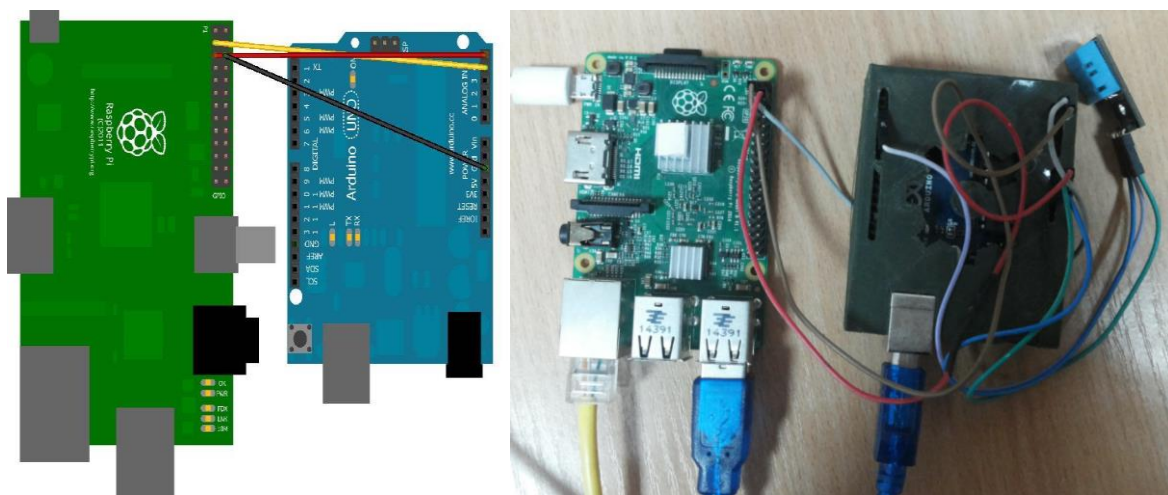


Рисунок 4.25 - Подключение Arduino к RaspberryPi

Для того что бы получить данные на RaspberryPi на языке Python был написан скрипт, который установлен в директорию /var/www/new.py.

Данный код отправляет сигналы «1» и «2», получая обратно значения температуры и влажности в соответствующем порядке.

После чего он передает на PHP страницу информацию о текущих показателях, и выдает ощущаемую человеком температуру. Для функционирования которой устанавливается Apache сервер, который запускает сайт, где была помещена информация о текущих данных, приходящих с датчика, так же там выводится информация об ощущаемой человеком температуре.

Расположение входов и выходов GPIO изображено на рисунке 4.26.

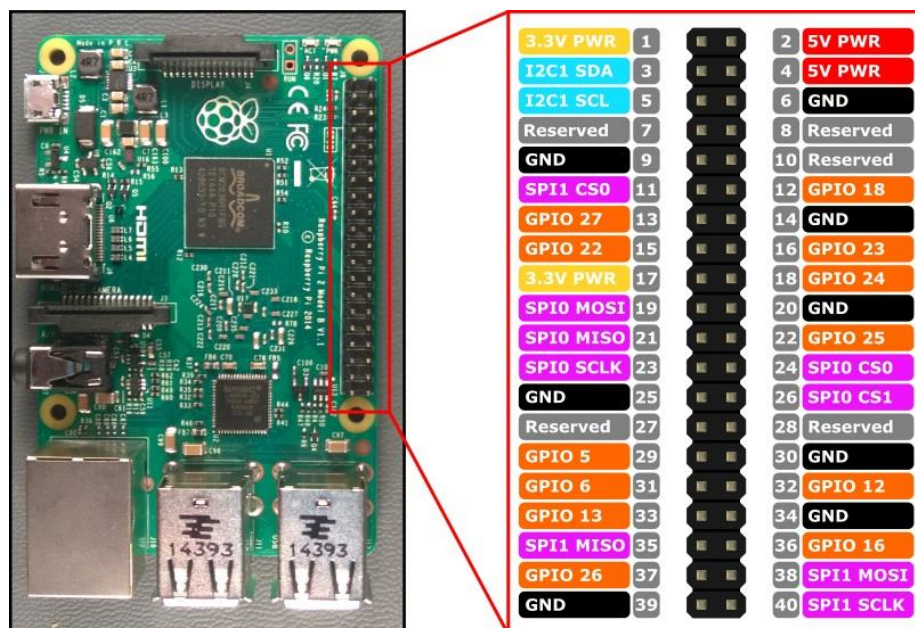


Рисунок 4.26 – Расположение входов и выходов GPIO на RaspberryPi

Макет экспериментального собранного управляющего устройство температуры показан на рисунке 4.28.

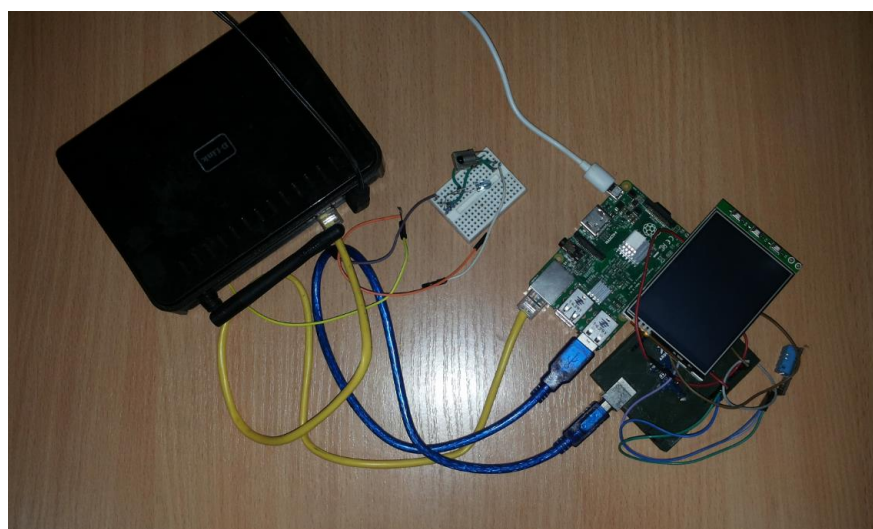


Рисунок 4.28 – Управляющее устройство температуры

При перезагрузке микрокомпьютера Raspberry Pi включается схема подключения ИК приемника и передатчика, она показана на рисунке 4.27.

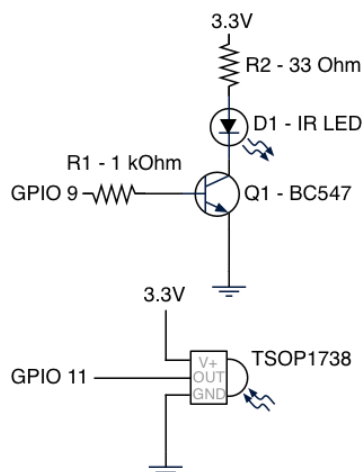


Рисунок 4.27 – Схема подключение приёмника и передатчика ИК сигналов.

На схеме условные обозначения соответствуют следующим значениям:

- 1) R1 — 1 кОм (резистор, ограничивает ток базы до 2.5мА, максимальный ток базы, который может выдержать GPIO и не сгореть 16мА)
- 2) R2 — 33 Ом (резистор, ограничивает ток на светодиоде до 50мА, благодаря этому сигнал сильный, дальность более 5 метров)
- 3) Q1 — BC547 (транзистор для усиление сигнала)
- 4) D1 — IR LED из пульта 36-38 КГц (ИК передатчик)
- 5) IR — TSOP1738 (ИК приемник).

В результате работы системы контроля и управления температуры нами были полученные данные в приложении Е. В. В дальнейшем подключения и автоматизированная система управления энергообеспечением нашего устройства позволила контролировать температурные характеристики автономного объекта.

4.4 Автоматизированная система управления энергообеспечением автономного объекта

Для реализации автоматизированной системы управления и контроля Smart технологии системами энергообеспечения автономного объекта, была разработана программа мониторинга генерации и потребления электроэнергии, задействованных источников и работающих приборов на базе БД MSAccess. Данная программная реализация осуществляет контроль и управления автономным объектом и при этом позволяет реализовать рассмотренные выше системы низковольтного питания и систему контроля и управления температурой. Работа программы реализует СМАРТ систему мониторинга потребления электроэнергии и систему контроля и управления источниками электроэнергии. Заложенные в программе алгоритмы обеспечивают бесперебойную подачу электроэнергии с автоматизированным или ручным управлением потребления энергии автономным объектом, в данном случае на примере «Умного дома». Рабочее окно показано на рисунке 4.29.

Главное окно программы включает в себя следующие вкладки:

- Главная

- Мои источники
- Мои комнаты
- Настройки

В вкладке «Главная», расположены следующие зоны:

- источники в работе, отображаются те источники, которые в данный момент включены и генерируют энергию;
- приборы в работе, отображаются те приборы, которые в данный момент включены и потребляют энергию;
- график генерируемой и потребляемой энергии, по времени, отображается также максимально доступная мощность;
- график переменного тока, прибор учета потребляемой и генерируемой мощностей;
- график заряда аккумулятора.

Рабочее окно программы показано на рисунке 4.29.

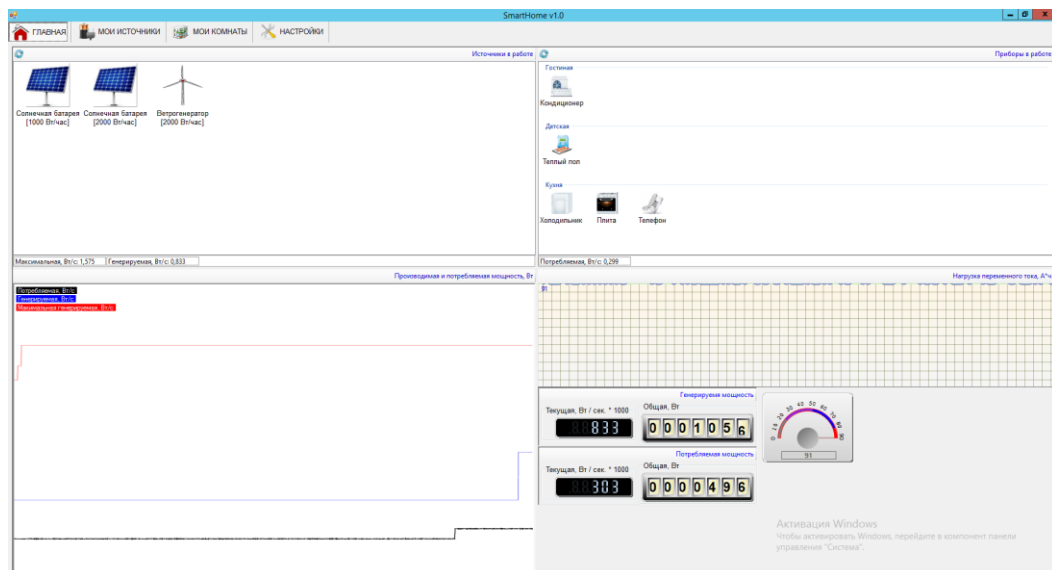


Рисунок 4.29 – Рабочее окно «Программы мониторинга генерации и потребления электроэнергии»

В вкладке «Мои источники», отображает все имеющиеся и установленные в доме возобновляемые источники энергии, при необходимости можно выбрать и добавить источник. Данная вкладка показана на рисунке 4.30.

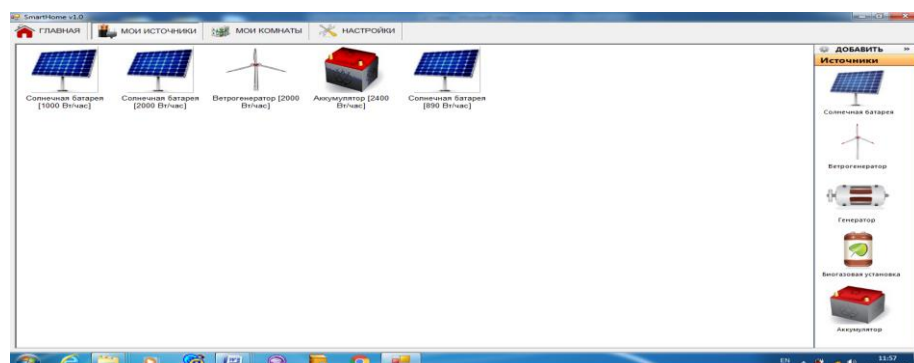


Рисунок 4.30 – Вкладка «Мои источники»

Нижняя правая часть окна «Главное» разбита на две вкладки, рисунок 4.29:

- приборы учета
- аккумуляторные батареи.

Изменение заряда аккумуляторной батареи отображается на индикаторе уровня зарядки интерфейса пользователя. Время зарядки рассчитано по формул учитывающих емкость и потребляемую мощность по току.

В результате работы данной программы можно обеспечить эффективную работу автономного объекта.

4.5 Мониторинг качества электрической энергии

Качество электроснабжения характеризуется надежностью систем электроснабжения и качеством электроэнергии на зажимах электроприемников. Качество электроэнергии оценивается рядом показателей [144, 146].

Показатели качества электрической энергии, методы их оценки и нормы определяет Межгосударственный стандарт «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» ГОСТ 13109-97». Стандарт устанавливает допустимые уровни помех в электрической сети, которые характеризуют качество электроэнергии и называются показателями качества электроэнергии (ПКЭ). Семь ПКЭ в основном обусловлены потерями (падением) напряжения на участке электрической сети, от которой питаются потребители. Всего же этих показателей одиннадцать, [144, 146]:

- установившееся отклонение напряжения δU_y ;
- размах изменения напряжения δU_t ;
- доза фликера P_f ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U ;
- коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- отклонение частоты Δf ;
- длительность провала напряжения $\Delta t_{п}$;
- импульсное напряжение $U_{имп}$;
- коэффициент временного перенапряжения $K_{пер U}$.

Для исследования качества электрической энергии была использованна ранее разработанная «Программа «КАЭС-1» Конструирование и качественный анализ электрических схем», который позволяющая осуществлять управление системой автоматизированного регулирования (с применением контроллеров) параметров по объектам электрической схемы, проводить расчет и выполнять другие действия [144].

Качество вырабатываемой энергии установками, работающими на возобновляемых источниках энергии проверялись программным обеспечением «Программа «КАЭС-1» Конструирование и качественный анализ электрических схем», авторское свидетельство №1605 от 22.10.2010 [144].

Для запуска программы необходимо подключить персональный компьютер через USB-порт к системе энергоснабжения можно через современные цифровые электросчётчики.. После загрузки отобразится главное окно программы (рисунок 4.31)

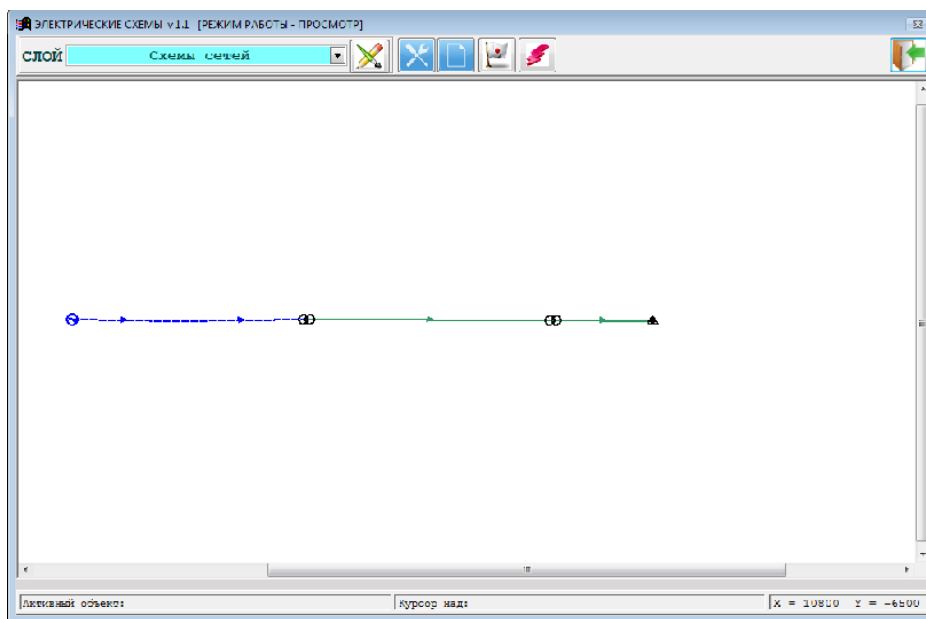


Рисунок 4.31 – Главное окно программы

В верхней части главного окна расположены:

- список используемых слоев. Используется два слоя: «Схемы сетей», главный слой программы, на котором рисуются основные объекты электрических схем; «Текстовые метки» - вспомогательный слой, на котором отображаются текстовые метки и размерные линии.

В программе предусмотрен расчет отклонения напряжения, который позволяет производить вычисления при задании определённого источника тока. Для наглядности при выборе источника тока на интерфейсе пользователя выбранный источник будет выделяться красным флажком. Для выделения объекта необходимо отметить в перечни записанного в базе данных объектов нужный. Так же этот объект будет выделен красным флажком. Если выбранный источник питания и объект имеют связь, то на интерфейсе пользователя отобразится красная линия, в противном случае появится сообщение о невозможности построить путь через указанные флаги.

Для запуска расчета необходимо выбрать пункт «Расчет отклонений». При этом запустится расчет и появится форма, показанная на рисунке 4.32.

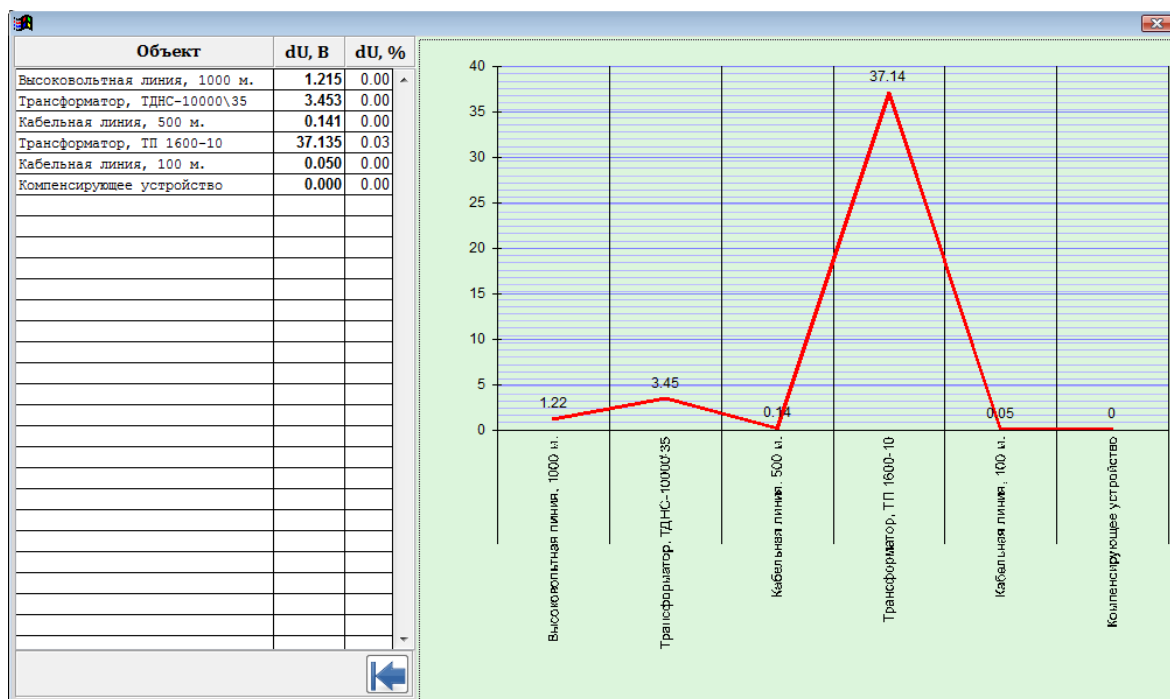


Рисунок 4.38 – Показатели отклонения напряжения

В левой части в табличном виде отобразится список объектов, по которым проводился расчет, с указанием величины отклонения напряжения. В правой части графически изображены рассчитанные величины.

4.6 Выводы по главе

- 1 Создана экспериментальная низковольтная осветительная система с повышенным КПД работы и интегрированная с солнечной панелью;
- 2 Проведено исследование работы низковольтной осветительной системы. Получено улучшение КПД работы низковольтной системы освещения близкой к теоретическому. Экспериментальный КПД составил 70%.
- 3 Разработана автоматизированная схема систем энергообеспечения автономным объектом с использованием Smart технологии;
- 4 Сделан макет управляющего устройства температуры;
- 5 Разработана программа, реализующая автоматизированное управление и контроль за вырабатываемой энергией из возобновляемых источников и потребляемой электрической энергии «Программа «ПДА-1» Диспетчеризации автоматизированного управления энергообеспечением «Умного дома»»;
- 6 Осуществлен мониторинг качества полученной электрической энергии по программе №1605 «Программа «КАЭС-1» Конструирование и качественный анализ электрических схем».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационной работы были получены следующие результаты.

По первой главе:

1 на основе анализа современного состояния генерации тепловой и электрической энергии и ВИЭ можно сделать вывод, что для реализации эффективной выработки электрической энергии в условиях Казахстана необходимо использовать солнечную энергию.

2 анализ ресурсов Казахстана по солнечной энергии показал, что в районах ВКО можно получать $1560 \text{ кВт м}^2/\text{час}$.

3 использование SMART технологий позволяет дополнительно осуществлять экономию на уровне 30-50%.

4 концепция управления интеллектуальным зданием может быть дополнительно усовершенствована путём использования автоматизированных систем управления.

На базе проведенного анализа можно выделить направления исследования, позволяющие эффективно осуществлять энергообеспечение автономного объекта:

- проведение теоретических расчётов эффективности ВИЭ;
- изучение использования солнечных батарей для низковольтной системы питания (24В) светодиодного освещения автономного объекта;
- разработка автоматизированных систем управления энергообеспечением автономного объекта;
- разработка программных средств для контроля и управления «Умным домом»;
- разработка SMART технологий для управления автономным объектом.

По второй главе:

1 разработана математическая модель, позволяющая управлять и оптимизировать работу солнечной батареи в зависимости от климатических условий и от степени освещенности;

2 продемонстрирована методика расчета баланса мощностей автономного объекта, которая позволяет эффективно использовать генерируемую энергию от источников;

3 разработана математическая модель системы энергообеспечения автономного объекта с применением солнечной панели и ветровой установки;

4 проведён расчёт низковольтной системы питания, предложена методика, позволяющая эффективно использовать выработанную солнечной панелью энергию без потерь на преобразование;

5 при создании автоматизированного управления энергообеспечением и энергопотреблением автономного объекта разработана математическая модель оптимального управления температурой.

По третьей главе:

1 показана возможность использования низковольтной системы питания для освещения автономного объекта и для заряда аккумуляторной батареи, без

потерь энергии при преобразовании от 24В постоянного тока в 220В переменного тока;

2 в результате моделирования установлено, что, что при положительном энергобалансе напряжения на АБ1 и АБ2 находятся в заданном режиме 24/220В, и при этом обеспечивается полное функционирование нагрузки. При отрицательном энергобалансе функционирование нагрузки прекращается в момент достижения допустимого значения напряжения на АБ1 и АБ2, при этом СЭО переходит в аварийный режим работы и заряжает аккумуляторы;

3 в результате анализа работы модели показано, что имитационная модель СЭО построена и функционирует в соответствии с заложенной в нее логикой работы. С помощью этой модели можно наглядно имитировать различные режимы работы СЭО;

4 в программе Simulink и Simpowersystems, входящей в состав пакета MATLAB разработана имитационная модель управления контроллером энергообеспечения автономного объекта с элементами Smart технологии. Эта модель позволяет реально отображать логику работы солнечной панели и ветровой установки;

5 разработана модель оптимального управления ощущаемой температуры в автономном объекте.

6 представленные модели легли в основу при проектировании Smart технологии контроля и управления системами энергообеспечения автономного объекта.

По четвертой главе:

1 создана экспериментальная низковольтная осветительная система с повышенным КПД работы и интегрированная с солнечной панелью;

2 проведено исследование работы низковольтной осветительной системы. Получено улучшение КПД работы низковольтной системы освещения близкой к теоретическому. Экспериментальный КПД составил 70%.

3 разработана автоматизированная схема систем энергообеспечения автономным объектом с использованием Smart технологии;

4 сделан макет управляющего устройства температуры;

5 разработана программа, реализующая автоматизированное управление и контроль за вырабатываемой энергией из возобновляемых источников и потребляемой электрической энергии «Программа «ПДА-1» Диспетчеризации автоматизированного управления энергообеспечением «Умного дома»»;

6 осуществлен мониторинг качества полученной электрической энергии по программе №1605 «Программа «КАЭС-1» Конструирование и качественный анализ электрических схем».

Основными результатами являются:

1 изучено современное состояние Smart технологий и перспективы их применения в автономном объекте;

2 проведено моделирование математической модели системы автоматизации энергообеспечения автономного объекта;

3 осуществлены исследования системы низковольтного освещения автономного объекта с использованием солнечной панели;

4 разработана модель оптимального управления нормативной температурой в автономном объекте;

5 разработан Smart центр управления автоматизированными системами энергообеспечения автономного объекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства, Послание Президента Республики Казахстан – Лидер Нации Н.А. Назарбаева народу Казахстана, г. Астана, 14.12.2012г.
- 2 «Казахстан в новой глобальной реальности: рост, реформы, развитие», Послание Президента Республики Казахстан – Лидер Нации Н.А. Назарбаева народу Казахстана, г. Астана, 30.11.2015г.
- 3 Закон Республики Казахстан «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» (Утвержден Указом Президента РК., №165-IV от 4.07.2009 г.).
- 4 Закон Республики Казахстан от 14 января 2015 года № 279-V «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам энергосбережения и повышения энергоэффективности».
- 5 Закон Республики Казахстан от 9 июля 2004 года № 588-III «Об электроэнергетике» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 21.04.2016 г.).
- 6 Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 29.03.2016 г.).
- 7 Сценарий развития направления «Безопасная, чистая и эффективная энергетика» в Казахстане до 2030 года.
- 8 Проект Стратегия «Эффективное использование энергии и возобновляемых ресурсов Республики Казахстан в целях устойчивого развития до 2024года».
- 9 Белогорьев А.М. Тренды и сценарии развития мировой энергетики в первой половине XXI века. – М: ИД «Энергия», 2011. – 68с.
- 10 Шеповалова О.В. Использование возобновляемых источников энергии в комплексных системах энергообеспечения сельских зданий // Ползуновский Вестник. – 2011. - №5. – С. 175-180.
- 11 Закон Республики Казахстан «О поддержке возобновляемых источников энергии» (Утвержден Указом Президента РК., №165-IV от 04.07.2009г.).
- 12 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: renewable 2010 global status report, 2010. – 80p.
- 13 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: renewable 2011 global status report, 2011. – 116p.
- 14 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century: renewable 2012 global status report, 2012. – 172p.
- 15 Андреева Н. Ю., Кубов В. И., Кубова Р. М., Павленко А. А. Исследование вариации солнечной радиации для оценки энергетической эффективности солнечных фотоэлектрических батарей / Научные работы, техногенная безопасность, – 2014. С. 123-133.

- 16 Геро Р., Гурков А. Мировая солнечная энергетика: переломный год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www>.
- 17 The European wind energy association. Wind in power: 2009 European statistics, February 2012. – 11p.
- 18 Бекбаев А.Б., Акпанбетов Д.Б., Байбутанов Б.К., Абдраманов Г.А. Способы утилизации избыточных мощности в автономных ветроэнергетических установках малой мощности // Вестник КазНТУ. – 2015. - № 4. – С.217-221.
- 19 Соснина Е. Н., Филатов Д. А. Выбор энергоустановок на ВИЭ для электроснабжения сельскохозяйственных предприятий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2015. – №4. С. 110-121.
- 20 Бабаханова А.М. Определение поступления солнечной радиации на территорию Казахстана // Вестник КазНТУ. – 2015. - № 4. – С.195-199
- 21 Гавриков В. До 61 Вна входе новые DC/DC – преобразователи от STMicroelectronics // Новости электроники. – 2014. - №6. – С. 37-44.
- 22 Богданов А.А. Практика применения систем управления освещением светодиодами // Светотехника. – 2012. – №3. – С. 20-28.
- 23 Piccablotto G., Aghemob C., Pellegrino A., Iacomucci P., Radis M. Study on conservation aspects using LED technology for museum lighting // 6th International Building Physics Conference, IBPC // Energy Procedia 78 (2015). – 2015. – pp. 1347-1352.
- 24 Techno-economic Analysis of LED Lighting: A Case Study in UTeM's Faculti Building // Malaysian Technical Universities Conference on Engineering & Technology 2012, MUCET 2012 Part 1 Electronic and Electrical Engineering / Procedia Engineering 53 (2013). – 2013. – pp. 208 – 216.
- 25 Fathi M, Chikouche A., Abderrazak M. Design and realization of LED Driver for solar street lighting applications // Energy Procedia 6 (2011). – 2011. – pp. 160–165.
- 26 Hung Min-Wei, Chen Chun-Jen, Chang Chun-Li, Hsu Chia-Wei. The impacts of high frequency pulse driving on the performance of LED light // ICOPEN 2011 / Physics Procedia 19 (2011). – 2011. – pp. 336–343.
- 27 Carleaa F., Teodoreanua D. I., Iancua I. Analysis of financial parameters for a combined photovoltaic/ LED intelligent lighting low voltage distributed generation // 1st International Conference 'Economic Scientific Research - Theoretical, Empirical and Practical Approaches', ESPERA 2013//Procedia Economics and Finance 8 (2014). – 2015. – pp. 113 – 121.
- 28 Пост С.С., Донцов О.А., Иванчура В.И., Краснобаев Ю.В. Имитационная модель контроллера солнечной батареи //Известия Томского политехнического университета. Техника и технологии в энергетике. – 2014. – № 4(325). – С. 111-120.
- 29 Алимгазин А.Ш., Бахтиярова С.Г. Создание демонстрационной зоны новых энергосберегающих технологий с использованием альтернативных источников теплоты на базе АО «Региональный научно-технологический парк «Алтай» // Вестник ПГУ им.С.Торайгырова, серия «Энергетика». – 2005. – №4. – С. 30-41.

30 Palombaa V., Vastaa S., Giacoppoa G., Calabreseb L., Giuseppe Gulli`a, Davide La Rosaa, Angelo Frenia. Design of an innovative graphite exchanger for adsorption heat pumps and chillers // ScienceDirect 69th Conference of the Italian Thermal Engineering Association, ATI 2014 / Energy Procedia 81 (2015). – 2015. – pp. 1030 – 1040.

31 Claudia N., Dongellinia M., Morinia G. L. Climate influence on seasonal performances of air-to-water heat pumps for heating // 69th Conference of the Italian Thermal Engineering Association, ATI 2014 / Energy Procedia 81 (2015). – 2015. – pp. 100 – 107.

32 Laukaa D., Guscaa J., Blumbergaa D. Heat Pumps Integration Trends in District Heating Networks of the Baltic States // The 5th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT 2015) / Procedia Computer Science 52 (2015). – 2015. – pp. 835 – 842

33 Kandler C., Wimmera P., HonoldaJ. Predictive control and regulation strategies of air-to-water heat pumps // 6th International Building / Physics Conference, IBPC 2015 Energy Procedia 78 (2015). – 2015. – pp. 2088 – 2093

34 РД 52.04.275-89 «Методические указания. Проведения изыскательных работ по оценке ветроэнергетических ресурсов для обоснования схем размещения и проектирования ветроэнергетических установок»

35 Безруких П.П., Безруких П.П. (младший). Ветроэнергетика вымыслы и факты. Ответы на 100 вопросов - М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты РФ/Центр экологической политики России, 2011. – 74 с.

36 Аналитический доклад по результатам выполнения первого этапа НИР по теме «Актуализация долгосрочного прогноза важнейших направлений научно-технологического развития на период до 2030 года», Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва 2011.

37 Global Energy Network Institute(GENI)<http://www.geni.org/>

38 Лебедь В.Г., Калкаманов А.С. Метод аэродинамического расчета ветроэнергетических установок с концентратором воздушного потока // Авиационно – космическая техника и технология. – 2012. м №5(92). – С. 31-42.

39Боженко А. Л., Зюляев Д. Д., Козуб С. В., Кубов В. И. Опыт регистрации параметров ветра в цифровой системе измерения параметров внешней среды// Научные работы, техногенная безопасность, – 2014. С. 22-32.

40 Пивняк Г.Г., Бешта А.С. Оптимизация энергетического баланса ветрогенератора // Теоретические вопросыавтоматизированного электропривода. – 2010. – С. 52-54.

41 Игнатьев С.Г. Развитие методов оценки ветроэнергетического потенциала расчет годовой производительности ветроустановок // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». – 2010. – №10(09). – С. 49-72.

42 Zendehbad M., Chokani N., Abhari R.S. Impact of forested fetch on energy yield and maintenance of wind turbines // Renewable Energy (Volume 96, Part A) October 2016. – pp. 548-558.

43 Болотов А. В. «Ветроэнергетика автономная», системная, масштабы, инновации // Журнал «Вестник энергетика союза инженеров – энергетиков Республики Казахстан». – 2012. – № 4(43). – С. 30-35.

44 Jerson R.P. Vaz, David H. Wood. Performance analysis of wind turbines at low tip-speed ratio using the Betz-Goldstein model // Energy Conversion and Management, Volume 126, 15 October 2016. – pp. 662-672.

45 Спицын В. С., Спицын В.В. Алгоритмы управления температурой в помещениях // Вестник ЮУрГУ. – 2012. № 35. – С. 80-84.

46 Abdeddaim S., Betka A. Optimal Tracking and Robust Power Control of the DFIG Wind Turbine // International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 49. – 2013. – pp. 234-242.

47 Бганцев В.Н. Некоторые особенности приготовления экспериментальных образцов смесевых биодизельных топлив на основе отходов масложирового производства и дизельного топлива // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №2. – С. 126-128.

48 Вохмин В. С., Линкевич А. С., Касаткин В. В., Литвинюк Н. Ю. Разработка технологической линии утилизации биомасс животного и растительного происхождения // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – №73(09). – С. 2-10.

49 Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е., Холмаков А.А., Гладиков И.А., Шастин А.Г. Технологические аспекты повышения эффективности использования энергетического потенциала биомассы России // Энергия биомассы. – 2012. – №2. – С. 3-8.

50 Чернова Н.И., Коробкова Т.П., Киселева С.В. Биомасса как источник энергии // Вестник Российской академии естественных наук. – 2010. – №1. – С. 54-60.

51 Крайнов Ю.Е., Вандышева М.С. Технологии получения биогаза из отходов и сырья в сельскохозяйственном производстве // Научный вестник ТДАТУ. – 2012. - №2. – Том 4. – С. 127-130.

52 Сахова Г.Н. Использование методов иммобилизации микроорганизмов для повышения эффективности переработки биомассы на основе отходов сельского хозяйства для получения биогаза, белково – витаминного концентрата и биоудобрений // Сборник материалов IX Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2014». – 2014. – С.3721-3724.

53 Беляков П.Ю. О роли биоэнергетики в энергосбережении // Региональная экономика и управление. – 2010. – №3. – С. 6-15.

54 ГОСТ 31343-2007. Машины и оборудование для переработки и обеззараживания жидкого навоза. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ. 2008. – 28 с.

55 Renewables 2015 Global Status Report REN 21's, Annual Reporting on Renewables: Ten years of excellence, – 2015. – p. 251.

56 Renewables 2016 Global Status Report REN 21's: Renewables Interactive Map for country specific data, – 2016. – p. 272.

57 Francisco J. Aguilera, Pedro V. Quilesa, Simón Aledob. Operation and energy efficiency of a hybrid air conditioner simultaneously connected to the grid and to photovoltaic panels // SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industr / Energy Procedia 48 (2014). – 2014. – pp. 768-777.

58 Токмолдин С.Ж. Развитие солнечной фотоэнергетики в Республике Казахстан // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №1. – С. 43-51.

59 Дырчева М.Б, Уразов К.А., Кенжалиев Б.К., Бейсембаева Г.Ж. Тонкопленочные фотоэлементы на основе халькогенидов // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №1. – С. 52-54.

60 Дворников В.А., Джиенбаев Н.Н. Состояние и перспективы использования фотоэлектрических станций в Казахстане // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №2. – С. 33-35.

61 Джиенбаев Н.Н. Опыт инсталляции солнечной энергетики на территории Казахстана // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №1. – С. 55.

62 Нестеренков А.Г., Нестеренков В.А., Абдуллаев К.А., Магомедов Р.М. Солнечная электростанция // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №3. – С. 32-36.

63 Болотов А.В. Болотов С.А. К программе развития ветроэнергетики Республики Казахстан, энергетические системы электроснабжения автономных объектов // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №4. – С. 36-38.

64 Жильцов В.Г. Потенциал возобновляемой электрической энергии Казахстана и Центральноазиатских государств для возможности создания энергетического рынка // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №2. – С. 54-60.

65. Ахтямов В., Жильцов В. Энергосбережение, экология и возобновляемая энергетика в Казахстане: реальность и перспективы. Краткий обзор состояния мировой экономики и энергетики потенциал солнечной и ветровой энергии // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №2. – С. 45-49.

66 Жильцов В.Г. Ветровой атлас Казахстана и перспективы использования ветровой энергетивив // – 2010. – №2. – С. 66-77.

67 Болотов А. В. «Ветроэнергетика автономная», системная, масштабы, инновации // Журнал «Вестник энергетика союза инженеров – энергетиков Республики Казахстан». – 2012. – № 4(43). – С. 29-35.

68 Ветроэнергетика в Казахстане (архив проекта ПРООН/ГЕФ). База данных по ветропотенциалу. <http://www.windenergy.kz>.

69 Трофимов А.С. Развитие ВИЭ в Казахстане строительство ВЭС в Байдики – 1 // Энергетика и топливные ресурсы. – 2010. – №1. – С. 56-59.

70 Болотов А. В. Энергосбережения: стратегия тактика и технологии // Журнал «Вестник национальной инженерной академии Республики Казахстан». – 2014. – №2.(52). – С. 33-39.

71 Болотов А. В. Одним из приоритетных направлений развития электроэнергетики и решения экологических проблем Казахстана является использование возобновляемых энергетических ресурсов // Журнал «Вестник энергетика союза инженеров – энергетиков Республики Казахстан». – 2012. – №3(42). – С. 30-36.

72 Алхасов, А.Б. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие М.: МЭИ. – 2011. – 272с.

73 Концепция долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2025 года», Минобрнауки РФ, М.: 2006.

74 Современные проблемы электроэнергетики: Конспект лекций для магистрантов профильного направления специальности 6М071800-Электроэнергетика-А.В.Болотов Алматы: АУЭС, 2010.-36с.

75 Нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии: Учебное пособие А.В. Болотов. АУЭС. Алматы, 2011.– 35 с.

76 План действий по развитию альтернативных и возобновляемых источников энергии в Республике Казахстане в 2013-2020 г.г., Самрук-зеленый.

77 Квасов И.А. Формирование системы SMART управления в распределенной энергетике // Интернет-журнал «Науковедение» Том 8. – 2016. - №2. – С. 1-8.

78 Sicari S., Rizzardi A., Miorandi D., Cappiello C., Coen-Porisini A. Security policy enforcement for networked smart objects // Computer Networks Volume 108, 24 October 2016. – p. 133-147.

79 Carolina Teixeira Nicolaua, Reinaldo C. Souza, Mauricio N. Frota. The profession/ occupation field model as an activity theoretical framework for the development of engineers in the context of the Smart City approach // Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2015) / Procedia Computer Science 55 (2015). – 2015. – pp. 278 - 287.

80 Andrey A. Volkova, Luiza V. Sukneva BIM-Technology in Tasks of the Designing Complex Systems of Alternative Energy Supply // XXIII R-S-P seminar, Theoretical Foundation of Civil Engineering (23RSP) (TFoCE 2014) Procedia Engineering 91. – 2014. – pp. 377 - 380.

81 András Kovács, Roland Bátai, Balázs Csanád Csáji, Péter Dudás, Borbála Háty, Gianfranco Pedone, Tibor Révész, József Váncza Intelligent control for energy-positive street lighting // Energy. November. – 2016. – pp. 40–51.

82 Manuel Peña, Félix Biscarri, Juan Ignacio Guerrero, Iñigo Monedero, Carlos León Rule-based system to detect energy efficiency anomalies in smart buildings, a data mining approach // Expert Systems with Applications. September. – 2016. – pp. 242–255.

83 Hoong Yan See Taoa , Ahmed Bahabrya, Robert Cloutier. Customer Centricity in the Smart Grid Model // 2015 Conference on Systems Engineering Research / Procedia Computer Science 44 (2015) 115 – 124

84 Govinda K. Design of Smart Meter using Atmel 89S52 Microcontroller // Smart Grid Technologies / Procedia Technology 21 (2015) 376 – 380, August 6-8, 2015

85R. Melicio, V.M.F. Mendes, J. Martins, J.C. Quadrado, R. Melicio, V.M.F. Mendes, J. Martins, J.C. Quadrado Consumer energy management system with integration of smart meters // *Energy Reports* 1. – 2015. – pp. 22–29.

86 Alontseva E.N., Belousov P.A. Flexible distributed control and protection system for industrial objects – Consumers of electric power // *Nuclear Energy and Technology* 1. – 2015. – pp. 233–236.

87 Fabio Favoino, Mauro Overend, Qian Jin. The optimal thermo-optical properties and energy saving potential of adaptive glazing technologies // *Applied Energy* 156. – 2015. – pp. 1–15.

88 Ramakrishna Kappagantua, S. Arul Daniela, M. Venkatesh. Analysis of Rooftop Solar PV System Implementation Barrier in Puducherry Smart Grid Pilot Project // *Smart grid Technologies / Procedia Technology* 21. – 2015. – pp. 490 – 497.

89 Miroslav Behan, Ondrej Krejcar. Vision of Smart Home Point Solution as Sustainable Intelligent House Concept // 12th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems The International Federation of Automatic Control September 25-27. Czech Republic IFAC. – 2013. – pp. 383-387.

90 C.J.J. Paredis, C. Bishop, D. Bodner, Georgia. An Intelligent Controller for the Smart Grid // Conference on Systems Engineering Research (CSER'13) Eds.: Institute of Technology, Atlanta, GA, March 19-22, 2013 / *Procedia Computer Science*. – 2013. – pp. 776 – 785.

91 Pavle Skocir, Petar Krivic, Matea Tomelj, Mario Kusek, Gordan Jezic Activity detection in smart home environment // 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems *Procedia Computer Science* 96. – 2016. – pp. 672 – 681.

92 Qiang Suna, Xubo Gea, Lin Liua, Xin Xub, Yibin Zhanga, Ruixin Niuc, Yuan. Review of Smart Grid Comprehensive Assessment Systems // *Energy Procedia ICSGCE* 2011. – 2011. – pp. 219 – 229.

93 Jalpa Shaha, Biswajit Mishra Customized IoT enabled Wireless Sensing and Monitoring Platform for Smart Buildings // 3rd International Conference on Innovations in Automation and Mechatronics Engineering, ICIAME 2016 / *Procedia Technology* 23. – 2016. – pp. 256 – 263.

94 Suleimenov B. A., Sugurova L.A., Suleimenov A. B. Intelligent and Hybrid Systems of Process Control: Theory, Methods, Applications // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. – 2015. January -Vol 6, No 2

95 Сулейменов Б.А., Мутанов Г.М., Сулейменов А.Б. Интеллектуальные системы управления: теория, методы, средства – Алматы: Казак университеті. – 2012. – 223с.

97 Титов А.Р., Коркушев Д.Н., Широков А.В.. Разработка и внедрение интеллектуальной системы диагностики мощных силовых трансформаторов. – Казань: Сетевая компания. – 2006. – 138 с.

98 Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. – М.: Горячая линия-Телеком. 2010. – 354 с.

99 Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. - СПб.: Питер, 2000. - 348 с.

- 100 Yee Wei Law, Hemanshu R. Pota, Jiong Jin, Zhihong Man, Marimuthu Palaniswami. Control and Communication Techniques for the Smart Grid: An Energy Efficiency Proceedings of the 19th World Congress // The International Federation of Automatic Control Cape Town, (IFAC). August 24-29. – 2014. – pp. 987-998.
- 101 Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – 4-е изд., перераб. И доп. – СПб.: Профессия, 2003.
- 102 Красновский А.А. и др. Современная прикладная теория управления: Оптимизационный подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. Ч.1. – Таганрок: Изд-во ТРТУ, 2000. – 400с.
- 103 Муханов Б.К., Еренчинов К.К., Базил Г.Д. К вопросу выбора критериев эффективности систем управления теплоснабжением. // Вестник автоматизации, – 2015. – №1(47). – С. 20-22.
- 104 Телегин В.В. Системы автономного энергоснабжения на базе технологий альтернативной энергетики // Журнал Электрика. – 2012. – №2. – С. 17-20.
- 105 Шпиганович А.Н. Энергоснабжение с использованием автономных источников на базе технологий альтернативной энергетики // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2011. – №4. – С. 16-21.
- 106 Романенко А.С., Кобзев А.Б., Семенов В.Д. Энергобаланс в автономной системе электроснабжения с регулятором мощности на основе матричного преобразования тока солнечной батареи // ТУСУР. – 2013. – №4. – С. 115-119.
- 107 Худяков В. Школа MatLab // Силовая электроника. – 2005. – №2. – С. 80-88.
- 108 Гололобов В. Н. «Умный дом» своими руками.–М.: НТ Пресс. – 2007. – 414 с.
- 109 ХаркеВ.«Умный дом». Объединение в сеть бытовой техники и системы коммуникаций в жилищном строительстве. – Техносфера. – 2006. –288 с.
- 110 Сопер М. Э. Практические советы и решения по созданию «Умного дома». – НТ Пресс. – 2007. – 432 с.
- 111 Кашкаров А. П.Электронные схемы для «Умного дома» // НТ Пресс,. – 2007. – 256 с.
- 112 Богданов С. В. «Умный дом» // Наука и техника. – 2005. – 208 с.
- 113 Тесля Е. «Умный дом» своими руками //Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире – Санкт-Петербург. – 2008. – 224 с
- 114 Дерачиц А.И. Управление системой слежения за солнцем для мобильных солнечных энергетических установок // Информационные управляющие системы и компьютерный мониторинг(ИУС КМ 2013). – 2013. – С. 528-532.
- 115 Саврасов Ф.В.Варианты построения автономных систем электроснабжения с использованием фотоэлектрических устройств и алгоритмы их работы // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – №6. – С. 1-13.

- 116 Коберси И.С., Фиров Н.А., Сахно Д.А. Разработка контроллера заряда – разряда для ветроэнергетических систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – С. 248-253.
- 117 Колосов Р.В., Пученкин А.В., Титов В.В., Титов В.Г. Возобновляемые источники энергии в системах мало генерации// Электротехника и электроэнергетика. – 2013. – №3. – С. 207-211.
- 118 Грахов Ю.В., Кривоспицкий В.П., Мартьянов А.С., Матвеев О.В., Соломин Е.В. Программно – математическая модель ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения // Вестник Российской академии естественных наук. – 2009. – №1. – С. 64-69.
- 119 Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. – 1983. – 360 с.
- 120 Расчет ресурсов солнечной энергетики / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, С. В. Кривенкова, В.А. Кузнецова, Н. К. Малинин; под.ред. В. И. Виссарионова. – М. : Изд-во МЭИ, 1998. – 61с.
- 121 Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы. Теория и эксперимент / И.П. Гаврилова, А.С. Даревская: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. – 1987. – 280 с.
- 122 Твайделл, Дж. Возобновляемые источники энергии: научное издание / Дж. Твайделл, А. Уэйр; пер. с англ. В. А. Коробков, – М. : Энергоатом-издат, 1990. – 392 с.
- 123 Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / И.П. Гаврилова: пер. с англ. – М.: Мир. – 1986. – 435 с.
- 124 Харитонов, В.П. Автономные ветроэлектрические установки / В.П. Харитонов. – М: ГНУ ВИЭСХ. – 2006. – 280 с.
- 125 СНиП РК 2.04-01-2001 «Строительные нормы и правила. Строительная климатология».
- 126 СНиП РК 4.02-05-2006 «Отопление, вентиляция и кондиционирование»;
- 127 СНиП РК2.04.05-2002 «Естественное и искусственное освещение»;
- 128 Телегин, В. В. Баланс мощности в системе электроснабжения потребителей с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам международной заочной научно практической конференции Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – 2013. – № 1 (1). – С.141-144.
- 130 ZhaparovaA.,KvasovA., GyorokG.Autonomous light-emitting-diode (LED) low voltage systems of lighting integrated into “smart home”// 9th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas «New Faculty, New Ability!» (AIS-2014)». – Szekesfehervar. Hungary. 2014. - pp. 102-106/
- 131 Панферов В.И., Панферов С.В. Автоматизированный контроль и анализ теплового режима здания химического факультета ЮУРГУ // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. № 14 (190). 2010. – С. 29-34.

132 Анисимова Е.Ю. «Оптимизация температурных режимов общественно-административных и производственных зданий».г. Челябинск 2008. – 171 с.

133 Жапарова А.Т., Квасов А.И, Титов Д.Н. Исследования эффективности включения светодиодных осветительных приборов и использование низковольтной системы питания // Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева. – Усть-Каменогорск. 2015.–№2. – С.45-53.

134 138 Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystem и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс; СПб. : Питер, 2008. – 288 с.

135 Жапарова А.Т., Квасов А.И, Бакланов А.Е. Методика обеспечения заданных режимов работы системы питания с использованием солнечной батареи как элемент Smart технологий // Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева. – Усть-Каменогорск.2016.–№2. – С.83-88.

136 A. Zhaparova, A. Baklanov, D. Titov, G. Gyorok.Study of the Effectiveness of Switching-on LED Illumination Devices and the Use of Low Voltage System in Lighting // Journal of Applied Sciences Acta Polytechnica Hungarica. – Budapest. Volume 12. – 2015. IssueNumber 5. pp 71-80.

137 ПостС.С., ИванчураВ.И., КраснобаевЮ.В., ДонцовО.А. Электромеханическиепреобразователиэнергии (ЭПЭ – 2013).Выпуск 6.Томск. Россия. – 2013. – С.

138 Жапарова А.Т.,Квасов А.И., Бакланов А.Е. Методика обеспечения заданных режимов работы системы питания с использованием солнечной батареи как элемент Smart технологий // Вестник ВКГТУ им. Д.Серикбаева. – Усть-Каменогорск. – 2016.–№2. – С.83-88.

139 Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений – М.: Изд-во «Мир», 1976. – 167с.

140 Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. – М.: Энергоиздат, 1982. – 288с.

141 Ю.И. Ребрин «Управление качеством Учебное пособие» Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004г. – 174 с.

142 Морозова О.В., Романова Е.В., Корнев В.А. Моделирование бизнес-процессов сложных организационно - технических систем // Монография. М.: Изд-во МЭСИ. – 2015. – 244 с.

143 Леванова Л.Н. Основы эконометрики // Эконометрика. Саратов. – 2003. – 34 с.

144 Жапарова А.Т., Квасов И.А., Бакланов А.Е., Приходько М.Е. «Программа «КАЭС-1» Конструирование и качественный анализ электрических схем» // Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права, Комитет по правам интеллектуальной собственности №1605 от 22.10.10.

145 Руководство по работе с GX IEC Developer, 2008. – 295 с.

146 Жапарова А.Т., Бакланов А.Е., Квасов И.А. Исследования показателей качества электрической энергии и автоматическое управление параметрами

электрической схемы // Вестник КазННТУ. – Алматы. – 2016. – №3 (115). – С.461-467.

147 Сайт «Energy media» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eenergy.media/2017/01/03/chistaya-energetika-2017-kak-energiya-solntsa-stala-deshevle-uglya/>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационного исследования Жапаровой А.Т. в производство

Мы, представители филиала АО «KEGOC» «Восточные МЭС», настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Жапаровой А.Т. на тему «Smart технологии контроля и управления системами энергообеспечения автономного объекта» были внедрены в «Службе испытаний и диагностики», улица Рабочая 27.

Для оптимизации и повышения эффективности работы системы освещения, внедрена в производство разработанная Жапаровой А.Т. методика позволяющая использовать низковольтную систему питания в системе светодиодного освещения. Данная модель адекватно отображает логику работы реального контроллера солнечной батареей, что позволяет использовать данную модель при проектировании автономных систем энергообеспечения.

Результаты внедрения и эксплуатации подтвердили работоспособность и эффективность программы. Полученные результаты диссертационной работы позволили внедрить низковольтную систему светодиодного освещения в административных зданиях в качестве эксперимента. Энергоэффективность разработанной системы питания позволяет сделать рекомендации к внедрению такой системы в промышленные и административные здания.

1. Вид внедрения результатов: программа для ЭВМ, управление системой объектами электрической схемы и диспетчеризации автоматизированного управления энергообеспечением автономного объекта.

2. Область и форма внедрения: научные исследования.

3. Публикации по материалам диссертационного исследования: по материалам диссертационного исследования опубликовано 14 работ, т.ч. 6 статей в научных журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки РК, 6 докладов на международных научных конференциях и 2 публикации проиндексированы в наукометрической базе Scopus (Elsevier).

4. Ожидаемый эффект от внедрения: повышение эффективности освещения за счет внедрения низковольтной системы.

Начальник службы
испытаний и диагностики

A blue ink signature, likely belonging to A.G. Fafengut, is written over the text of the official stamp.

А.Г. Фафенгут

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Утверждаю
Директор
ТОО «ОБЛГРАДПРОЕКТ»
Темеков А.О.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационного исследования Жапаровой А.Т. в производство

Мы, представители ТОО «ОБЛГРАДПРОЕКТ», настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Жапаровой А.Т. на тему «Smart технологии контроля и управления системами энергообеспечения автономного объекта» были внедрены в проект по строительству автономного объекта «Комплексе малоэтажных жилых домов, многоквартирных жилых комплексов со встроенными помещениями и паркингами, детским садом, школой и спортивным центром, в районе пересечения улиц Керей Жанибек хандар, №26, 37, 38».

Для оптимизации и повышения эффективности в проектирование автономных объектов внедрена в проект «Комплексе малоэтажных жилых домов, многоквартирных жилых комплексов со встроенными помещениями и паркингами, детским садом, школой и спортивным центром, в районе пересечения улиц Керей Жанибек хандар, №26, 37, 38» разработанная Жапаровой А.Т. методика позволяющая осуществлять управление системой по объектам электрической схемы, производить расчет и выполнять другие действия. Данная методика использует информационную модель, основанную на автоматизации системы управления электрической энергии. Данная модель адекватно отображает логику работы реального контроллера подсистемами объекта, что позволяет использовать данную модель при проектировании автономных систем энергообеспечения.

Результаты внедрения и эксплуатации подтвердили работоспособность и эффективность программы.

1. Вид внедрения результатов: программа для ЭВМ, диспетчеризации автоматизированного управления энергообеспечением «Умного дома».

2. Область и форма внедрения: научные исследования.

3. Публикации по материалам диссертационного исследования: по материалам диссертационного исследования опубликовано 14 работ, т.ч. 6 статей в научных журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки РК, 6 докладов на международных научных конференциях. 2 публикаций проиндексированы в наукометрической базе Scopus (Elsevier) и «Программа «ПДА-1» диспетчеризации автоматизированного управления энергообеспечением «Умного дома» №2396 от 17 ноября 2016г.

4. Ожидаемый эффект от внедрения: повышение эффективности управления и контроля энергообеспечением автономного объекта с использованием Smart технологий.

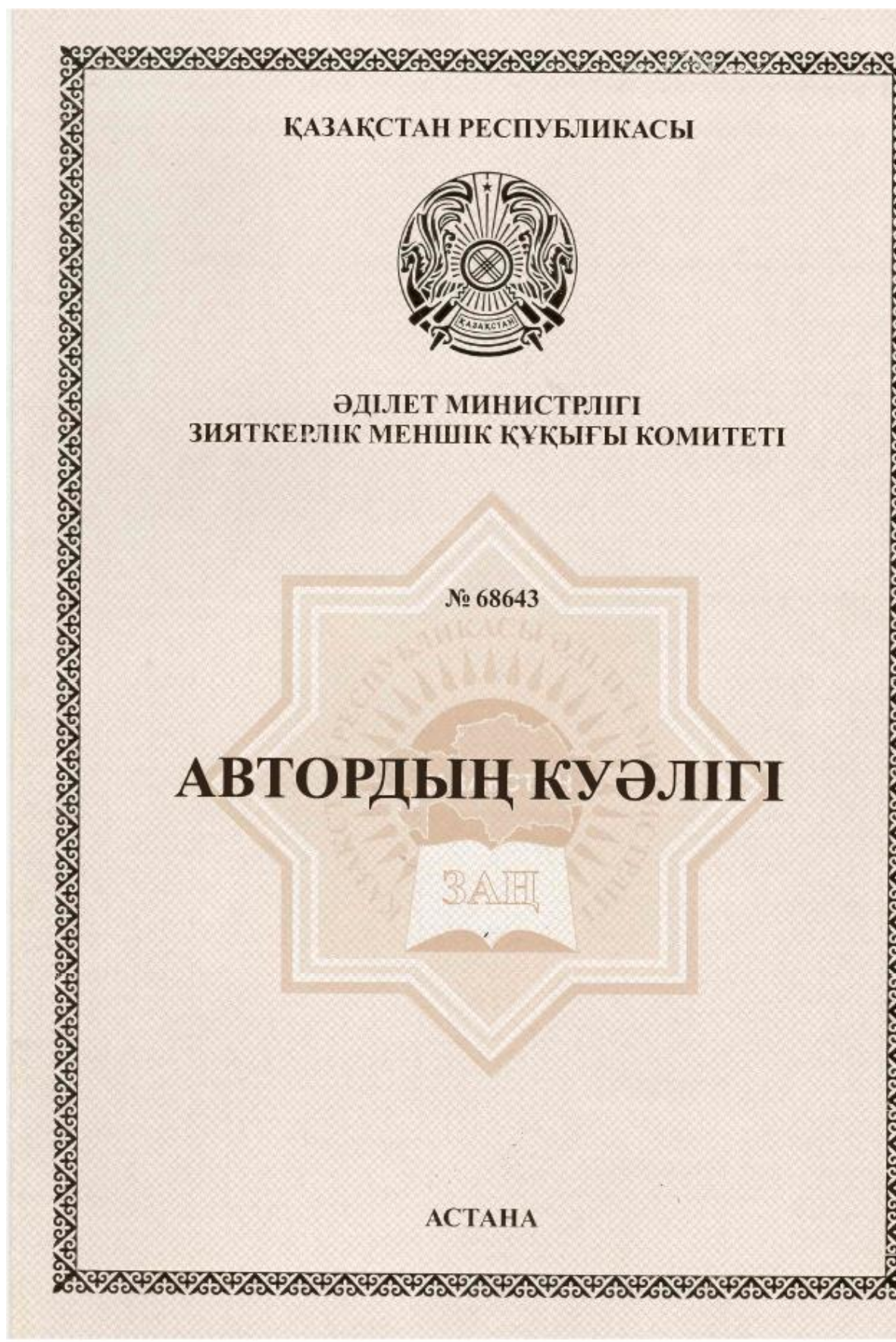
Главный инженер проекта

Ведущий инженер-энергетик

Руденко Ю.А.

Анищенко Н.Е.

ПРИЛОЖЕНИЕ В



Авторлық құқық объектісіне құқықтарды
мемлекеттік тіркеу туралы

ҚҰӘЛІК

№ 1605 _____ 22 қазан 2010 ж.

Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінің
Зияткерлік меншік құқығы комитетінде өздерінің жазбаша
өтініші бойынша авторлары Айжан Төлеубековна
Жапарова, Андрей Иванович Квасов, Александр
Евгеньевич Бакланов, Михаил Геннадьевич Приходько
болып саналатын «Программа
Конструирование и качественный анализ
электрических схем» деп аталған (ЭЭМ-ға арналған
бағдарлама) зияткерлік меншік объектісі тіркелгенін осы
құәлік растайды.

Авторлардың өтініші бойынша 2010 жылғы
25 мамырда туындаған нысан мен зияткерлік меншіктің
айрықша (мүлктік) құқығы тек қана
А.Т. Жапарованың, А.И. Квасовтың,
А.Е. Баклановтың, М.Г. Приходьконың иеліктеріне
жатады және авторлар жоғарыда көрсетілген объектіні
жасаған кезде басқа адамдардың зияткерлік меншік құқығы
бұзылмағандығына кепілдік береді.

Зияткерлік меншік құқығы комитетінің тізбесінде
2010 жылғы 22 қазандағы № 1605 жазба бар.

Торайым _____ Л. Стамбекова



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации прав
на объект авторского права

№ 1605 _____ 22 октября 2010 г.

Настоящим удостоверяется, что в Комитете по правам
интеллектуальной собственности Министерства юстиции
Республики Казахстан зарегистрирован объект
интеллектуальной собственности под названием
«Программа «КАЭС-1» Конструирование и качественный
анализ электрических схем» (программа для ЭВМ)
авторами которого по собственному заявлению являются
Жапарова Айжан Төлеубековна, Квасов Андрей
Иванович, Бакланов Александр Евгеньевич, Приходько
Михаил Геннадьевич.

По заявлению авторов исключительные
(имущественные) права интеллектуальной собственности и
объект, созданный 25 мая 2010 года, принадлежат
Жапаровой А.Т., Квасову А.И., Бакланову А.Е.,
Приходько М.Г. и авторы гарантируют, что при создании
вышеуказанного объекта не были нарушены права
интеллектуальной собственности других лиц.

Запись в реестре Комитета по правам интеллектуальной
собственности за № 1605 от 22 октября 2010 года имеется.

Председатель _____ Л. Стамбекова



ИС 0005732

Авторлық құқық объектісіне құқықтарды
мемлекеттік тіркесу туралы

ҚУӘЛІК

№ 2498 17 қараша 2016 ж.

Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінде
авторлардың өңлеші болып авторларды
Айжан Толқубековна Жапарова, Андрей Иванович
Квасов, Александр Евгеньевич Бакланов болып
тобылғын авторлық құқықпен қорғалатын объектіне
айрықша мүлктік құқықтар «Программа «ШДА-1»
диспетчеризация автоматизированного управления
энергоснабжением «Умного дома» (ЭДУМ-ге
арналған бағдарлама) аянуымен тіркелгендігі
қуәландырылады.

Авторлардың өтініші бойынша авторлық құқықпен
қорғалатын объектіне айрықша мүлктік құқықтар жазі
2016 жылғы 1 тамызда жасалған объекті
А.Т. Жапароваға, А.И. Квасовқа, А.Г. Баклановқа
тиесілі және авторлар жағында қорғалатын объектіні
жасалған кезде басқа адамдардың заңсыздық меншік
құқығы бұзылғандығына кепілдік береді.

Тізілімде 2016 жылғы 17 қарашада жасалған
№ 2498 жазба бар.

Министрдің орынбасары Э.А.Иманов

СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации право
на объект авторского права

№ 2398 17 ноября 2016 г.

Настоящим удостоверяется, что в Министерстве
Юстиции Республики Казахстан зарегистрированы
исключительные имущественные права на объект
авторского права под названием «Программа «ШДА-1»
диспетчеризация автоматизированного управления
энергоснабжением «Умного дома» (программа для
ЭДУМ), авторами которого по заявлению авторов
являются Жапарова Айжан Толқубековна, Квасов
Андрей Иванович, Бакланов Александр Евгеньевич.

По заявлению авторов исключительные
имущественные права на объект авторского права,
созданный 1 августа 2016 года, принадлежат
Жапаровой А.Т., Квасову А.И., Бакланову А.Г. и
являются таковыми, что при создании вышеуказанного
объекта не были нарушены права интеллектуальной
собственности других лиц.

Запись в реестре за № 2398 от 17 ноября
2016 года имеется.

Заместитель министра Э.А.Иманов

СВИДЕТЕЛЬСТВО
ИС: 006563

ПРИЛОЖЕНИЕ Е



СОГЛАСОВАНО:

Проректор по ИиМС

О.Д. Гавриленко

20 16 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по С и ХД

Н.Т. Мещанов

« 12 » 12 20 16 г.

А К Т ВНЕДРЕНИЯ результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ВКГТУ им. Д. Серикбаева,

в лице проректора по ИиМС Гавриленко Олега Дмитриевича

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы (Низковольтная система питания освещения) использованы для освещения автономного объекта «Юрта».

Выполнено докторантом группы 13-DAY-3 Жапаровой Айжан Толеубековной, кафедра «ПиАТП»

Сроки выполнения 2014 - 2015гг.

Внедрены: в ВКГТУ им. Д. Серикбаева

1. Вид внедренных результатов: низковольтная система питания освещения была использована для освещения Юрты на празднике Наурыз в 2014 и 2015гг. Работа Низковольтной системы питания освещения осуществлялась с использованием солнечных гибких элементов. В результате использования можно сделать вывод, что данная система может обеспечить автономную работу объекта (юрты) площадью 60м². Время работы системы питания с использованием солнечных батарей составило 7 суток, при этом от выработанной энергии на освещение тратилось только 10%.

2. Характеристика масштаба внедрения: единичное

3. Форма внедрения: опытный образец

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ: качественно новый

5. Внедрены:

- в промышленное производство: нет

- в проектные работы: нет

6. Социальный и научно-технический эффект: осуществлено обеспечение электрической энергией автономного объекта, позволившего сэкономить до 1кВт/час. В частности, при работе «Юрты» в течение 7 суток экономия составила 56кВт.

от ВУЗа

Руководитель
УНИР и ИД

Т.А. Сегеда

от исполнителя

зав кафедрой «ПиАТП»

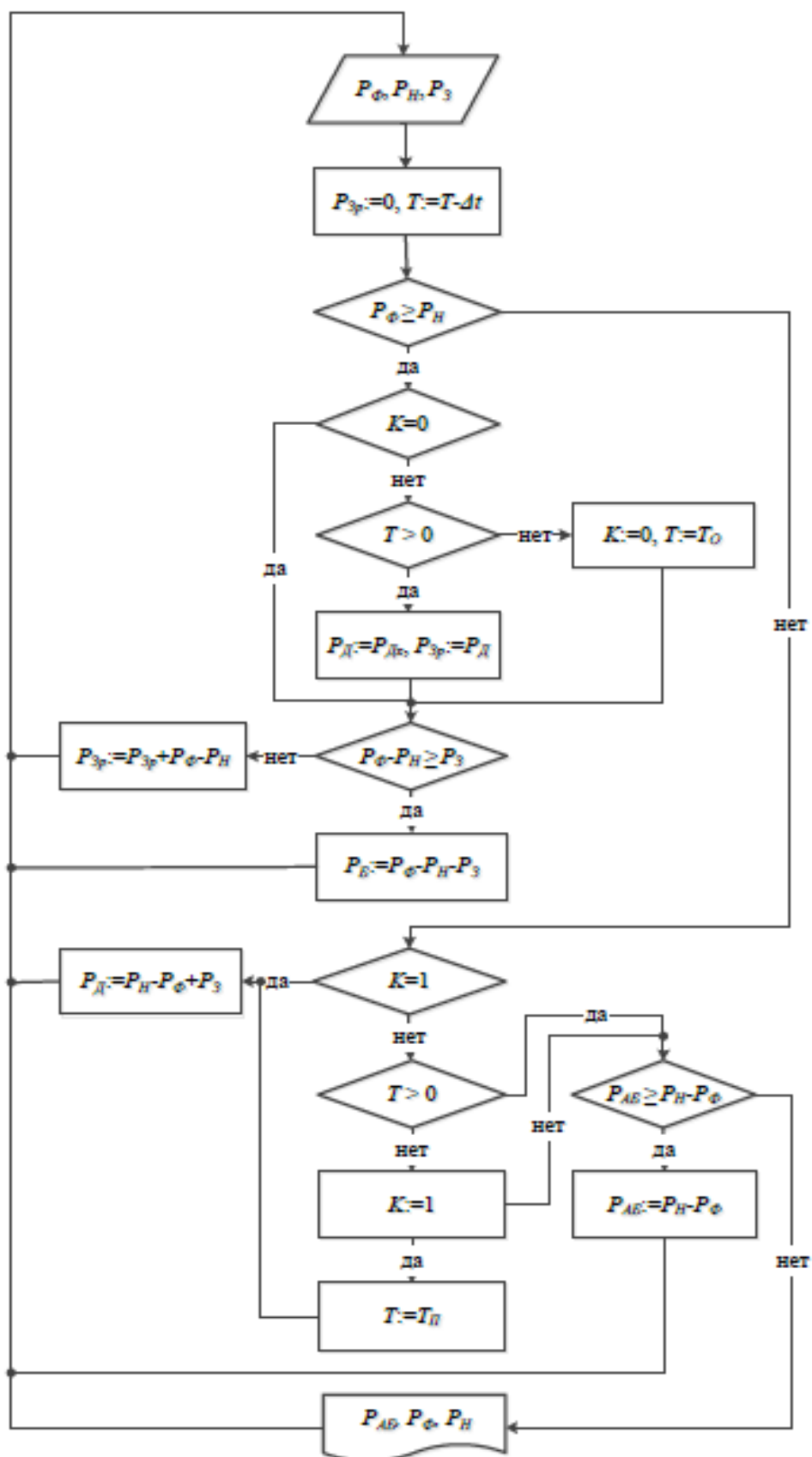
А.Е. Бакланов

докторант группы 13-DAY-3

А.Т. Жапарова

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Алгоритм управления работы солнечной батареи



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

		Действующая (эффе́ктивная, ощущаемая) температура в оС																	
Температура воздуха (оС)		Относительная влажность воздуха, %																	
		0	10	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
18	15,5	15,75	16	16,25	16,5	16,75	17	17,25	17,5	17,75	18	18,25	18,5	18,75	19	19,25	19,5	19,75	20
19	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,25	24,75
20	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,25	24,75	25,25	25,75
21	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,25	24,75	25,25	25,75	26,25	26,75
22	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,25	24,75	25,25	25,75	26,25	26,75	27,25	27,75
23	19,75	20,25	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,25	24,75	25,25	25,75	26,25	26,75	27,25	27,75	28,25	28,75
24	20,5	21	22	22,5	23	23,5	24	24,25	24,75	25,25	25,75	26,25	26,75	27,25	27,75	28,25	28,75	29,25	29,75
25	21,5	22	23	23,5	24	24,25	24,75	25,25	25,75	26,25	26,75	27,25	27,75	28,25	28,75	29,25	29,75	30,25	30,75
26	22,25	23	24	24,5	25	25,25	25,75	26,25	26,75	27,25	27,75	28,25	28,75	29,25	29,75	30,25	30,75	31,25	31,75
27	23	24	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	32	32,5	33
28	24	25	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	32	32,5	33	33,5	34
29	24,75	25,25	25,75	26,25	26,75	27,25	27,75	28,25	28,75	29,25	29,75	30,25	30,75	31,25	31,75	32,25	32,75	33,25	33,75
30	25,5	26,5	28	29	29,5	30	31	31,5	32	32,5	33	33,5	34	34,5	35	35,5	36	36,5	37
31	26,75	28	29,25	30,75	31,25	32	33	33,75	34,5	35,25	36	36,75	37,5	38,25	39	39,75	40,5	41,25	42
32	28	29,5	30,5	32,5	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
33	29	30,5	31,5	33,5	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
34	29,75	31,25	32,75	34,75	36,25	37,5	39	40,25	42	43,5	45	46,75	48,25	49,75	51,25	52,75	54,25	55,75	57,25
35	30,5	32	34	36	38,5	40	42	43,5	46	48,5	51	53,5	56	58,5	61,5	64,5	67,5	70,5	73,5
36	31,5	33	35	37	39,5	41	43	44,5	47	49,5	52	54,5	57,5	60,5	63,5	66,5	69,5	72,5	75,5
37	32,25	34	36	38,5	40,75	42,25	44,5	46,75	49,75	52,75	55,75	58,75	61,75	64,75	67,75	70,75	73,75	76,75	79,75
38	33	35	37	40	42	43,5	46	49	52,5	56	59	62,5	66	69,5	73	76,5	80	83,5	87
39	34	36	38	41	43	44,5	47	50	53,5	57	60	63,5	67	70,5	74	77,5	81	84,5	88
40	34,5	37	39,25	43	45,5	47,75	50,5	53,75	57,25	61	65	68,5	72	75,5	79	82,5	86	89,5	93
41	35	38	40,5	45	48	51	54	57,5	61	65	69	72,5	76	79,5	83	86,5	90	93,5	97
42	36	39,25	42,5	48	51,25	54,75	58	61,75	65	69	73	76,5	80	83,5	87	90,5	94	97,5	101
43,3	37	40,5	44,5	51	54,5	58,5	62	66	70	74	78	81,5	85,5	89,5	93,5	97,5	101,5	105,5	109,5
46,1	39,5	44	49	57,5	62	66	71	75	79	83	87	91	95	99	103	107	111	115	119
48,9	41,5	46,6	54,5	64,5	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	136	141

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Основная часть программного кода

<pre>#include <dht.h> #include <Wire.h> #define SLAVE_ADDRESS 0x04 int number = 0; int temp = 0; dht DHT; #define DHT11_PIN 2 void setup() { Serial.begin(115200); Wire.begin(SLAVE_ADDRESS); Wire.onReceive(receiveData); Wire.onRequest(sendData); Serial.println("DHT TEST PROGRAM "); Serial.print("LIBRARY VERSION: "); Serial.println(DHT_LIB_VERSION); Serial.println(); Serial.println("Type,\tstatus,\tHumidity (%),\tTemperature (C)"); } void loop() { // READ DATA Serial.print("DHT11, \t"); int chk = DHT.read11(DHT11_PIN); switch (chk) { case DHTLIB_OK: Serial.print("OK,\t"); break; case DHTLIB_ERROR_CHECKSUM: Serial.print("Checksum error,\t"); break;</pre>	<pre>case DHTLIB_ERROR_TIMEOUT: Serial.print("Time out error,\t"); break; default: Serial.print("Unknown error,\t"); break; } // DISPLAY DATA Serial.print(DHT.humidity, 1); Serial.print(",\t"); Serial.println(DHT.temperature, 1); delay(2000); } // callback for received data void receiveData(int byteCount){ while(Wire.available()) { number = Wire.read(); Serial.print("data received: "); Serial.println(number); if (number == 1){ temp = DHT.temperature; } if (number == 2){ temp = DHT.humidity; } } // callback for sending data void sendData(){ Wire.write(temp); }</pre>
---	---

ПРИЛОЖЕНИЕ К

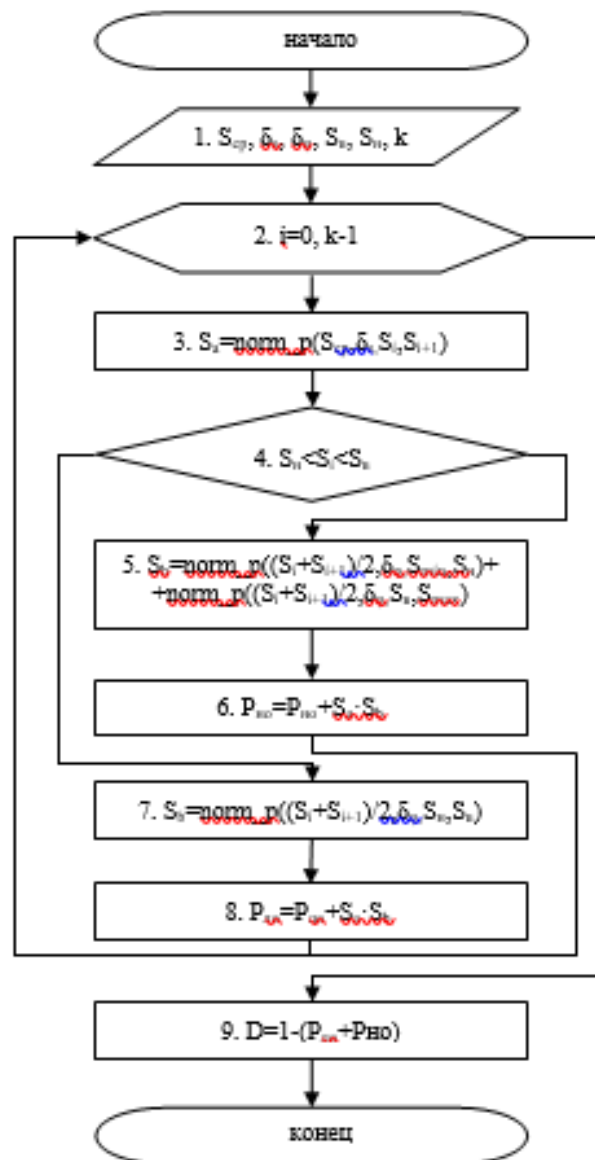


Рисунок 1- Алгоритм определения ошибок и достоверности принятия решений при детерминированных пределах

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

