

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

**ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика М.С. Осими**

УДК 681.5; 64.066.82

*На правах рукописи*



**САЙФИДДИНЗОДА Одилджон Сайфиддин**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ  
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ  
И БЕЗОПАСНОСТИ ЕГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени доктора философии  
(PhD)-доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика  
(6D071804 - Энергетические системы и комплексы)

Душанбе – 2025

Работа выполнена на кафедре «Релейная защита и автоматизация энергосистем» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

**Научный руководитель:** **Абдуллозода Рамазон Толибжон,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Релейная защита и автоматизация энергосистем» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

**Официальные оппоненты:** **Грачева Елена Ивановна,**  
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»;

**Рахматулов Ашурали Зокирович,**  
кандидат технических наук, начальник отдела «Распределения и потерь электроэнергии» филиала ОАО «Распределительные электрические сети» в г. Бохтар.

**Ведущая организация:** Институт энергетики Таджикистана,  
р-н. Кушониён.

Защита диссертации состоится «04» апреля 2025 года в 14:00 на заседании диссертационного совета 6D.КOA-049 по защите докторских и кандидатских диссертаций на базе Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими по адресу: 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, проспект академиков Раджабовых, 10а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТТУ имени академика М.С. Осими и на официальном сайте: <https://web.ttu.tj/tj/elonho>

Автореферат разослан «\_\_» марта 2025 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



Султонзода Ш.М.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Современные тенденции развития электроэнергетики требуют ускоренной автоматизации технологического процесса, обеспечения безопасности и высокого уровня надежности энергетических установок. Надежность электрооборудования обеспечивается за счет применения новых технических средств и современных методов диагностики энергетических установок. По сути, надежность считается способностью электрооборудования выполнять заданные функции при сохранении заводских характеристик в течение установленного срока годности. Однако при эксплуатации электрооборудования возникают различные технические проблемы, которые влияют на надежность электрооборудования и безопасности его обслуживания.

Наиболее существенно влияющими факторами на снижение надежности электрооборудования и его безопасности обслуживания считаются несвоевременное проведение диагностики технического состояния электрических аппаратов и их неправильность эксплуатации в различных ненормальных режимах. Также, ухудшение надежности и условий электробезопасности может возникнуть при выполнении монтажных и пусконаладочных работ. На практике для обеспечения надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания применяют различные методы и средства защиты. В том числе для повышения показателей надежности электрооборудования и улучшения условий их безопасности применяют систему релейной защиты и автоматики, систему контроля состояния изоляции электрических сетей, технологическую автоматику, заземляющее устройство (ЗУ) и т.п. Следовательно ЗУ является одним из наиболее распространенных элементов, которое необходимо для обеспечения надежности электрооборудования и безопасности их обслуживания.

Надежное функционирование заземляющих устройств связано с режимами работы электроустановок и соблюдением регламента проведения диагностических работ по их техническому состоянию.

Существует защитное и рабочее заземление, которые предназначены соответственно для обеспечения электробезопасности и нормального режима работы электроустановок. Электробезопасность при помощи защитного заземления обеспечивают за счет выравнивания потенциалов между основанием и заземляемым оборудованием. Рабочее заземление необходимо для нормального функционирования электрических аппаратов, т.е. обеспечения надежного контакта между нейтралью и землей. В этом случае земля используется как обратный проводник. Таким образом, правильное функционирование заземляющего устройства непосредственно влияет на ресурсное обеспечение надежности и безопасности.

Однако само заземление при эксплуатации сталкивается с различными техническими проблемами, в число которых входит: возрастание сопротивления растеканию тока, ухудшение его коррозионного состояния и т.п.

В настоящее время существует целый ряд действующих нормативно-технических документов для определения фактического состояния

заземлителей. Согласно действующим методам для проверки состояния заземлителей требуется проведение измерения множества параметров ЗУ.

Действующие методы проверки состояния заземлителей требуют большого количества финансовых, трудовых и временных затрат. Поэтому для проверки состояния элементов заземлителя без применения дорогостоящих приборов и проведения вскрышных работ необходимо рассматривать возможность применения действующих разработанных математических моделей в устройстве измеряющих их контролирующих параметров.

В настоящее время существует метод для оценки коррозионного состояния элементов ЗУ, при котором можно использовать среднегодовое значение влажности грунта в месте нахождения заземлителя и среднее значение токов, протекающих по вертикальным и горизонтальным заземляющим электродам. Однако данный метод требует постоянного измерения влажности грунта и токов, протекающих по заземлителям. При помощи данного метода можно осуществить автоматический контроль и диагностику состояния элементов заземляющих устройств с целью проведения оценки надежности электрооборудования и безопасности обслуживающего персонала.

Считаем, что возможность построения программно-аппаратного устройства для измерения и калькуляции среднегодового значения влажности грунта и токов, протекающих через заземляющие электроды с помощью программируемых микроконтроллеров, осуществима. Разработка автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя является актуальной научно-технической задачей. Для этого можно использовать современные микроконтроллеры и соответствующие датчики влажности грунта и тока, поскольку программируемые микроконтроллеры имеют функцию аналого-цифрового преобразователя, обработки цифровых сигналов, отображения их значения в дисплеях и передачи цифровых сигналов через GSM-модуль.

**Степень изученности научной темы:** в основе данной диссертационной работы лежат исследования таких ученых, как В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Н.И. Воропай, З.Ш. Юлдашев, А.Я. Абдурахмонов, М.Б. Иноятов, Ю.Б. Гук, В.Г. Китушин, В.А. Непомнящий, Ю.Н. Руденко, М.Н. Розанова, В.В. Бургсдорф, А.И. Якобс, Р.Н. Карякин, Н.П. Катигроб и других ученых, внесших большой вклад в исследования методов оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

**Связь исследования с программами (проектами) и научными темами.**

Диссертация соответствует нормативным требованиям ряда программ: Национальной стратегией развития РТ на период до 2030 года (№ 392, от 01.10.2016 г.), Закон РТ об энергетике (№1909, от 19.07.2022 г.), Концепция формирования электронного правительства в РТ (№ 643, от 30.12.2011 г.).

**Цель работы:** обоснование возможности и создание автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге элементов ЗУ.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ факторов, влияющих на надежность электрооборудования и

безопасность его обслуживания, и обоснование их взаимосвязи с заземляющими устройствами.

2. Анализ существующих методов оценки показателей надежности и безопасности электрооборудования.

3. Разработка компьютерной и физической модели автоматизированной системы оценки надежности электрооборудований и безопасности его обслуживания.

4. Разработка программного обеспечения автоматизированной системы оценки надежности и безопасности.

5. Оценка надежности электрооборудования и безопасность его обслуживания при применении разработанной автоматизированной системы.

**Объект исследования:** заземляющее устройство электрооборудования различного вида и назначения.

**Предмет исследования:** установление возможностей применения разработанной автоматизированной системы для оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге состояния элементов ЗУ.

**Методы исследования.** В качестве основных методов исследования применялись методы физического и математического моделирования процессов ухудшения состояния элементов заземлителя, логико-вероятностный метод для оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания. При разработке физической модели устройства для проверки состояния заземлителя использовалась вычислительная система автоматизированного проектирования Proteus.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Разработаны физическая модель (защищена малым патентом РТ, № ТЈ 1498) и программное обеспечение (авторское свидетельство РТ, №177) автоматизированной системы для определения состояния элементов заземлителей, которые применяются в целях оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

2. Разработана методика оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Осуществлена оценка надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания с применением автоматизированной системы.

2. Обосновано взаимосвязь надежности и безопасности электрооборудования с заземляющим устройством.

3. Применены современные микроконтроллеры для разработки автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

**Практическая значимость и реализация ее результатов:**

1. Разработанная автоматизированная система может быть использована для оценки фактического состояния заземляющих устройств электрооборудования различного вида и назначения.

2. Разработанная автоматизированная система позволяет в зависимости от

среднегодового значения влажности грунта и токов, протекающих через заземляющие электроды, определить фактическое состояние заземлителя и оценить показатели надежности и безопасности.

3. Полученные автором данные при разработке автоматизированной системы используются в процессе изучения студентами ТГУ имени академика М.С. Осими дисциплин «Энергетическая электроника», «Элементы автоматических устройств», «Электробезопасность» и «Основа микропроцессорной техники» и в ОАО «Барки Точик».

**Достоверность научных положений, полученных результатов и выводов** заключается в корректном использовании математических моделей для определения состояния заземляющих устройств с целью оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Диссертация выполнена в соответствии со следующими разделами Паспорта номенклатуры специальностей научных работников (технические науки): - по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 - Энергетические системы и комплексы):

**пункт-3** «Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок» относится к созданной физической модели, которая позволяет проверять состояние элементов заземлителя с целью оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания;

**пункт-4** «Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, технологий конструирования и проектирования, контроля и диагностики, оценки надежности основного и вспомогательного оборудования энергетических систем, станций и энергокомплексов...» относится к разработанной программе обеспечения устройства автоматизированной системы для оценки надежности и электробезопасности в энергетике;

**пункт-7** – «Разработка цифровых и физических методов анализа и мониторинга режимных параметров основного оборудования электростанций, подстанций, электрических сетей, ЭС» относится обоснование разработанного устройства для проверки состояния элементов заземлителя, которое функционирует за счет постоянного наблюдения исследуемых факторов.

**Апробация результатов:** основные результаты данной работы были получены при выполнении многочисленных натурных экспериментов на компьютерной и физической модели.

Основные положения диссертационной работы были доложены и получили одобрение на: V международной НПК студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей «Наука – основа инновационного развития», г. Душанбе, 2020, 2024гг.; III International Conference “Current Problems Of The Energy Complex: Mining, Production, Transfer, Processing And Environmental Protection” Moscow, 2021; IEEE Russian Workshop on Power Engineering and

Automation of Metallurgy Industry (2023). Ensuring the Safety of a Quarry Distribution Network with a Voltage of 6–35 kV. Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022; VI Междунар. НПК «Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС», г. Минск, 2023 г.; VII Всероссийской студенческой конференции с международным участием «Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи», г. Челябинск, 2023г.; Международной НПК: «Энергетика: состояние и перспективы развития», г. Душанбе, 2023г.; VIII Международной НПК, приуроченной к 65-летию кафедры БЖД ЮУрГУ «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии», г. Челябинск, 2024г.; научных семинарах кафедры РЗиАЭ ТТУ им. акад. М.С. Осими, г. Душанбе, 2020–2024 гг.

**Личный вклад автора** выражается в самостоятельном написании диссертации, непосредственном участии в постановке вопросов темы исследования, теоретического изучения, экспериментальных работ, формировании выводов и рекомендаций, обобщенного анализа и заключения, а также апробации и публикации результатов исследования в открытой печати.

**Публикация.** По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, из них 3 работы – в периодических изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте РФ и ВАК РФ, 2 работы – в периодическом издании, входящем в базу данных SCOPUS и 8 статей в сборниках НПК и НТК, получены малый патент РФ и авторское свидетельство на компьютерную программу.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, основных выводов, списка литературы (157 наименований), 5 приложений. Содержит 155 страниц машинописного текста, в том числе 46 рисунков, 8 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводится обоснование актуальности диссертационной работы, сформулированы цели и задачи исследования: определены объект и предмет исследования; изложены научная новизна и практическая ценность; приведены основные положения работы, выносимые на защиту; отражены вопросы реализации и апробации полученных результатов. Также приводятся методологические основы диссертационного исследования и методы исследования по решению задач для достижения поставленной цели.

**В первой главе «Современное состояние вопроса и обоснование задач исследования»** диссертационной работы рассмотрены основные показатели надежности и безопасности обслуживания электрооборудования, методы оценки показателей надежности.

Вопрос надежности электрооборудования считается одним из наиболее сложных проблем в электроэнергетике. Поскольку она влияет на режимы работы электроустановок и безопасность обслуживающего персонала. Из-за ухудшения показателей надежности возникают ненормальные режимы работы в электрических сетях и происходят аварии в электроустановках. Обеспечение надежности электрооборудования связано с правильной оценкой ее основных показателей.

Основными методами оценки показателей надежности являются экспериментальный, аналитический и имитационный. Для обоснования вопроса показателей надежности ниже рассмотрим особенности применения действующих методов оценки надежности. На рис. 1 приводятся основные методы оценки показателей надежности.



Рисунок 1 – Методы оценки показателей надежности

Также в рамках первой главы диссертационной работы рассматриваются факторы, влияющие на надежность и безопасность электрооборудования. Основными факторами, влияющими на надёжность электрооборудования, являются: окружающая среда; эксплуатационные; человеческие (случайные); ошибки проектирования и монтажа. Однако факторы, влияющие на безопасность обслуживания электроустановок, считаются как климатические, так и режимы работы и ресурс электрооборудования.

Приводится обоснование взаимосвязи показателей надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания. При этом одним из элементов, обеспечивающих как надежность электрооборудования, так и принцип построения защиты обслуживающего персонала, является заземляющее устройство.

Тем не менее, состояние элементов ЗУ свидетельствует об уровнях надежности и безопасности обслуживания электрооборудования, т.е. при мониторинге их состояния можно оценить уровень надежности и безопасности.

Устанавливается, что согласно действующим нормативно-техническим документам коррозионное состояние элементов заземлителей определяют путем вскрытия грунта над их элементами. Как указывалось в первой главе диссертационной работы, вскрытие грунта производят в определенных точках. Коррозию вокруг заземляющих электродов измеряют с помощью цифровых микрометров и штангенциркуля. Исходя из толщины продуктов коррозии вокруг заземляющих электродов оценивают техническое состояние элементов ЗУ. Этот способ только для оценки коррозионности элементов заземлителей в обязательном порядке требует проведения вскрышных работ, при которых

требуется применение специальных инструментов, приборов и большого количества трудовых затрат.

Также рассматривается существующий “Метод оценки состояния ЗУ, основанный на косвенных факторах”, который разработан на основе теории математического планирования эксперимента. Данный способ предлагает определение коррозионного состояния элементов заземлителя и изменение сопротивления растеканию тока в зависимости от двух наиболее существенно влияющих факторов на процесс коррозии (влажность грунта и наличие тока в заземлителях). Согласно этому методу, коррозия оценивается по потере массы металла  $y_1$  при коррозионном разрушении, а сопротивление растеканию тока  $y_2$  – по динамике ее изменения. Математическая закономерность выявляется на основе уравнений регрессий второго порядка, при этом определяются регрессионные постоянные коэффициенты и общее выражение математической модели процесса коррозии элементов заземлителей, и изменение сопротивление растеканию тока ЗУ (1, 2). Основными параметрами данной модели являются  $X_1$  и  $X_2$ , т.е. соответственно значение влажности грунта и токов, протекающих через элементы заземлителя.

$$y_1 = 0,1525 - 0,0205X_1 - 0,023591X_2 + 0,0138X_1^2 - 0,083381X_2^2 - 0,0568X_1 X_2 \quad (1)$$

$$y_2 = 5,932 - 0,76928X_1 - 1,01368X_2 + 0,3245X_1^2 - 2,72325X_2^2 - 2,39545X_1X_2 \quad (2)$$

где:  $y_1$  – потери массы металла элементов заземлителей;  $y_2$  – изменение сопротивления растеканию тока ЗУ,  $X_1$  – значение влажности грунта в месте нахождения заземлителя,  $X_2$  – токи, протекающие по заземляющим проводникам.

Следует отметить, что данная математическая модель разработана на основе полученных данных, которые были исследованы в течение 240 часов. Авторы данного метода на основе (3 и 4) предлагают математические уравнения для более длительного времени, т.е. находят постоянный «коэффициент времени»  $k_{в}$ .

$$k_{в1} = \frac{y_1}{n} \text{ \%}/\text{сут} \quad (3)$$

$$k_{в2} = \frac{y_2}{n} \text{ \%}/\text{сут} \quad (4)$$

При этом истинное значение годовых потерь массы заземляющих электродов и изменение сопротивления растеканию тока заземлителя получают при произведениях  $k_{в}$  и продолжительности эксплуатации ЗУ, сут.

$$\Delta m = k_{в1} \cdot T, \% \quad (5)$$

$$\Delta R = k_{в2} \cdot T, \% \quad (6)$$

где:  $\Delta m$  – потери массы металла элементов заземлителей;  $\Delta R$  – изменение сопротивления растеканию тока ЗУ (в течение 240 часов).

Таким образом, проводя постоянное измерение косвенных факторов, т.е. значение влажности грунта и токов, протекающих по заземлителям, проверяют их фактическое состояние без проведения вскрытия грунта.

Анализ приведённых материалов показывает, что наиболее удобным методом оценки состояния элементов заземлителя, который не требует применения дорогостоящих измерительных приборов, проведения визуальных осмотров и трудовых затрат, является «Метод оценки состояния ЗУ, основанный на косвенных факторах». Недостаток данного метода заключается в том, что среднее значение влажности грунта в месте нахождения ЗУ и токов, протекающих по заземлителям, должно определяться при проведении постоянных измерений.

При этом применение современных программируемых микроконтроллеров и соответствующих датчиков позволяет разработать автоматизированную систему оценки надежности и безопасности электрооборудования при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя.

Во второй главе «Анализ возможности микроконтроллеров серии ATMEGA и характеристики датчиков» рассматриваются особенности микроконтроллеров AVR, характеристики их портов (ввод/вывод), периферийные устройства и архитектура ядра микроконтроллеров. Также приводятся основные характеристики микроконтроллеров типа ATmega8-16PU, ATmega163 и ATmega328, разновидности их корпусов и другие технические особенности. Рассмотренные программируемые микроконтроллеры семейства Atmel имеют большое количество набора периферийных устройств, применение которых позволяет решить поставленные цели и задачи исследования. В таблице 1 приводятся основные параметры (память Flash, память EEPROM, память оперативного запоминающего устройства, число вводов/выводов, рабочее напряжение, тактовая частота и тип корпуса) микроконтроллеров типа ATmega8-16PU, ATmega163 и ATmega328.

Основные характеристики микроконтроллеров типов ATmega8-16PU, ATmega163 и ATmega328, которые необходимы при разработке физической модели, контролирующей значение влажности грунта и токов, протекающих через элементы заземлителя, приводятся в табл. 1.

Таблица 1 – Основные параметры микроконтроллеров типа ATmega8-16PU, ATmega163 и ATmega328

Тип	Память FLESH, Кбайт	Память EEPROM, байт	Память ОЗУ, байт	Число пинов, шт.	Рабочее напряжение, В	Частота, МГц	Тип корпуса
ATmega8-16PU	8	512	1024	28	2,7...5,5	0...8	DIP
				32	4,5...5,5	0...16	TQFP, MLF
ATmega163	16	512	1024	40	4,0...5,5	0...4	DIP
				44	2,7...5,5	0...8	TQFP
ATmega328	32	1024	2048	28	1,8...5,5	16	DIP
				32	2,7...5,5	20	TQFP
				32	4,5...5,5	20	MLF

Указанные микроконтроллеры выпускаются в DIP, TQFP и MLF корпусах, которые имеют соответственно 28, 32 и 32 выводов. Разрядность всех видов микроконтроллеров составляет 8-битов.

Следовательно, выбирается микроконтроллер типа ATmega328 для разрабатываемого устройства.

Программируемый микроконтроллер ATmega328 является наиболее совершенным электронным устройством, которое выпускается в разных типах корпусов. Рассмотрим данное устройство, выполненное на DIP корпусе. В таблице 1 показаны буквенные обозначения и нумерация выводов микроконтроллера, которая состоит из 28 контактов (выводов).

Универсальность данного устройства заключается в том, что один его вывод одновременно может выполнять более четырех функций. Это устройство состоит из трех портов PB0...PB7 (выводы 14 – 19, 9 – 10), PC0...PC6 (23 – 28, 1), PDO...PD7 (2 – 6, 11 – 13), выводов для питания VCC (7) и GND (8, 22) и других контактов. В рамках второй главы диссертационной работы были разработаны схемы и физические модели для подключения программатора USBAsp V.2.0 к микроконтроллеру, общий вид которого представлен на рис. 2.

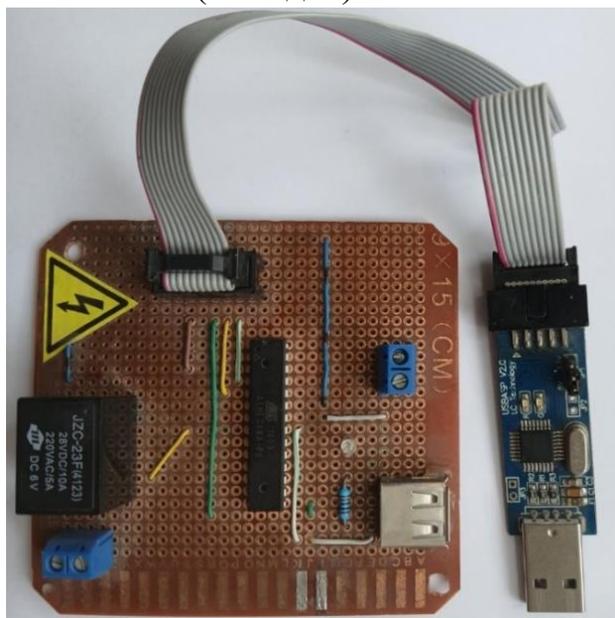


Рисунок 2 – Подключение USBAsp V.2.0 к микроконтроллеру

Также производится анализ технических возможностей датчиков влажности грунта и датчика переменного тока. На рис. 3 приводится общий вид емкостного датчика влажности грунта, который выбирается для разрабатываемого устройства.



Рисунок 3 – Общий вид емкостного датчика типа V2.0

В рамках второй главы диссертационной работы приводятся параметры датчика переменного тока типа ZMCT103C, который выполняет функцию

трансформатора тока. Этот датчик выполняет функцию измерительного трансформатора тока и не имеет первичной обмотки (провод, через который проходит электрический ток выполняет функцию первичной обмотки). Датчик переменного тока необходим для измерения токов, протекаемых по заземляющим проводникам. На рис. 4 приводится общий вид а) и принципиальная электрическая схема б) датчика переменного тока ZMCT103C.

Для дистанционного наблюдения измеряемых параметров рассматривается возможность применения GSM-модуля типа SIM800C в разрабатываемом устройстве.

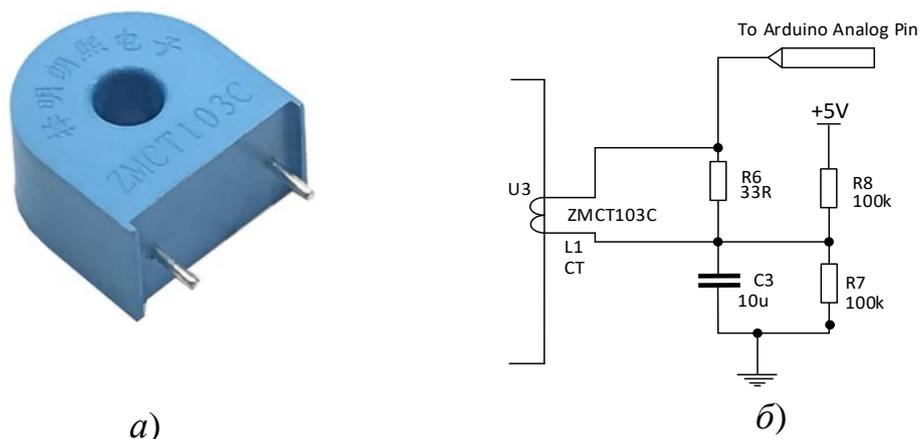


Рисунок 4 – Датчик переменного тока ZMCT103C, а) общий вид, б) принципиальная электрическая схема

Основные характеристики GSM-модуля типа SIM800C полностью соответствуют параметрам микроконтроллера ATmega328. Номинальное напряжение SIM800C составляет 3,7...4,2 В. На рис. 5 приводится общий вид GSM-модуля типа SIM800C.



Рисунок 5 – Общий вид GSM-модуля типа SIM800C

Применение GSM-модуля типа SIM800C в автоматизированной системе оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания необходимо для непрерывной передачи значения влажности грунта и токов, протекающих по заземлителям, на мобильном устройстве по SMS сообщению.

Анализ технических возможностей электронных компонентов, приведенный во второй главе, показывает, что характеристики

микроконтроллеров, датчиков влажности грунта, датчиков переменного тока, аналого-цифровых преобразователей, GSM-модулей и других электронных устройств имеют широкие технические возможности. Датчики влажности грунта типа V2.0 имеют большой диапазон измерения, легко подключаются и все его характеристики соответствуют параметрам микроконтроллера ATmega328. Для измерения значения тока, протекающего по элементам заземлителя, рассматривались характеристики датчика переменного тока ZMCT103C, который имеет подходящие выходные сигналы для вышеуказанного микроконтроллера. Также для дистанционного наблюдения за параметрами заземлителя проанализировали параметры GSM-модуля типа SIM800C, который был признан целесообразным для передачи любого объема цифровых сигналов по GSM-сетям.

Как следует из вышеприведенной информации, характеристики цифровых компонентов позволяют разработать автоматизированную систему оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при мониторинге состояния ЗУ.

Для этого необходимо разработать устройство, содержащее микроконтроллер, датчики для измерения влажности грунта и токов, протекающих по заземлителям, и GSM-модуль. Для местного наблюдения параметров ЗУ можно применить LCD-дисплей. С целью оценки состояния заземлителя «Методом оценки состояния ЗУ, основанном на косвенных факторах», необходимо разработать программно-аппаратное устройство с применением вышеприведенных цифровых компонентов.

**В третьей главе “Разработка автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания”** разработаны принципиальная электрическая схема автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания, ее компьютерная модель, физическая модель и программное обеспечение разрабатываемого устройства. При разработке автоматизированной системы произведена проверка всех электронных компонентов по отдельности.

Как следует из вышеприведенного анализа электронных компонентов, технические характеристики микроконтроллеров, датчиков влажности грунта, датчика переменного тока и GSM-модуля позволяют разработать устройство на основе микроконтроллера типа ATmega328. Это устройство может одновременно измерять значения влажности грунта и токов, протекающих по заземлителям, поскольку согласно [4-А] для проверки состояния элементов заземлителя требуется среднегодовое значение вышеуказанных параметров. Также для осуществления дистанционного измерения необходимо рассматривать применение GSM-модуля в устройстве. Следовательно, применение программируемого микроконтроллера ATmega328 позволяет разработать автоматизированную систему оценки надежности и безопасности обслуживания электрооборудования при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя. Для этого необходимо разработать принципиальную электрическую схему, структурную схему и физическую модель автоматизированной системы.

Как известно, принципиальные электрические схемы отражают непосредственную электрическую связь электронных компонентов, последовательность их работ и принцип действия. Эта схема должна обеспечивать надежность, безопасность, удобство эксплуатации и обслуживания, и экономичность разрабатываемого устройства, поскольку принципиальные электрические схемы всегда считают основанием для разработки функциональных, структурных и монтажных схем.

На принципиальной электрической схеме разрабатываемого устройства изображаем условно графические и буквенные обозначения всех электронных компонентов. Как отмечалось выше, принцип действия разрабатываемой автоматизированной системы основан на измерении значений влажности грунта и токов, протекающих по заземлителю, и калькуляции их среднегодового значения по методикам, приведенным в § 1.14 диссертации.

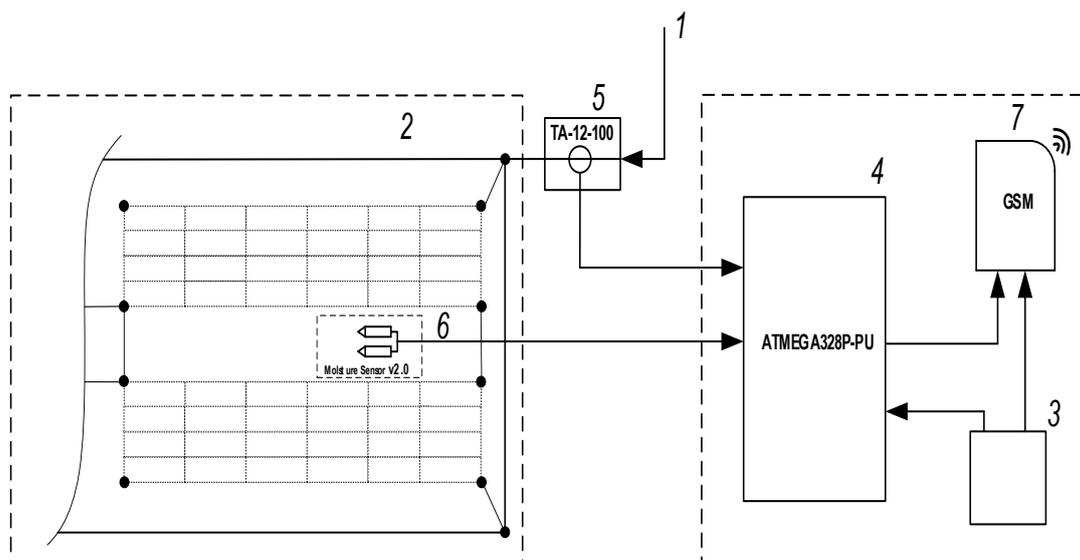


Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания

Как отмечается выше, датчик для измерения тока 5 подключается к заземляющему проводнику 1. Этот датчик 5 возможно подключить через трансформатор тока, однако необходимо учитывать погрешность и коэффициент трансформации измерительного трансформатора. Для измерения влажности грунта электрод емкостного датчика 6 необходимо погружать в месте нахождения заземлителей 2. Значения тока и влажности грунта через соединительные проводники передаются в микроконтроллер Atmega328P-PU 4, и после их цифровой обработки через GSM-модуль 7 отправляются SMS-сообщением на любой телекоммуникационный абонент. Питание всех элементов осуществляется от источника выпрямленного тока 3 (или аккумуляторных батарей), который подключают к источнику оперативного тока подстанции.

Как следует из рис. 6, «электронным мозгом» разрабатываемой автоматизированной системы является Atmega328P-PU 4, он принимает цифровые сигналы от соответствующих датчиков, обрабатывает их и отправляет в пункт назначения. Все элементы получают питание от источника

выпрямленного тока или от аккумуляторных батарей 3. При подключении источника питания приходят в действие микроконтроллер и другие электронные компоненты схемы.

При проверке значения влажности грунта и токов, протекающих по заземлителям, цифровыми устройствами на стадии проектирования необходимо предусматривать периодичность измерения. Эту задачу можно решить при программировании разрабатываемого устройства.

Принципиальная электрическая схема является базовой схемой, на основе которой разрабатываем компьютерную модель автоматизированной системы. Для разработки компьютерной модели используется пакет программ для автоматизированного проектирования электронных схем **PROTEUS**.

Этот пакет считается системой компьютерного моделирования схем электронных компонентов. Также программа имеет возможность разработки программного обеспечения программируемых устройств, таких как микропроцессоры, микроконтроллеры различного типа и назначения DSP (Digital Signal Processing – цифровая обработка сигналов) и др. Программа для автоматизированного проектирования электронных схем **PROTEUS** имеет «Библиотеку» справочных данных и технические характеристики электронных и цифровых компонентов.

Таким образом, разработали компьютерную модель автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания, которая содержит датчики, устройство отображения информации (LCD) и программируемый микроконтроллер.

На рис. 7 приводится общий вид разрабатываемой автоматизированной системы, соединение элементов которой было осуществлено при пайке вертикальных и горизонтальных полос. Размер печатной платы составляет 90 мм на 150 мм. Интервал между отверстиями используемой печатной платы соответствует размерам выводов электронных компонентов.

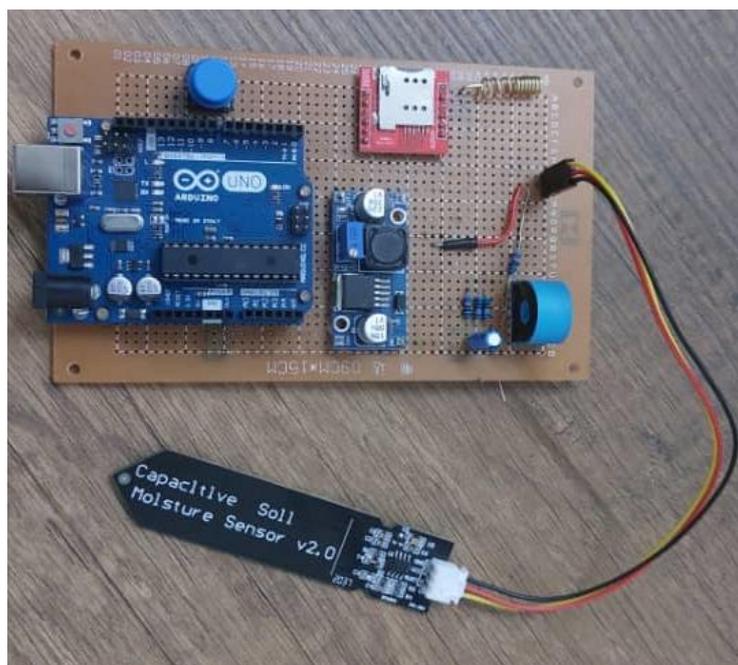


Рисунок 7 – Общий вид разработанной автоматизированной системы на печатной плате

Таким образом, нами была разработана автоматизированная система оценки надежности и безопасности электрооборудования, которая функционирует при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя. При этом необходимо отметить, что функционирование разработанного устройства обеспечивается при программировании используемого микроконтроллера и соответствующих датчиков.

Программное обеспечение микроконтроллеров семейства Atmel осуществляют различными языками программирования. Поскольку современные модели AVR-микроконтроллеров имеют большое количество периферийных устройств и поддерживают одновременно до трех интерфейсов программирования. Также существует возможность самопрограммирования при помощи пользовательской программы. Кроме этого, программирование микроконтроллера можно реализовать через Flash-память.

При разработке функциональной схемы автоматизированной системы использовали принципиальную электрическую схему, приведенную на рис. 6. Здесь указывали последовательность действия микроконтроллера ATmega328, соответствующие датчики и GSM-модуль. Разработанная нами структурная схема автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при мониторинге состояния элементов заземлителя приводится на рис. 8.

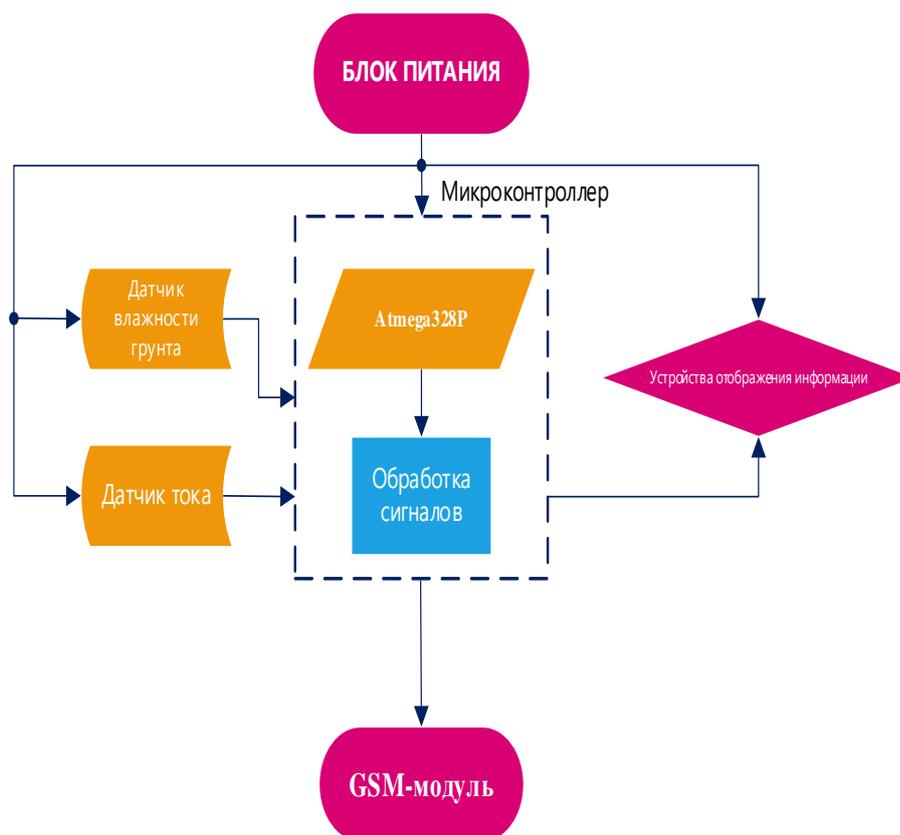


Рисунок 8 – Структурная схема автоматизированной системы

Необходимо отметить, что процесс программирования микроконтроллеров проходит при низком, среднем и высоком напряжениях, через соответствующие их выводы. Как отмечается выше, выводами микроконтроллеров для их

программирования посредством модуля SPI являются MOSI, SCK, MISO, RESET и GND.

Также в рамках третьей главы диссертационного исследования «Разработка автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания» производится оценка вероятности повышения показателей надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

Как отмечается выше, для оценки показателей надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания существует множество методов и методик. При этом во всех методах требуется использование возможных показателей, существенно влияющих на результат расчетов.

Рассматривается основное содержание событий в логико-вероятностной модели для оценки показателей надежности. Основными структурными элементами модели являются наличие напряжения в электрооборудовании, неисправность заземляющих устройств и отказ автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования.

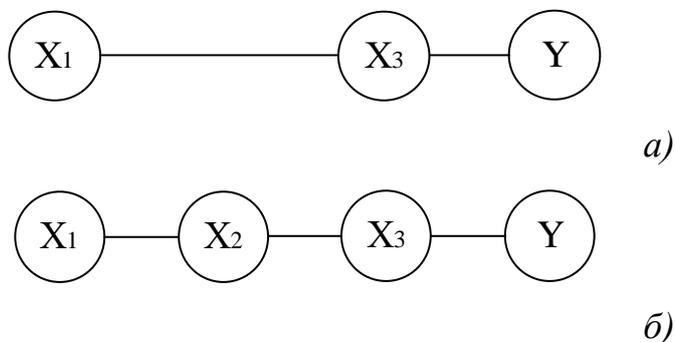


Рисунок 9– Структурная схема изменения показателя надежности без применения а) и с применением б) автоматизированной системы

Таблица 2 – Содержание событий, образующих логико-вероятностные модели

№ п/п	Элемент структуры	Событие
1.	X <sub>1</sub>	Наличие напряжения в электрооборудовании
2.	X <sub>2</sub>	Отказ автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования
3.	X <sub>3</sub>	Неисправность заземляющих устройств
4.	Y	Ухудшение показателей надежности

При отсутствии автоматизированной системы оценки надежности и безопасности вероятность изменения показателей надежности определяют следующим образом (рис. 9, а).

$$P(X_1, X_3) = P(X_1) \cdot P(X_3); \quad (7)$$

При наличии автоматизированной системы оценки надежности и безопасности (рис. 9, б).

$$P(X_1 \dots X_3) = P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3); \quad (8)$$

Следовательно, сравнительная оценка надежности при наличии и отсутствии автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования определяется соотношением согласно:

$$n = \frac{P(X_1) \cdot P(X_3)}{P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3)} = \frac{1}{P(X_2)} \quad (9)$$

Для оценки надежности производим расчет по отказу электрооборудования и из-за неисправности заземляющих устройств. Вероятность отказа автоматизированной системы  $P = 0,23$  (при отказе ЗУ).

$$n = \frac{1}{P(X_2)} = \frac{1}{0,23} = 4,34$$

Следовательно, при отказе автоматизированной системы ухудшается в 4,34 раза.

Также для оценки безопасности обслуживания электрооборудования воспользуемся логико-вероятностным методом. При этом учитываем все факторы, влияющие на надежность, и в качестве откликов принимаем «Электроопасную ситуацию при неисправности заземляющих устройств и при наличии и отсутствии автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания».

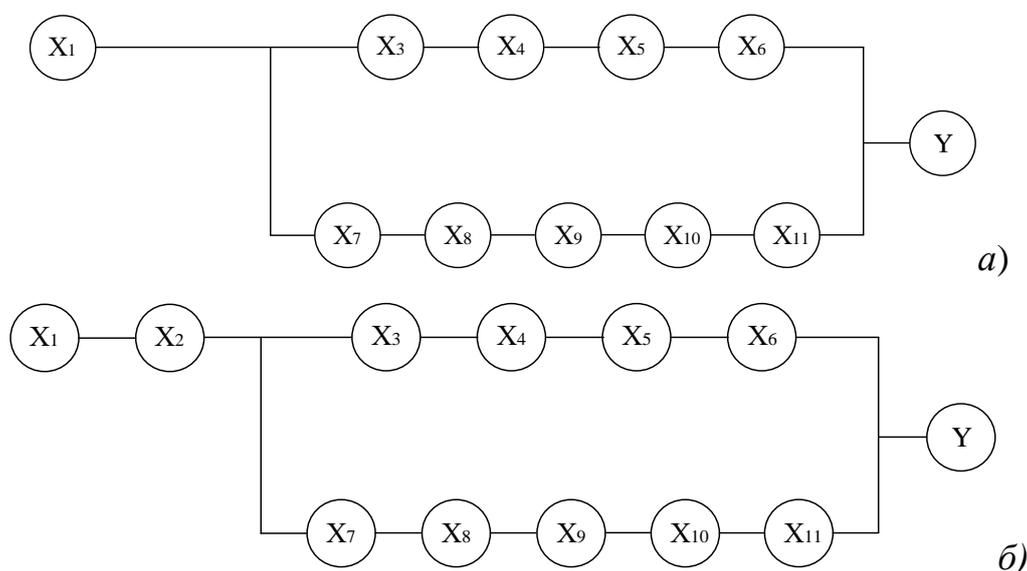


Рисунок 10 – Структурная схема возникновения электропоражения без применения (а) и с применением (б) автоматизированной системы

Таблица 3 – Содержание событий, образующих логико-вероятностные модели

№ п/п	Элемент структуры	Событие
1.	X <sub>1</sub>	Наличие напряжения в электрооборудовании
2.	X <sub>2</sub>	Отказ автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования
3.	X <sub>3</sub>	Отказ системы контроля изоляции
4.	X <sub>4</sub>	Возникновение однофазного замыкания на землю
5.	X <sub>5</sub>	Неисправность заземляющих устройств
6.	X <sub>6</sub>	Отказ защиты от однофазного замыкания на землю

7.	X <sub>7</sub>	Прикосновение человека к металлической нетоковедущей части электрооборудования
8.	X <sub>8</sub>	Возникновение двойного замыкания на землю
9.	X <sub>9</sub>	Отказ первой ступени защиты от однофазного замыкания на землю
10.	X <sub>10</sub>	Отказ второй ступени защиты от однофазного замыкания на землю
11.	X <sub>11</sub>	Возникновение шаговой напряжении
12.	Y	Электроопасная ситуация при неисправности заземляющих устройств и при наличии и отсутствии автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования

При отсутствии автоматизированной системы оценки надежности и безопасности показатели безопасности определяются уравнением 10 (рис. 10 а).

$$P(X_1, X_3 \dots X_{11}) = P(X_1) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11}); \quad (10)$$

При наличии автоматизированной системы оценки надежности и безопасности (рис. 10 б).

$$P(X_1 \dots X_{11}) = P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11}); \quad (11)$$

Следовательно, оценка возникновения электроопасной ситуации при наличии и отсутствии автоматизированной системы оценки надежности и безопасности обслуживания электрооборудования определяется соотношением:

$$n = \frac{P(X_1) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11})}{P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11})} = \frac{1}{P(X_2)}$$

Вероятность отказа автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования была принята  $\lambda t = 0,096$ .

$$n = \frac{1}{P(X_2)} = \frac{1}{0,096} = 10,04$$

Таким образом, при применении автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования вероятность улучшения электробезопасности возрастает.

В третьей главе диссертации приводится инструкция по эксплуатации автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, направленная на разработку автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные результаты:

1. Проведен анализ факторов, влияющих на показатели надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания и обоснованы их взаимосвязь с ЗУ. Также рассмотрены действующие методы оценки надежности и безопасности электрооборудования.

2. Разработана принципиальная электрическая схема автоматизированной системы оценки надежности и безопасности электрооборудования при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя, в которой указывается последовательность действия электронных компонентов с микроконтроллером.

3. Разработана автоматизированная система, которая позволяет при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя оценивать показатели надежности электрооборудования и уровень безопасности обслуживающих персоналов [6-А].

4. Разработана компьютерная модель автоматизированной системы и ее программное обеспечение [7-А].

5. Применение разработанной нами методики обеспечивает вероятность повышения надежности электрооборудования и безопасности обслуживающего персонала соответственно в 4,34 и 10,4 раза.

6. Результаты исследования используются в процессе изучения студентами ТТУ им. акад. М.С. Осими дисциплин «Энергетическая электроника», «Элементы автоматических устройств», «Электробезопасность» и «Основа микропроцессорной техники» и ОАО «Барки Точик».

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

### *Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК при Президенте РФ и ВАК РФ:*

[1-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Исследование влияния состояния функционального заземления на устройство микропроцессорной релейной защиты / О.С. Сайфиддинзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №2 (58). 2022. С. 17 – 20.

[2-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Программное обеспечение автоматизированной системы оценки надёжности и безопасности электроустановок / О.С. Сайфиддинзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №2 (66). 2024. С. 27– 31.

[3-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Устройство и способ оценки состояния элементов заземлителей / А.И. Сидоров, Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфиддинзода, И.Т. Абдуллозода, А.Н. Горожанкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». 24, 3 (сен. 2024), 88–94. DOI: <https://doi.org/10.14529/power240310>.

### *Статьи в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах данных SCOPUS:*

[4-А]. Method for determining the state of an grounding device / A. Sidorov, R. Abdullozoda, S. Sadullozoda, **O. Sayfiddinzoda** and I. Abdullozoda // III international scientific and practical conference “current problems of the energy complex: mining, production, transfer, processing and environmental protection” (apr. 2021), IOP Conference Series: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 808 (2021) 012005 doi:10.1088/1755-1315/808/1/012005.

[5-А]. Ensuring the Safety of a Quarry Distribution Network with a Voltage of 6–35 kV / Kh. Boboev, R. Abdullozoda, **O. Sayfiddinzoda**, I. Abdullozoda, K. Ivshina // Ensuring the Safety of a Quarry Distribution Network with a Voltage of 6–35 kV. In: Radionov, A.A., Ulrikh, D.V., Timofeeva, S.S., Alekhin, V.N., Gasiyarov, V.R. (etc.) Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 308. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_42)

### *Патенты и авторские свидетельства:*

[6-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Малый патент. Республика Таджикистан: МПК G01B 17/00. Устройство для определения коррозионного состояния элементов заземлителей / О.С. Сайфиддинзода, Р.Т. Абдуллозода, Б.Т. Абдуллоев, Х.Д. Бобоев– № 2401928; заявл. 07.02. 2024; опубл. 20.05. 2024, Бюл. № TJ 1498.

[7-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Свидетельство на компьютерную программу. №177 (Республика Таджикистан), МКИ А 61N 1/42. Программа контроллера для проведения мониторинга состояния заземляющих устройств / О.С. Сайфиддинзода, Р.Т. Абдуллозода, Х.Д. Бобоев. Опубл. 30.11.2023.

### *Публикации в других изданиях:*

[8-А]. Сайфиддинзода, О.С. Тадқиқи олоти заминвасла / М.Х. Табаров, О.С. Сайфиддинзода // Материалы республиканской научно-практической конференции “Наука – основа инновационного развития” // Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими. Душанбе. - 2020. С. 62 – 64.

[9-А]. Сайфиддинзода, О.С. Микроконтроллерҳо ва хусусиятҳои онҳо / О.С. Сайфиддинзода // Материалы IX международной научно-практической конференции “НАУКА – ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ” // “Промэкспо”, Душанбе, 2022. С. 26 – 28.

[10-А]. Сайфиддинзода, О.С. Расчет коррозионного состояния элементов заземлителей / Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфиддинзода, Х.Д. Бобоев // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС. Сборник статей VI Международной научно-технической конференции. В 3-х томах. Минск, 2023. С. 292 – 296.

[11-А]. Сайфиддинзода, О.С. Методы измерения сопротивления растеканию тока заземлителей / О.С. Сайфиддинзода // Материалы Международной научно – практической конференции: «ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ» Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими – Душанбе: ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими, 2023. С. 179 – 181.

[12-А]. Сайфиддинзода, О.С. О возможности применения микроконтроллеров серии Atmel в устройстве оценки надежности и безопасности / О.С. Сайфиддинзода, У.У. Косимов // Материалы IX международной научно-практической конференции “НАУКА – ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ” // “Промэкспо”, Душанбе, 2024. С. 26 – 28.

[13-А]. Сайфиддинзода, О.С. Возможность применения микроконтроллеров АТМЕЛ при контроле состояния заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфиддинзода, Х.Д. Бобоев // «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТРЕТЬЕМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ» VIII Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры БЖД ЮУрГУ БЖД под ред. А.И. Сидорова. 2024. С. 20 – 23.

[14-А]. Сайфиддинзода, О.С. Анализ повреждаемости заземляющей сети в горнодобывающих предприятиях / О.С. Сайфиддинзода, Д.Х. Насруллоев, Х.Д. Бобоев // «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТРЕТЬЕМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ» VIII Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры БЖД ЮУрГУ БЖД под ред. А.И. Сидорова. 2024. С. 20 – 23.

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ  
ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**

**ДОНИШГОҲИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН  
ба номи академик М.С. Осимӣ**

ТДУ 681.5; 64.066.82

*Бо ҳуқуқи дастнавис*



**САЙФИДДИНЗОДА Одилҷон Сайфиддин**

**СИСТЕМАИ АВТОМАТОНИДАШУДАИ  
БАҲОДИҲИИ ЭЪТИМОДИЯТИ ТАҶҲИЗОТИ БАҶҲ  
ВА ХИЗМАТРАСОНИИ БЕХАТАРИ ОН**

**АВТОРЕФЕРАТИ**

диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа  
(PhD)- доктор аз рӯи ихтисоси 6D071800-Энергетикаи электрикӣ  
(6D071804– Системаҳо ва комплексҳои энергетикӣ)

Душанбе – 2025

Рисола дар кафедраи химояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣи Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ иҷро карда шудааст.

**Роҳбари илмӣ:**

**Абдуллозода Рамазон Толибҷон,**

номзади илмҳои техникӣ, дотсенти кафедраи химояи релей ва автоматикунонии системаҳои энергетикӣи ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ.

**Муқарризони расмӣ:**

**Грачева Елена Ивановна,**

доктори илмҳои техникӣ, дотсент, профессори кафедраи электротаминкунии корхонаҳои саноатии Муассисаи давлатии бучетии федералии таҳсилоти олии касбии “Донишгоҳи давлатии энергетикӣи Қазон”;

**Раҳматулов Ашурали Зокирович,**

номзади илмҳои техникӣ, сардори шуъбаи «Тақсимот ва талафоти нерӯи барқ»-и филиали ҚСҚ «Шабақаҳои тақсимоти барқ» дар шаҳри Бохтар.

**Идораи пешбар:**

Донишкадаи энергетикӣи Тоҷикистон,  
н.Кушониён.

Ҳимояи диссертатсия санаи «04» апрели соли 2025, соати 14:00 дар ҷаласаи Шурои диссертатсионӣи 6Д.ҚОА–049 оид ба ҳимояи рисолаҳои номзадӣ ва докторӣ дар заминаи Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ бо суроғаи: 734042, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, хиёбони академик Раҷабовҳо, 10а баргузор мегардад.

Бо рисола метавон дар китобхонаи илмӣ ва электронии Донишгоҳи техникӣи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ ва дар сомонии расмӣ он: <https://web.ttu.tj/tj/elonho> шинос шуд.

Автореферат «\_\_\_» мартӣ соли 2025 тақсим карда шуд.

Котиби илмӣ  
Шурои диссертатсионӣ,  
номзади илмҳои техникӣ, дотсент



Султонзода Ш.М.

## МУҚАДДИМА

**Мубрамияти кор.** Тамоюлҳои муосири рушди соҳаи электроэнергетика автоматикунони босуръати раванди технологӣ, таъмини беҳатарӣ ва дараҷаи баланди эътимоднокии таҷҳизоти энергетикиро талаб мекунад. Эътимодияти таҷҳизоти барқӣ аз ҳисоби истифодаи воситаҳои нави техникӣ ва усулҳои ҳозиразамони таҳлили таҷҳизоти барқӣ таъмин карда мешавад. Асосан, эътимодият гуфта, қобилияти таҷҳизоти барқӣ барои иҷрои вазифаҳои пешбинишуда, бо нигоҳ доштани хусусиятҳои аслии техникӣ барои мӯҳлати муқаррашуда ҳисобида мешавад. Вале, дар вақти истифодаи таҷҳизоти барқӣ мушкилотҳои гуногуни техникӣ ба амал меоянд, ки ба эътимодият ва истифодаи беҳатари он таъсир расонида метавонанд.

Яке аз омилҳои ба таври назаррас таъсиркунанда ба пастшавии эътимоднокии таҷҳизоти электрикӣ ва таъмини беҳатарии он саривақт таҳлил накардани ҳолати техникӣ дастгоҳҳои барқӣ ва истифодаи нодурусти таҷҳизот дар речаҳои ғайримуқаррарии гуногун ҳисобида мешаванд. Ҳамчунин, пастшавии сатҳи эътимодият ва шартҳои беҳатарии барқӣ метавонад аз ҳисоби иҷрои корҳои васлу насби таҷҳизот ба амал ояд. Дар амал барои таъмини эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва беҳатарии хизматрасонии он як чанд усулҳо ва воситаҳои ғайривиро истифода мебаранд. Аз он ҷумла, барои баланд бардоштани нишондиҳандаҳои эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва беҳбудии шартҳои беҳатарии системаи ғайривиро релеӣ ва автоматика, системаи назорати ҳолати оқшҳои шабакаҳои барқӣ, автоматикаҳои технологӣ, таҷҳизоти заминваслак (ТЗ) ва дигар воситаҳои ба онҳо монандро истифода мебаранд.

Кори боэътимоди таҷҳизоти заминваслак бо речаҳои кори таҷҳизоти барқӣ ва риояи қоидаҳои гузаронидани корҳои таҳлилии ҳолати онҳо вобаста аст.

Дар амал заминваслакҳои ғайривиро ва корӣ мавҷуд мебошанд, ки онҳо мутаносибан барои таъмини беҳатарии барқӣ ва речаҳои кори муқаррарии таҷҳизоти барқӣ пешбинӣ шудаанд. Таъмини беҳатарии барқӣ ба воситаи заминваслаки ғайривиро аз ҳисоби баробаркунии потенциалҳои сатҳ ва таҷҳизоти заминваслшуда иҷро карда мешавад. Заминваслаки корӣ барои таъмини кори муқаррарии аппаратҳои барқӣ лозим мебошад, яъне таъмини контакти боэътимод байни нейтрал ва замин. Дар ин ҳолат, замин ҳамчун ноқили бозгашти занҷир истифода мешавад. Ҳамин тавр, кори дурусти таҷҳизоти заминваслак бевосита ба таъминоти захиравии эътимодият ва беҳатарӣ таъсир расонида метавонад.

Бо вучуди ин, заминваслак дар вақти истифодабарӣ бо мушкилоти гуногуни техникӣ дучор мешавад, ки ба ин мушкилотҳо дохил мешаванд: баландшавии муқовимати ҷараёни паҳншаванда, бадшавии ҳолати зангхурдашавии он ва ғайра.

Дар айни замон як қатор ҳуҷҷатҳои меъёриву техникӣ барои баҳодихии ҳолати воқеии заминваслакҳо мавҷуд мебошанд. Мувофиқи усулҳои амалкунанда барои баҳодихии ҳолати заминваслакҳо ҷенкунии параметрҳои зиёди ТЗ талаб карда мешаванд.

Усулҳои амалкунандаи баҳодихии ҳолати заминваслакҳо маблағи зиёди

харочоти молиявӣ, меҳнатӣ ва вақтро талаб мекунад. Аз ин сабаб, барои баҳо додани ҳолати унсурҳои заминваслақҳо бе истифода бурдани асбобҳои гаронарзиш ва амалиёти кандани хоки рӯи заминваслақҳо имконияти истифодаи моделҳои математикии мавҷударо дар таҷҳизоте, ки параметрҳои назоратии онҳо ро чен карда метавонанд, аз назар гузаронидан лозим аст.

Дар айни замон усули баҳодиҳии ҳолати зангзании унсурҳои ТЗ мавҷуд аст, ки муфوفيки он истифодаи қимати миёнаи солонаи намнокии хок дар ҷои ҷойгиршавии электроди заминваслақ ва қимати миёнаи ҷараёнҳои, ки тавассути электродҳои амудӣ ва уфуқӣ ҷорӣ мешаванд, тавсия дода мешавад. Вале, ин усул ченкунии доимии намии хок ва ҷараёнҳои, ки тавассути заминваслақ ҷорӣ мешаванд, талаб мекунад. Бо истифода аз ин усул ҳолати унсурҳои таҷҳизоти заминваслақро ба таври автоматӣ назорат ва таҳхис кардан мумкин аст, то ба эътимоднокии таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии кормандони истифодакунанда баҳо дода шавад.

Мо чунин мешуморем, ки имконияти сохтани дастгоҳи барномавӣ-аппаратӣ барои чен ва ҳисоб кардани қимати миёнаи солонаи намии хок ва ҷараёнҳои, ки тавассути электродҳои заминваслақшаванда ҷорӣ мешаванд, бо ёрии микроконтроллерҳои барномарезишаванда имконпазир аст. Коркарди системаи автоматикунонидашудаи баҳодиҳии ҳолати унсурҳои заминваслақ вобаста ба қимати миёнаи намии хок ва ҷараёнҳои, ки тавассути электродҳои заминваслақшаванда ҷорӣ мешаванд, имкони пасткунии камбудии мавҷударо ба вуҷуд оварда, дараҷаи эътимодият ва бехатарро баланд бардорад. Ин масъалаи мубрами илмӣ-техникӣ мебошад. Барои ҳалли ин масъала истифодаи микроконтроллерҳои ҳозиразамон, қосидаҳои намнокии хок ва ҷараёнро истифода бурдан мумкин аст, зеро микроконтроллерҳои барномарезишаванда функцияи табдилдиҳандаҳои аналогӣ-рақамиро доранд, коркарди сигналҳои рақамӣ, инъикоси қимати онҳо дар дисплейҳои интиқоли сигналҳои рақамӣ тавассути GSM-модулҳо.

**Дараҷаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ:** доир ба кори диссертатсионӣ олимони В.И. Щуцкий, А.И. Сидоров, Н.И. Воропай, З.Ш. Юлдашев, А.Я. Абдурахмонов, М.Б. Иноятлов, Ю.Б. Гук, В.Г. Китушин, В.А. Непомнящий, Ю.Н. Руденко, М.Н. Розанова, В.В. Бургсдорф, А.И. Якобс, Р.Н. Карякин, Н.П. Катигроб ва дигарон таҳқиқотҳо гузаронида, дар самти таҳқиқот ва коркарди усулҳои навин доир ба баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии хизматрасонии он саҳми арзанда гузоштаанд.

#### **Робитаи таҳқиқот бо барномаҳо (лоиҳаҳо) ва мавзӯҳои илмӣ.**

Диссертатсия ба талаботҳои меъёрии барномаҳои зерин мувофиқат менамояд. Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 (№392, аз 01.10.2016 с.), Қонуни Ҷумҳурии Тоҷикистон дар бораи энергетика (№1909, аз 19.07.2022 с.), Консепсияи ташаққули ҳукумати электронӣ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон (№643, аз 30.12.2011 с.).

**Мақсади кор:** асосноккунӣ ва коркарди системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатарии он бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии унсурҳои ТЗ.

Барои ба даст овардани мақсади гузошташуда дар рисолаи илмӣ масъалаҳои зерин ба миён гузошта шуда, ҳал карда шудаанд:

1. Таҳлили омилҳои таъсиркунанда ба эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он ва асосноккунии алоқамандии онҳо бо таҷҳизоти заминваслак.

2. Таҳлили усулҳои амалкунандаи баҳодиҳии нишондиҳандаҳои эътимодият ва бехатарии таҷҳизоти барқӣ.

3. Коркарди моделҳои компютерӣ ва физикии системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он.

4. Коркарди таъминоти барномавии системаи автоматонидашудаи эътимодият ва бехатарии барқӣ.

5. Баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он бо истифодаи системаи коркардшудаи автоматонидашуда.

**Объекти таҳқиқот:** таҷҳизоти заминваслаки таҷҳизоти барқии намуд ва таъйиноти гуногундошта.

**Предмети таҳқиқот:** муқаррарнамоии имкониятҳои истифодаи системаи автоматонидашудаи коркардшудаи баҳодиҳандаи эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии он бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии унсурҳои ТЗ.

**Усулҳои таҳқиқот.** Ба сифати усулҳои асосии таҳқиқот усули моделкунонии физикӣ ва математикии равандҳои бадшавии ҳолати унсурҳои заминваслакҳо, усули мантиқӣ-эҳтимолӣ барои баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии истифодаи он, истифодаи шудаанд. Ҳангоми коркарди модели физикии системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он системаи ҳисоббарори автоматонидашудаи лоиҳакашӣ Proteus истифода шудааст.

**Навгони илмӣ кор иборат аст:**

1. Модели физикии таҷҳизот (бо патенти хурди ҚТ, № ТҶ 1498 ҳифз шудааст) ва таъминоти барномавии (шаҳодатномаи муаллифии ҚТ, №177) барои баҳодиҳии ҳолати заминваслак коркард шудааст, ки он бо мақсади баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он истифода мешавад.

2. Методикаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он, бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии унсурҳои заминваслак коркард шудааст.

**Натиҷаҳои асосии ба ҳимоя пешбинишуда:**

1. Эътимодияти таҷҳизотҳои барқӣ ва бехатарии хизматрасонии он ба воситаи системаи автоматикунонидашуда баҳо дода шуд.

2. Алоқамандии эътимодият ва бехатарии таҷҳизотҳои барқӣ бо унсурҳои заминваслак асоснок карда шуд.

3. Барои коркарди системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатарии он микроконтроллерҳои муосир истифода шудаанд.

**Аҳамияти амалӣ ва татбиқи натиҷаҳо:**

1. Системаи автоматонидашудаи коркардшуда имкони истифодабарӣ барои баҳодиҳии ҳолати воқеии унсурҳои заминваслаки зеристгоҳҳои намуд ва таъйиноти гуногундоштаро дорад.

2. Системаи автоматонишудаи коркардшуда имкон медиҳад, ки вобаста аз қимати миёнаи солонаи намнокии хок ва чараёнҳои ба воситаи электродҳои заминваслак ҷоришаванда ҳолати воқеии унсурҳои заминваслак муайян шуда, нишондиҳандаҳои эътимодият ва бехатарӣ баҳо дода шавад.

3. Натиҷаҳои ба даст овардашудаи муаллиф ҳангоми коркарди системаи автоматонидашудаи таҷҳизот барои баҳодиҳии ҳолати унсурҳои заминваслак дар раванди таълими донишҷӯёни ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, аз рӯи фанҳои «Электроникаи энергетикӣ», «Унсурҳои таҷҳизотҳои автоматикӣ», «Бехатарии электрикӣ» ва «Асосҳои техникаи микропротсессорӣ» ва дар раванди кори ҶСК «Барқи Тоҷик» истифода мешаванд.

**Дурустии дастовардҳо ва натиҷаҳои илмӣ натиҷаҳои ба даст омада ва ҳулосаҳо** дар истифодаи дурусти моделҳои математикӣ барои муайянкунии ҳолати заминваслакҳо бо мақсади баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии истифодаи он асоснок карда шудаанд.

#### **Мутобиқати диссертатсия аз рӯи шаҳодатномаи ихтисоси илмӣ.**

Диссертатсия аз рӯи бандҳои зерини Шаҳодатномаи номгӯи ихтисосҳои коргарони илмӣ анҷом дода шудааст:

**банди-3** «Таҳия, таҳқиқот, тақмили технологияҳои мавҷуда ва таҳияи технологияҳо ва таҷҳизоти нави истеҳсоли энергияи электрикӣ ва гармӣ, истифодаи сӯзишвории органикӣ ва алтернативӣ, навъҳои барқароршавандаи энергия, об омодакунӣ ва речаҳои обӣ-химиявӣ, роҳҳои кам кардани таъсири манфӣ ба муҳити зист, баланд бардоштани эътимоднокии ва захираҳои элементҳои системаҳои энергетикӣ, комплексҳо ва таҷҳизоти электрикии ба онҳо дохилшаванда» модели физикии коркардшуда шомили банди мазкур мебошад, ки он имкон медиҳад ҳолати унсурҳои заминваслакҳо бо мақсади баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии истифодаи он, санҷида шавад;

**банди-4** «Коркарди равишҳои илмӣ, усулҳо, алгоритмҳо, технологияи конструкторию лоихакашӣ, назорат ва таҳҳис, баҳодиҳии эътимоднокии таҷҳизоти асосӣ ва ёрирасони системаҳои энергетикӣ, неругоҳҳо ва комплексҳои энергетикӣ...» таъминоти барномавии коркардшудаи системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодият ва бехатарӣ шомили банди мазкур мебошад; модели физикии коркардшуда шомили банди мазкур мебошад, ки он бе истифода аз миқдори зиёди воситаҳои барномавӣ-аппаратӣ ва кандани қабати болоии ҳок имкони баҳодиҳии ҳолати воқеии унсурҳои заминваслакро фароҳам меорад;

**банди-7** – «Таҳияи усулҳои рақамӣ ва физикии таҳлил ва назорати параметрҳои речаҳои таҷҳизоти асосии неругоҳҳои электрикӣ, зеристгоҳҳо, шабакаҳои электрикӣ, системаҳои энергетикӣ, системаҳои электротабминкунӣ ва шабакаҳои электрикии мини- ва микрогридҳо» асосноккунии таҷҳизоти коркардшуда барои санҷиши ҳолати унсурҳои заминваслак, ки он аз ҳисоби назорати доимии омилҳои таҳқиқшаванда кор мекунад, дахл дорад.

**Санҷиш ва татбиқи натиҷаҳо:** натиҷаҳои асосии кори мазкур дар натиҷаи гузаронидани таҳқиқотҳои зиёди табиӣ (натурный) дар моделҳои компютерӣ ва физикӣ ба даст оварда шудаанд.

Натиҷаҳои асосии рисолаи илмӣ дар чорабиниҳои илмӣ зерин мавриди муҳокима қарор гирифтаанд: конференсияи V-уми илмӣ-амалии байналмилалӣ донишҷӯён, магистрантон, аспирантон ва унвонҷӯён «Илм – ососи рушди инноватсионӣ», ш. Душанбе, с.2020, 2024; III International Conference “Current Problems Of The Energy Complex: Mining, Production, Transfer, Processing And

Environmental Protection” Moscow, 2021; IEEE Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry (2023). Ensuring the Safety of a Quarry Distribution Network with a Voltage of 6–35 kV. Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022; конференсияи VI-уми илмӣ-техникии байналмилалӣ «Истиклолияти технологӣ ва рақобатпазирии давлатҳои иттиҳод, мамлакатҳои ИДМ, ИИАО ва СХШ», ш. Минск, с.2023; конференсияи VII-уми умумироссиягии донишҷӯён бо иштироки байналмилалӣ «Бехатарии фаъолияти инсон аз нигоҳи ҷавонон», ш. Челябинск, с. 2023; конференсияи байналмилалӣ илмӣ-амалии: «Энергетика: ҳолат ва дурнамои рушд», ш. Душанбе, с. 2023; конференсияи IX-уми байналмилалӣ илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрантон, аспирантон ва унвонҷӯён «Илм – асоси рушди инноватсионӣ», ш. Душанбе, с. 2024; конференсияи VIII-уми байналмилалӣ илмӣ-амалии, бахшида ба 65-умин солгарди кафедраи БФИ Донишгоҳи давлатии Урали Чанубӣ «Бехатарии фаъолияти инсон дар ҳазорсолаи сеюм», ш. Челябинск, с. 2024; семинарҳои илмӣ кафедраи ҲРваАСЭ ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, солҳои 2020 – 2024.

**Саҳми шахсии муаллиф** дар мустақилона навиштани диссертатсия, иштироки бевосита дар масъалагузориҳои мавзуи таҳқиқот, таҳқиқоти назариявӣ, баргузориҳои корҳои озмоишӣ, таҳияи пешниҳод ва хулосаҳо, таҳлил ва хулосабарориҳои ҷамъбасти, инчунин татбиқ ва наشري натиҷаҳои таҳқиқот дар маҷаллаҳои тақризшаванда ифода ёфтааст.

**Мақолаҳо.** Аз рӯи мавзӯи рисолаи илмӣ 14 номгӯи маводи ҷопӣ омода шуда, аз онҳо 3 мақола – дар нашрияҳои даврии ҷавобгӯ ба талаботҳои ҚОА назди Президенти ҚТ, ҚОА ФР, 2 кор – дар маводҳои конференсияҳои ба базаи маълумотҳои SCOPUS воридшаванда ва 7 мақола дар маводҳои конференсияҳои илмӣ-амалӣ ва илмӣ-техникӣ, як патенти хурди ҚТ ва як шаҳодатномаи муаллифӣ барои барномаи компютерӣ ба даст оварда шудааст.

**Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия.** Рисолаи илмӣ аз муқаддима, се боб, хулосаҳои асосӣ, рӯйхати адабиёт (157 номгӯ) ва 5 замима иборат мебошад. Миқдори саҳифаҳои рисола 155 саҳифаи матни мошинавиро дар бар гирифта, 46 расм ва 8 ҷадвалро фаро гирифтааст.

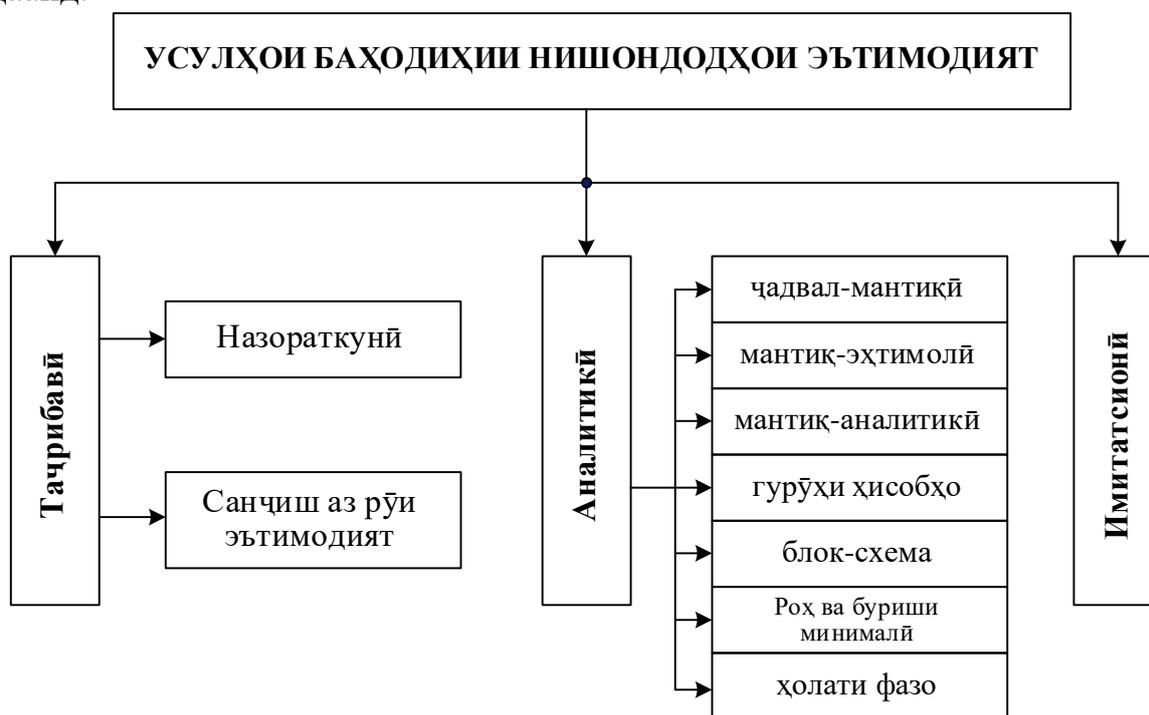
## МУНДАРИҶАИ КОР

**Дар муқаддима** асосноккунии мубрамияти рисолаи илмӣ оварда шуда, мақсад ва ҳадафҳои таҳқиқот тартиб дода шудааст: объект ва предмети таҳқиқот муайян шудааст; навгонии илмӣ ва аҳамияти амалӣ оварда шудааст; натиҷаҳои асосии ба ҳимоя пешбинишаванда нишон дода шудааст; масъалаи татбиқ ва апробатсияи натиҷаҳои ба даст овардашуда инъикос ёфтааст. Ҳамчунин асоси методологии рисолаи илмӣ ва усулҳои таҳқиқот дар вақти ҳалли масъалаҳои гузошташуда оварда шудаанд.

**Дар боби якум «Ҳолати кунунии масъала ва асоснокии ҳадафҳои таҳқиқот»-и** рисолаи илмӣ нишондиҳандаҳои асосии эътимодият ва бехатарии хизматрасонии таҷҳизоти барқӣ, усулҳои баҳодихии эътимодият аз назар гузаронида шудаанд.

Масъалаи эътимодияти таҷҳизоти барқӣ яке аз мураккабтарин мушкилот дар самти энергетикаи барқӣ ҳисобида мешавад. Зеро он ба речаҳои кории таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии ҳаياتи хизматрасон таъсир мерасонад. Дар натиҷаи бадшавии нишондиҳандаҳои эътимодият дар шабакаҳои барқӣ речаҳои ғайримуқаррарӣ пайдошуда, боиси сар задани садамаҳо дар таҷҳизоти барқӣ мегардад. Таъмини эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ба баҳодиҳии дурусти нишондиҳандаҳои асосии он алоқамандӣ дорад.

Усулҳои асосии баҳодиҳии нишондиҳандаҳои эътимодият усули таҷрибавӣ (эксперименталӣ), аналитикӣ ва имитатсионӣ мебошанд. Барои асосноккунии масъалаи баҳодиҳии нишондодҳои эътимодият хусусиятҳои истифодаи усулҳои амалкунандаи эътимодиятро дар зер аз назар мегузаронем. Дар рас. 1 усулҳои асосии баҳодиҳии нишондодҳои эътимодият оварда шудаанд.



Расми 1 – Усулҳои баҳодиҳии нишондиҳандаҳои эътимодият

Ҳамчунин дар доираи боби якуми рисола омилҳои ба эътимодият ва бехатарии таҷҳизоти электрикӣ таъсиркунанда, аз назар гузаронида шудаанд. Омилҳои асосии ба эътимодияти таҷҳизоти барқӣ таъсиркунанда инҳо ба ҳисоб мераванд: муҳити атроф; омилҳои тарзи хизматрасонӣ; инсонӣ (ногаҳонӣ); хатокунӣ дар вақти лоиҳакашӣ ва насби таҷҳизот. Вале омилҳои, ки ба хизматрасонии бехатари таҷҳизоти барқӣ таъсиркунанда: омилҳои иқлим, речаҳои корӣ ва захираи кории таҷҳизоти барқӣ ба ҳисоб мераванд.

Асосноккунии алоқамандии нишондиҳандаҳои эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии хизматрасонии он оварда шудааст.

Дар ин маврид яке аз элементе, ки ҳам эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва ҳам принсипи сохтани ҷимояи ҳаياتи хизматрасонро таъмин мекунад, заминваслак ба ҳисоб меравад.

Бо вучуди ин, ҳолати унсурҳои ТЗ аз ҳолати сатҳи эътимодият ва бехатарии хизматрасонии таҷҳизоти барқӣ маълумот медиҳад, яъне бо иҷрои мониторинги ҳолати онҳо имкони баҳодиҳии сатҳи эътимодият ва бехатарӣ мавҷуд мебошад.

Муқаррар карда шудааст, ки мувофиқи ҳуҷҷатҳои меъёрӣ-техникии амалкунанда ҳолати зангхурдашавии унсурҳои заминваслак бо роҳи кандани қабати болои хок дар ҷои ҷойгиршавии заминваслак муайян карда мешавад. Тавре, ки дар боло оварда шудааст кандани қабати болои хок дар ҷойҳои муайяншуда иҷро карда мешавад. Зангхурдашавӣ дар гирди электродҳои заминваслшаванда ба воситаи микрометр ва штангенциркулҳо муайян карда мешавад. Вобаста ба ғафсии қабати зангхурдашавӣ дар гирди электродҳо ҳолати техникий унсурҳои ТЗ баҳо дода мешавад. Ин усул барои баҳодиҳии ҳолати воқеии унсурҳои заминваслак кандани қабати болои хокро ҳатман талаб мекунад, ки дар он истифодаи асбобҳои махсус, асбобҳои ченкунанда ва харчи калони меҳнатро пешбинӣ мекунад.

Ҳамчунин “Усули баҳодиҳии ҳолати ТЗ, дар асоси омилҳои новобаста”-и мавҷуда аз назар гузаронида мешавад, ки он дар асоси назарияи банақшагирии математикий эксперимент тартиб дода шудааст. Ин усул муайянкунии ҳолати зангхурдашавии унсурҳои заминваслак ва тағйирёбии муқовимати ҷараёни паҳншавандаро вобаста аз ду омилҳои ба таври назаррас ба раванди зангхурдашавӣ таъсиркунанда (намнокии хок ва мавҷудияти ҷараён дар заминваслакҳо) пешниҳод мекунад. Мувофиқи ин усул ҳолати зангхурдашавӣ аз рӯи талафоти вазни металл  $y_1$  зери таъсири коррозия ва муқовимати ҷараёни паҳншаванда  $y_2$  – аз рӯи динамикаи тағйирёбии он муайян карда мешавад. Қонуниятҳои математикӣ дар асоси баробариҳои регрессионии тартиби дуюм муайян карда шуда, дар ин ҳолат коэффитсиентҳои доимии тартиби дуюм ва шакли пурраи баробарии раванди зангхурдашавӣ ва тағйирёбии муқовимати ҷараёни паҳншавандаи ТЗ (1, 2) параметрҳои асосии ин модел  $X_1$  ва  $X_2$  мебошанд, яъне мутаносибан қимати намнокии хок ва ҷараёнҳои ба воситаи унсурҳои заминваслак ҷоришаванда.

$$y_1 = 0,1525 - 0,0205X_1 - 0,023591X_2 + 0,0138X_1^2 - 0,083381X_2^2 - 0,0568X_1 X_2 \quad (1)$$

$$y_2 = 5,932 - 0,76928X_1 - 1,01368X_2 + 0,3245X_1^2 - 2,72325X_2^2 - 2,39545X_1 X_2 \quad (2)$$

дар ин ҷо:  $y_1$  – талафоти массаи металли унсурҳои заминваслакҳо;  $y_2$ -тағйирёбии муқовимати ҷараёни паҳншавандаи ТЗ,  $X_1$  – намии хок,  $X_2$  - ҷараёнҳо.

Бояд қайд кард, ки ин модели математикӣ дар асоси маълумоти бадастомада, ки дар тӯли 240 соат омӯхта шудааст, таҳия шудааст. Муаллифони ин усул дар асоси (3 ва 4) муодилаҳои математикиро барои муддати дарозтар пешниҳод мекунанд, яъне муайян кардани доимии «*коэффитсиенти вақт*»  $k_B$ .

$$k_{B1} = \frac{y_1}{n} \% / \text{шабонарӯз} \quad (3)$$

$$k_{B2} = \frac{y_2}{n} \% / \text{шабонарӯз} \quad (4)$$

Дар ин ҳолат, қимати ҳақиқии талафоти вазни метали солонаи электродҳои заминваслашаванда ва тағйирёбии муқовимати чараёни паҳншавандаи заминваслак аз ҳисоби зариби  $k_v$  ва давомнокии истифодабарии ТЗ, шабонарӯз, ба даст овардан имконпазир аст.

$$\Delta m = k_{v1} \cdot T, \% \quad (5)$$

$$\Delta R = k_{v2} \cdot T, \% \quad (6)$$

дар ин чо:  $\Delta m$  – талафоти массаи метали унсурҳои заминваслакҳо;  $\Delta R$  – тағйирёбии муқовимати чараёни паҳншавандаи ТЗ (дар муддати 240 соат).

Ҳамин тавр, ченкунии доимии омилҳои ғайривобастаро ба роҳ монда, яъне қимати намнокии хок ва чараёнҳои ба воситаи заминваслак ҷоришаванда, ҳолати воқеии заминваслакҳоро бе иҷрои корҳои кандани қабати болоии хок баҳо додан мумкин аст.

Таҳлили маводҳои овардашуда нишон медиҳад, ки муносибтарин усули санҷиши ҳолати унсурҳои заминваслак, ки он истифодаи асбобҳои ченкунандаи қиммат, гузаронидани корҳои айёни ва харчи меҳнато талаб намекунад “Усули баҳодихии ҳолати ТЗ, дар асоси омилҳои новобаста” мебошад. Камбудии ин усул ба он алоқаманд аст, ки қимати миёнаи намнокии хок дар ҷои ҷойгиршавии ТЗ ва чараёнҳои тавасути заминваслак ҷоришаванда бояд бо роҳи ченкунии доимӣ муайян карда шаванд.

Дар ин ҳолат истифодаи микроконтроллерҳои барномарезишавандаи замонавӣ ва қосидаҳои муносиб имконияти коркарди системаи автоматонидашудаи баҳодихии эътимодият ва беҳатарии хизматрасонии таҷҳизоти барқиро фароҳам меорад, ки ин бо роҳи гузаронидани мониторинги ҳолати унсурҳои заминваслак иҷро мешавад.

**Дар боби дуум “Таҳлили имкониятҳои микроконтроллерҳои силсилаи Atmel ва тавсифоти қосидаҳо”** хусусиятҳои микроконтроллерҳои AVR, тавсифоти портҳо (даромад/баромадҳо), таҷҳизоти периферӣ ва архитектураи ядрои микроконтроллерҳо аз назар гузаронида шудааст. Ҳамчунин тавсифоти асосии микроконтроллерҳои навҳои ATmega8-16PU, ATmega163 ва ATmega328, гуногунии баданҳои онҳо ва дигар хусусиятҳои техникашон оварда шудааст. Микроконтроллерҳои барномарезишавандаи дидашудаи силсилаи Atmel дорои миқдори зиёди таҷҳизоти периферӣ мебошад, ки истифодаи онҳо имкон медиҳад масъалаҳо ва мақсади гузошташуда ҳал карда шаванд. Дар ҷадвали 1 параметрҳои асосӣ (ҳофизаи Flash, ҳофизаи EEPROM, ҳофизаи амалиётӣ таҷҳизот, миқдори даромад/баромадҳо, шиддати корӣ, басомадӣ зарбавӣ ва навъи бадана) микроконтроллерҳои навҳои ATmega8-16PU, ATmega163 ва ATmega328 оварда шудаанд.

Ҷадвали 1 – Параметрҳои асосии микроконтроллерҳои навъи ATmega8-16PU, ATmega163 ва ATmega328

Навъ	Ҳофизаи FLASH, Кбайт	Ҳофизаи EEPROM, байт	Ҳофизаи амалиётӣ, байт	Миқдори пинҳо, дона	Шиддати қорӣ, В	Басомад, МҲс	Навъи бадана
ATmega8-16PU	8	512	1024	28	2,7...5,5	0...8	DIP
				32	4,5...5,5	0...16	TQFP, MLF
ATmega163	16	512	1024	40	4,0...5,5	0...4	DIP
				44	2,7...5,5	0...8	TQFP
ATmega328	32	1024	2048	28	1,8...5,5	16	DIP
				32	2,7...5,5	20	TQFP
				32	4,5...5,5	20	MLF

Микроконтроллерҳои нишондодашуда дар баданаҳои DIP, TQFP ва MLF истеҳсол карда мешаванд, ки онҳо мутаносибан дорои 28, 32 ва 32 баромад мебошанд. Разряднокии ҳамаи намудҳои микроконтроллерҳо аз 8-бит иборат мебошад.

Ҳамин тавр, дар доираи боби дуҷуми рисолаи илмӣ микроконтроллери навъи ATmega328 барои таҷҳизоти коркардшаванда интихоб карда мешавад.

Микроконтроллери барномарезишавандаи таҷҳизоти электронии такмилёфта ҳисобида мешавад, ки он дар намудҳои гуногуни баданаҳо истеҳсол карда мешавад. Ин таҷҳизоти дар баданаи DIP сохташударо аз назар мегузаронем. Дар расми 1 ишораҳои ҳуруфӣ ва рақамгузори баромадҳои микроконтроллер нишон дода шудааст, ки шумораи умумии пояҳои он ба 28 баробар аст.

Дараҷаи универсалии ин таҷҳизоти электронӣ дар он дида мешавад, ки як поя чор функсияро иҷро карда метавонад. Ин таҷҳизот аз чор порт иборат мебошад PB0...PB7 (баромадҳои 14 – 19, 9 – 10), PC0...PC6 (23 – 28, 1), PDO...PD7 (2 – 6, 11 – 13), баромадҳо барои манбаи таъминот VCC (7) ва GND (8, 22) ва дигар тамосҳо. Дар доираи ин боби рисолаи илмӣ схемаҳо ва моделҳои физикӣ барои пайвасти программатори USBasp V.2.0 ба микроконтроллерҳои истифодашаванда коркард шудаанд, ки намуди умумии он дар рас. 2 оварда шудааст.



Расми 2 – Пайвасти USBasp V.2.0 ба микроконтроллер

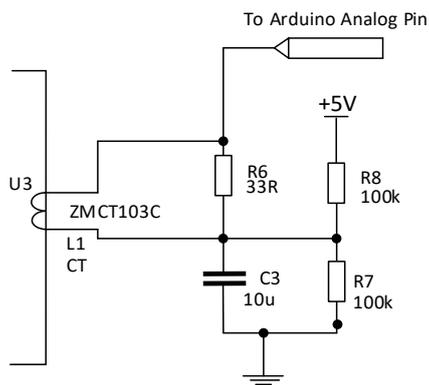
Ҳамчунин таҳлили имкониятҳои техникӣ қосидаки намнокии хок ва қосидаки чараёни тағйирёбанда гузаронида шудааст. Дар рас. 3 намуди берунии

қосидаки ғунҷоишии намнокии хок оварда шудааст, ки он барои таҷҳизоти коркардшаванда интиҳоб карда шудааст.



Расми 3 – Намуди умумии қосидаки ғунҷоишии навъи V2.0

Дар доираи ин боби рисолаи илмӣ параметрҳои қосидаки навъи ZMCT103C оварда шудааст, ки он функцияи трансформатори ченкунандаи ҷараёнро иҷро мекунад. Ин қосидак функцияи трансформатори ҷараёнро иҷро карда, вале печай якум надорад (ноқили тавассути суроҳии он гузаранда функцияи печай якумро иҷро мекунад). Қосидаки ҷараёни тағйирёбанда барои ченкунии ҷараёнҳои тавассути ноқили заминваслкунанда ҷоришаванда лозим аст. Дар рас. 4 намуди уммӣ *а)* ва схемаи принципалии *б)* қосидаки ZMCT103C оварда шудааст.



*а)*

*б)*

Расми 4 – Қосидаки ҷараёни тағйирёбанда ZMCT103C, *а)* намуди уммӣ *б)* схемаи принципалии

Барои назорати фосилавии параметрҳои ченкардашуда имконияти истифодаи GSM-модули навъи SIM800C дар таҷҳизоти коркардшаванда ба назар гирифта мешавад.

Тавсифоти асосии GSM-модули навъи SIM800C тахминан пурра ба параметрҳои микроконтроллери навъи ATmega328 мутобиқат мекунад. Шиддати номиналии SIM800C 3,7...4,2 В-ро ташкил медиҳад. Дар рас. 5 намуди умумии GSM-модули навъи SIM800C оварда шудааст.



Расми 5 – Намуди умумии GSM-модули навъи SIM800C

Истифодаи GSM-модули навъи SIM800C дар системаи автоматонидашуда барои интиқоли бетанафуси қимати намнокии хок ва чараёнҳои тавассути заминваслак чоришаванда ба телефони мобилӣ, тавассути SMS паёмак лозим мебошад.

Таҳлилҳои техникӣ компонентҳои электронии дар боби дуҷуми рисолаи илмӣ овардашуда нишон медиҳанд, ки тавсифоти микроконтроллерҳо, қосидаҳои намнокии хок, қосидаки чараёни тағйирёбанда, табдилдиҳандаҳои аналогӣ-рақамӣ, GSM-модул ва дигар компонентҳои электронӣ дорои имкониятҳои васеи техникӣ мебошанд. Қосидаки намнокии хок навъи V2.0 ҳудуди калони ченкунӣ дорад, ки бе мушкилӣ ба микроконтроллер пайваст шуда, ҳамаи тавсифоти он ба параметрҳои микроконтроллери ATmega328 мутобикат мекунад. Барои ченкунии қимати чараёни тавассути унсурҳои заминваслак чоришаванда, қосидаки чараёни тағйирёбандаи навъи ZMTC103C аз назар гузаронида шудааст, ки сигналҳои баромади он ба микроконтроллери интихобшуда пурра мутобикат мекунад. Ҳамчунин барои иҷрои амали назорати фосилавии параметрҳои заминваслак параметрҳои GSM-модули навъи SIM800C, таҳлил карда шудааст, ки истифодаи он барои интиқоли маълумотҳои рақамии дилхоҳ ҳаҷм дар GSM-шабакаҳо мувофиқи мақсад ҳисобида шудааст.

Тавре, ки аз маълумотҳои дар боло овардашуда бар меояд, тавсифоти компонентҳои рақамӣ имкон медиҳанд, ки коркарди системаи автоматонидашудаи эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии хизматрасонии он бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии ҳолати ТЗ, коркард карда шавад.

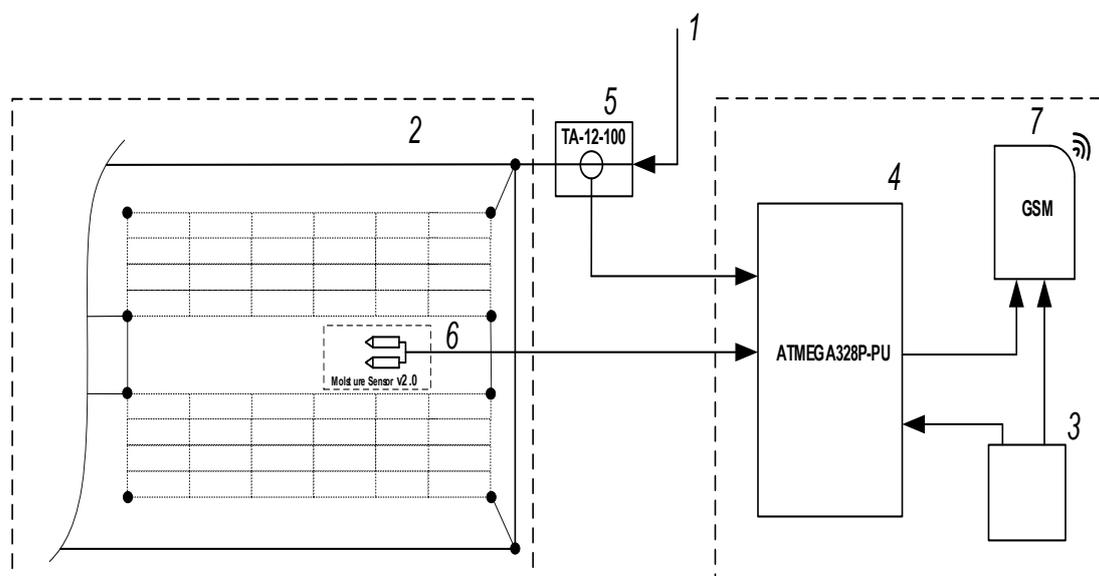
Барои ин коркарди таҷҳизоти дорои микроконтроллер, қосидаҳо барои ченкунии намнокии хок ва чараёнҳои тавассути заминваслак чоришаванда ва GSM-модул лозим меояд. Барои назорати маҳаллии параметрҳои ТЗ таҷҳизоти инъикоскунандаи маълумот LCD-дисплейҳоро истифода бурдан мумкин аст. Бо мақсади санҷиши заминваслак аз рӯи “Усули баҳодихии ҳолати ТЗ, дар асоси омилҳои новобаста” коркарди таҷҳизоти барномавӣ-аппаратӣ бо истифодаи компонентҳои рақамии дар боло овардашуда лозим аст.

**Дар боби сеюм “Коркарди системаи автоматонидашудаи баҳодихии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он”** схемаи принципалии системаи автоматонидашудаи баҳодихии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он, модели компютерӣ, модели физикӣ ва таъминоти барномавӣ коркард шудаанд. Дар вақти коркарди системаи

автоматонидашуда санчиши ҳамаи компонентҳои электронӣ ба таври алоҳидагӣ гузаронида мешавад.

Тавре, ки аз таҳлилҳои дар боло овардашудаи компонентҳои электронӣ бар меояд, тавсифоти техникии микроконтроллерҳо, қосидакҳои намнокии хок, қосидаки ҷараёни тағйирёбанда ва GSM-модул имкон медиҳанд таҷҳизот дар асоси микроконтроллери навъи ATmega328 коркард карда шавад. Ин таҷҳизот метавонад дар як лаҳза қимати намнокии хок ва ҷараёнҳои тавассути заминваслак ҷоришавандаро чен кунад, зеро мувофиқи [4-А] барои санчиши ҳолати унсурҳои заминваслак қимати миёнаи параметрҳои дар боло овардашуда талаб карда мешавад. Ҳамчунин, барои ба таври фосилавӣ чен кардани параметрҳои лозима истифодаи GSM-модулро роҳандозӣ кардан лозим аст. Ҳамин тавр, истифодаи микроконтроллери барномарезишавандаи ATmega328 имконият медиҳад, системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии ҳолати унсурҳои заминваслак, коркард карда шавад. Барои ин аввалан схемаи принсипиалии барқӣ, схемаи сохторӣ ва модели физикии системаи автоматонидашударо сохтан лозим аст.

Тавре ки маълум аст, дар схемаҳои принсипиалии барқӣ алоқаи электрикии компонентҳои электронӣ, пайдарпайии қор ва принсипи қории онҳо нишон дода мешаванд. Ин схема бояд эътимодият, бехатарӣ, муносиб дар вақти истифодабариву таъмир ва аз ҷиҳати иқтисодӣ мувофиқ будани таҷҳизоти коркардшавандаро таъмин кунад, зеро схемаҳои принсипиалии барқӣ ҳамавақт асос барои коркарди схемаҳои сохторӣ, функционалӣ ва васлӣ ҳисобида мешавад. Дар схемаҳои принсипиалии таҷҳизоти коркардшаванда ишораҳои шартӣ-графикӣ ва ҳуруфии ҳамаи компонентҳои электронӣ нишон дода шудаанд. Тавре, ки дар боло қайд шудааст, принсипи қории системаи автоматонидашудаи коркардшаванда ба ченкунии қимати намнокии хок ва ҷараёни заминваслак ва калкулятсияи қимати миёнаи онҳо асоснок карда шудааст, усули дар § 1.14 рисола овардашуда.



Расми 6 – Схемаи принсипиалии системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он

Тавре, ки дар боло оварда шудааст, қосидаки ҷараёни тағйирёбанда 5 ба ноқили заминваслқунанда 1 пайваст мешавад. Ин қосидак 5 метавонад тавассути трансформатори ҷараён пайваст шавад, вале саҳеҳияти он бояд ба назар гирифта шавад. Барои ченкунии намнокии хок электроди қосидаки ғунҷоишӣ 6 ба замин 2 дохил карда мешавад. Қимати ҷараён ва намнокии хок тавассути ноқилҳои пайвастқунанда ба микроконтроллери Atmega328P-PU 4 интиқол дода мешаванд ва баъд аз коркарди рақамии он тавассути GSM-модул 7 бо SMS-паёммак ба дилхоҳ муштарӣ интиқол дода мешавад. Таъминоти ҳамаи унсурҳо аз манбаи таъминот 3 иҷро карда мешавад (ё ин ки аз батареяи аккумуляторӣ), ки он ба манбаи ҷараёни амалиётҳои зеристгоҳ пайваст аст. Тавре ки аз рас. 6 бармеояд, «майнаи электронии» таҷҳизоти коркардшаванда Atmega328P-PU 4 ба ҳисоб меравад, ки он сигналҳои рақамиро аз қосидакҳои муносиб қабул карда, баъд аз коркард ба нуқтаи таъйиншуда интиқол медиҳад. Ҳамаи компонентҳо манбаи таъминотро аз ҳисоби манбаи ҷараёни росткардашуда ё ин ки батареяи аккумуляторӣ 3 ба даст меоранд. Ҳангоми пайвасти манбаи таъминот микроконтроллер ва дигар компонентҳои электронӣ ба кор мебароянд.

Дар вақти санҷиши намнокии хок ва ҷараёнҳои бо заминваслак ҷоришаванда, таҷҳизоти рақамӣ дар марҳилаи лоиҳакашӣ бояд даври ченкунӣ ба назар гирифта шавад. Ин масъаларо дар вақти коркарди таъминоти барномавии таҷҳизот ҳал кардан мумкин аст.

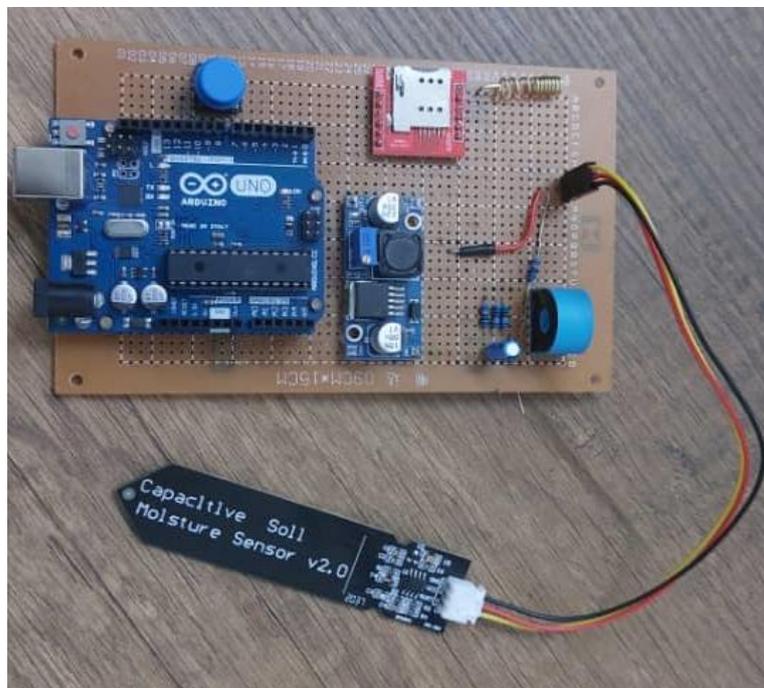
Схемаи принципаӣ ҳамчун асос барои коркарди модели компютери системаи автоматонидашуда ба ҳисоб меравад. Барои коркарди схемаи принципаӣ бастаи барномавӣ барои лоиҳакашии автоматонидашудаи схемаҳои электронӣ **PROTEUS** лозим мебошад.

Ин баста системаи моделкунонии компютери схемаҳои электронӣ ба ҳисоб меравад. Ҳамчунин барнома имкони коркарди таъминоти барномавии таҷҳизоти коркардшаванда, микропротсессорҳо, микроконтроллерҳои гуногунавъи DSP (Digital Signal Processing – коркарди рақамии сигналҳоро) дорад. Барномаи барои автоматикунони лоиҳакашии схемаҳои электронӣ **PROTEUS** дорои “Китобхона”-и маълумотҳои феҳристии компонентҳои электронӣ ва тавсифоти техникаи онҳо мебошад.

Ҳамин тавр, бо ёрии барномаи барои автоматикунони лоиҳакашии схемаҳои электронӣ **PROTEUS** модели компютери таҷҳизот барои санҷиши ҳолати унсурҳои заминваслак коркард карда шуд, он дорои қосидаки намнокии хок, қосидаки ҷараёни тағйирёбанда, таҷҳизоти инъикосқунандаи маълумот (LCD) ва микроконтроллери барномарезишаванда мебошад.

Дар рас. 7 намуди умумии системаи автоматонидашудаи коркардшаванда оварда шудааст, ки пайвасти унсурҳои он бо ёрии хатҳои (полосаҳои) амудӣ ва уфуқӣ иҷро шудаанд. Андозаҳои лавҳаи макет 90 мм ба 150 мм мебошад. Масофаи сурохиҳои лавҳаи истифодашаванда ба баромадҳои компонентҳои электронӣ мувофиқат мекунад.

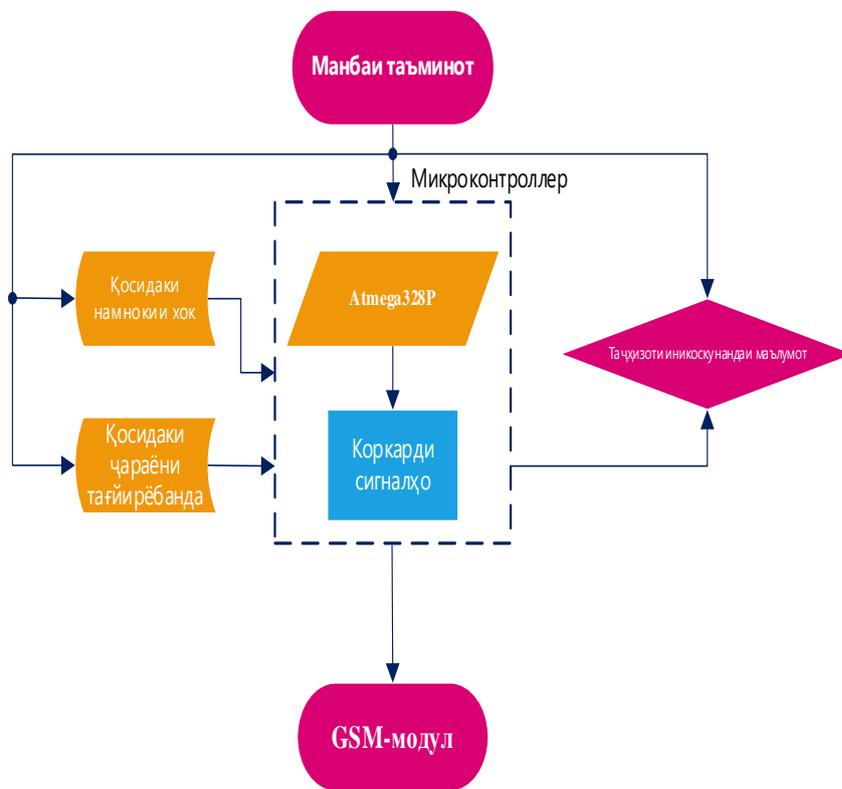
Ҳамин тавр, прототипи системаи автоматонидашуда баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он коркард шуд, ки он бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии ҳолати унсурҳои заминваслак амал мекунад. Дар ин ҳолат, қайд кардан зарур аст, ки кори таҷҳизоти коркардшуда бо истифодаи микроконтроллери барномарезишаванда ва қосидакҳои мутаносиб таъмин мешавад.



Расми 7 – Намуди умумии системаи автоматонидашудаи коркардшуда дар лавҳа

Таъминоти барномавии микроконтроллерҳои силсилаи Atmel ба воситаи забонҳои гуногуни барномасозӣ иҷро карда мешаванд. Зеро навҳои ҳозиразамони AVR-микроконтроллерҳо дорои миқдори зиёди таҷҳизоти периферӣ мебошанд ва дар як лаҳза то се интерфейсро қабул карда метавонанд. Ҳамчунин, имкони худбарномарезиро ба воситаи барномаҳои истифодашаванда доранд. Бағайр аз ин, барномарезии микроконтроллерҳоро ба воситаи Flash-ҳофизаҳо иҷро кардан мумкин аст.

Дар вақти коркарди схемаи функционалии системаи автоматонидашуда схемаи принципалии барқии дар рас. 6 овардашуда истифода бурда шудааст. Дар ин ҷо пайдарпайии кори микроконтроллери ATmega328, қосидаки намнокии хок ва ҷараёнҳои тавассути заминваслак ҷоришаванда ва GSM-модул нишон дода шудаанд. Схемаи сохтории коркардкардаи мо, системаи автоматонидашуда баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он дар рас. 8 оварда шудааст. Ҳамчунин дар доираи боби сеюми таҳқиқоти диссертатсионӣ «Коркарди системаи автоматонидашуда баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он» баҳодиҳии эҳтимоли баландшавии нишондодҳои эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва таъмини бехатарии он гузаронида мешавад.

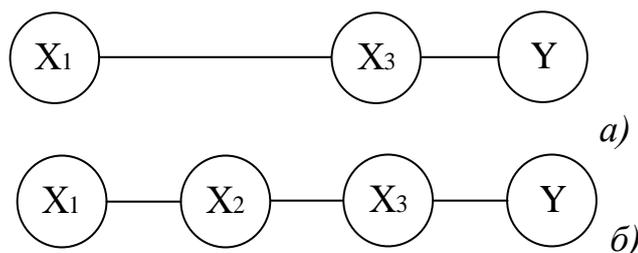


Расми 8 – Схемай сохтории системаи автоматонидашуда

Бояд қайд кард, ки раванди барномарезии микроконтроллерҳо ба воситаи баромадҳои махсус бо шиддати паст, миёна ва баланд мегузарад. Тавре дар боло қайд шудааст, баромадҳои микроконтроллер, ки барои барномарезӣ тавасути SPI пешбинӣ шудаанд, MOSI, SCK, MISO, RESET ва GND ба ҳисоб мераванд.

Тавре, ки дар боло оварда шудааст барои баҳодиҳии нишондиҳандаҳои эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии хизматрасонии ҳайат усулҳои зиёд мавҷуд мебошанд. Ҳамзамон, аз рӯи ҳамаи усулҳои мавҷуда истифодаи нишондиҳандаҳои эҳтимолие, ки ба натиҷаи ҳисоб таъсири зиёд доранд, талаб карда мешаванд.

Ба сифати нишондиҳандаҳои асосии ба эътимодият ва бехатарӣ таъсиркунанда элементҳои интихоб карда мешаванд, ки ба речаи муқаррарии таҷҳизоти барқӣ таъсир расонида метавонанд (ҳимоя аз расиши якфаза ба замин), системаи назорати оиқҳо, системаи автоматонидашуда баҳодиҳии эътимодият, бехатарии коркардшуда ва бадшавии ҳолати ТЗ. Барои ин усули мантиқӣ-эҳтимолиро истифода бурдаем.



Расми 9 – Схемай сохтории тағйирёбии нишондодҳои эътимодият бе истифода (а) ва бо истифодаи (б) системаи автоматонидашуда

Ҷадвали 2 – Мазмуни рӯйдодҳое, ки моделҳои мантиқӣ-эҳтимолро ташкил медиҳанд

№ р/г	Ҷузъи сохтор	Рӯйдодҳо
1.	$X_1$	Мавҷудияти шиддат дар таҷҳизоти барқӣ
2.	$X_2$	Азқормонии системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии беҳатари он
3.	$X_3$	Дуруст қор нақардани таҷҳизоти заминваслак
4.	$Y$	Пастшавии нишондодҳои эътимодият

Дар вақти мавҷуд набудани системаи автоматонидашудаи баҳодиҳандаи эътимодият ва беҳатарӣ тағйирёбии нишондоди эътимодият аз рӯи баробарии 7 муайян мешавад (рас. 9, а).

$$P(X_1, X_3) = P(X_1) \cdot P(X_3); \quad (7)$$

Дар вақти мавҷуд будани системаи автоматонидашудаи баҳодиҳандаи эътимодият ва беҳатарӣ (рас. 9, б).

$$P(X_1 \dots X_3) = P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3); \quad (8)$$

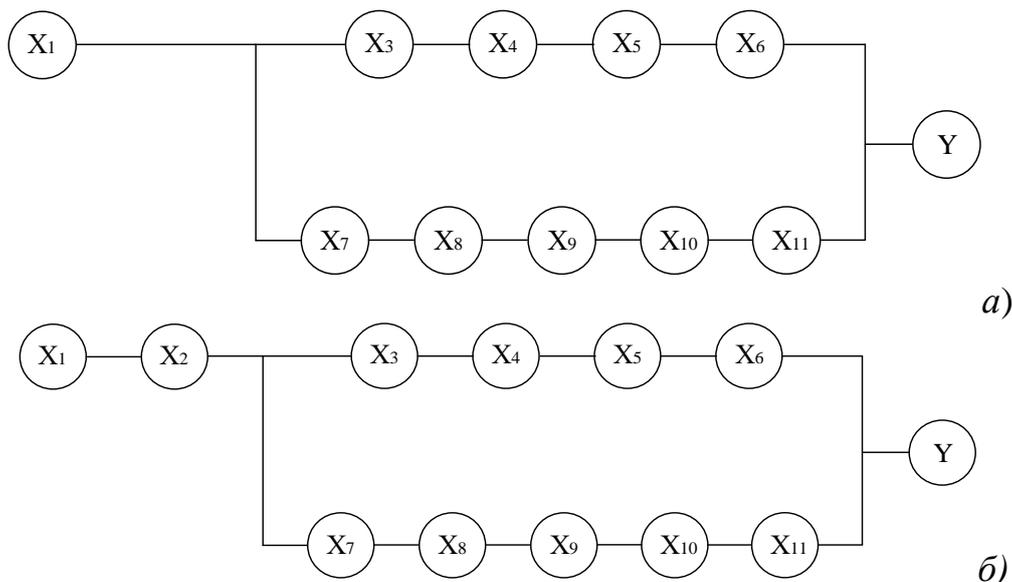
Ҳамин тавр, баҳодиҳии эътимодият ҳангоми мавҷуд будан ва набудани системаи автоматонидашуда баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии беҳатари он аз рӯи баробарии зерин муайян карда мешавад:

$$n = \frac{P(X_1) \cdot P(X_3)}{P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3)} = \frac{1}{P(X_2)} \quad (9)$$

Барои баҳодиҳии эътимодият аз рӯи азқормонии (отказ) таҷҳизоти барқӣ бо сабаби қорношоямии ТЗ, ҳисобҳо мегузаронем. Эҳтимоли азқормонии таҷҳизоти заминваслак  $P = 0,23$ .

$$n = \frac{1}{P(X_2)} = \frac{1}{0,023} = 4,34$$

Аз ин рӯ, ҳангоми азқормонии таҷҳизоти заминваслак эътимодияти таҷҳизоти барқӣ 4,34 маротиба бадтар мешавад.



Расми 10 – Схемаи сохтории рӯйдодҳои таъсири ҷараёни электрикӣ бе истифода (а) ва бо истифодаи (б) системаи автоматонидашуда

Ҷадвали 3 – Мазмуни рӯйдодҳое, ки моделҳои мантиқӣ-эҳтимолро ташкил медиҳанд

№ р/т	Ҷузъи сохтор	Рӯйдодҳо
1.	X <sub>1</sub>	Мавҷудияти шиддат дар таҷҳизоти барқӣ
2.	X <sub>2</sub>	Азқормонии системаи автоматонидашудаи баҳодихии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он
3.	X <sub>3</sub>	Азқормонии системаи назорати оиқҳо
4.	X <sub>4</sub>	Пайдошавии расиши якфаза ба замин
5.	X <sub>5</sub>	Дуруст кор накардани таҷҳизоти заминваслак
6.	X <sub>6</sub>	Азқормонии ҳимоя аз расиши якфаза ба замин
7.	X <sub>7</sub>	Расиши одам ба қисми металли ғайричараёнбари таҷҳизоти барқӣ
8.	X <sub>8</sub>	Пайдошавии расиши ноқилҳо аз ду нуқта ба замин
9.	X <sub>9</sub>	Азқормонии зинаи якуми ҳимоя аз расиш ба замин
10.	X <sub>10</sub>	Азқормонии зинаи якуми ҳимоя аз расиш ба замин
11.	X <sub>11</sub>	Пайдошавии шиддати қадам
12.	Y	Ҳолати хатарноки барқӣ дар вақти нодуруст кор кардани таҷҳизоти заминваслак, дар вақти мавҷуд будан ва набудани системаи автоматонидашудаи баҳодихии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он

Ҳамчунин, барои баҳодихии бехатарии ҳаёти хизматрасон усули мантиқӣ-эҳтимолро истифода мебарем. Ҳамин тавр, ҳамаи омилҳои ба эътимодият таъсиркунандаро ба назар гирифта, ба сифати натиҷаи баҳодихӣ “Ҳолати хатарноки барқиро дар вақти корношоямии таҷҳизоти заминваслак ва дар вақти мавҷуд будану набудани системаи автоматонидашудаи баҳодихандаи эътимодият ва бехатарӣ қабул мекунем”.

Дар вақти мавҷуд набудани системаи автоматонидашудаи баҳодихандаи эътимодият ва бехатарӣ нишондоди бехатариро бо истифодаи баробарии 10 муайян мекунанд (рас. 10 а).

$$P(X_1, X_3 \dots X_{11}) = P(X_1) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11}); \quad (10)$$

Дар вақти мавҷуд будани системаи автоматонидашудаи баҳодихандаи эътимодият ва бехатарӣ (рас. 10 б).

$$P(X_1 \dots X_{11}) = P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11}); \quad (11)$$

Ҳамин тавр, баҳодихии ҳолати хатарноки барқӣ ҳангоми мавҷуд будани ва набудани системаи автоматонидашуда баҳодихии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он аз рӯи баробарии зерин муайян карда мешавад:

$$n = \frac{P(X_1) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11})}{P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \cdot P(X_5) \cdot P(X_6) \cdot P(X_7) \cdot P(X_8) \cdot P(X_9) \cdot P(X_{10}) \cdot P(X_{11})} = \frac{1}{P(X_2)}$$

Эҳтимоли азкормонии системаи автоматонидашуда баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он  $\lambda t = 0,096$  қабул шудааст.

$$n = \frac{1}{P(X_2)} = \frac{1}{0,096} = 10,4$$

Ҳамин тавр, ҳангоми истифодабарии системаи автоматонидашудаи эътимодият ва бехатарии таҷҳизоти барқӣ эҳтимоли бехтаршавии бехатарии барқӣ меафзояд. Дар боби сеюми диссертатсия дастурамал оид ба истифодаи системаи автоматонидашудаи коркардшуда низ оварда шудааст.

## ХУЛОСА

Дар кори диссертатсионӣ масъалаи илмӣ-техникии мубрам ҳал карда шудааст, ки он бо мақсади коркарди системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии хизматрасонии он, ҳангоми мониторинги доимии ҳолати унсурҳои заминваслак равона шудааст.

Таҳқиқотҳои гузаронидашуда имкон медиҳанд, ки натиҷаҳои асосии зеринро ифода намоем:

1. Таҳлили омилҳои ба нишондиҳандаҳои эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии хизматрасонии он гузаронида шуда, алоқамандии онҳо бо ТЗ асоснок карда шудааст. Ҳамчунин усулҳои мавҷуда барои баҳодиҳии эътимодият ва бехатарии таҷҳизоти барқӣ таҳлил шудааст.

2. Схемаи принципалии системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он коркард шудааст, ки гузаронидани мониторинги доимии ҳолати заминваслакҳоро талаб менамояд ва дар схема пайдарпайии кори компонентҳои электронӣ бо микроконтроллер нишон дода шудааст.

3. Системаи автоматонидашудаи коркард шудааст, ки дар вақти истифодабарӣ имкон медиҳад, бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии ҳолати унсурҳои заминваслак нишондодҳои эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва дараҷаи бехатарии ҳайати хизматрасон баҳо дода шавад [6-А].

4. Модели компютерӣ ва таъминоти барномавии системаи автоматонидашуда коркард шудааст [7-А].

5. Истифодаи методикаи коркардшуда эҳтимоли баландшавии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии ҳайати хизматрасонро мутаносибан 4,34 ва 10,4 маротиба таъмин менамояд.

6. Натиҷаҳои таҳқиқотҳо дар раванди таълими донишҷӯёни ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ, аз рӯи фанҳои «Электроникаи энергетикӣ», «Унсурҳои таҷҳизотҳои автоматикӣ», «Бехатарии электрикӣ» ва «Асосҳои техникаи микропротсессорӣ» ва дар раванди кории ҚСК «Барқи Тоҷик» истифода мешаванд.

## НАТИЧАҲОИ АСОСИИ РИСОЛАИ ИЛМӢ ДАР МАҚОЛАҲОИ ЗЕРИН ЧОП ШУДААНД

### *Мақолаҳои дар нашрияҳои тавсиявии КОА назди Президенти ҶТ ва КОА ФР чопшуда:*

[1-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Исследование влияния состояния функционального заземления на устройство микропроцессорной релейной защиты / О.С. Сайфиддинзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №2 (58). 2022. С. 17 – 20.

[2-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Программное обеспечение автоматизированной системы оценки надёжности и безопасности электроустановок / О.С. Сайфиддинзода // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. №2 (66). 2024. С. 27– 31.

[3-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Устройство и способ оценки состояния элементов заземлителей / А.И. Сидоров, Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфиддинзода, И.Т. Абдуллозода, А.Н. Горожанкин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: «Энергетика». 24, 3 (сен. 2024), 88–94. DOI: <https://doi.org/10.14529/power240310>.

### *Мақолаҳо дар маводҳои тақризии шомили базаи маълумотҳои SCOPUS:*

[4-А]. Method for determining the state of grounding device / A. Sidorov, R. Abdullozoda, S. Sadullozoda, **O. Saifiddinzoda** and I. Abdullozoda // III international scientific and practical conference “current problems of the energy complex: mining, production, transfer, processing and environmental protection” (apr. 2021), IOP Conference Series: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 808 (2021) 012005 doi:10.1088/1755-1315/808/1/012005.

[5-А]. Ensuring the Safety of a Quarry Distribution Network with a Voltage of 6–35 kV / Kh. Boboev, R. Abdullozoda, **O. Saifiddinzoda**, I. Abdullozoda, K. Ivshina // Ensuring the Safety of a Quarry Distribution Network with a Voltage of 6–35 kV. In: Radionov, A.A., Ulrikh, D.V., Timofeeva, S.S., Alekhin, V.N., Gasiyarov, V.R. (etc) Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 308. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_42)

### *Патент ва шаҳодатномаи муаллифӣ:*

[6-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Малый патент. Республика Таджикистан: МПК G01B 17/00. Устройство для определения коррозионного состояния элементов заземлителей / О.С. Сайфиддинзода, Р.Т. Абдуллозода, Б.Т. Абдуллоев, Х.Д. Бобоев– № 2401928; заявл. 07.02. 2024; опубл. 20.05. 2024, Бюл. № TJ 1498.

[7-А]. **Сайфиддинзода, О.С.** Свидетельство на компьютерную программу. №177 (Республика Таджикистан), МКИ А 61N 1/42. Программа контроллера для проведения мониторинга состояния заземляющих устройств / О.С. Сайфиддинзода, Р.Т. Абдуллозода, Х.Д. Бобоев. Опубл. 30.11.2023.

### *Мақолаҳо дар дигар маводҳои ҷонӣ:*

[8-А]. Сайфиддинзода, О.С. Тадқиқи олооти заминвасла / М.Х. Табаров, О.С. Сайфиддинзода // Материалы республиканской научно-практической конференции “Наука – основа инновационного развития” // Таджикский технический университет имени акад. М.С. Осими. Душанбе. - 2020. С. 62 – 64.

[9-А]. Сайфиддинзода, О.С. Микроконтроллерҳо ва хусусиятҳои онҳо / О.С. Сайфиддинзода // Материалы IX международной научно-практической конференции “НАУКА – ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ” // “Промэкспо”, Душанбе, 2022. С. 26 – 28.

[10-А]. Сайфиддинзода, О.С. Расчет коррозионного состояния элементов заземлителей / Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфиддинзода, Х.Д. Бобоев // Технологическая независимость и конкурентоспособность Союзного Государства, стран СНГ, ЕАЭС и ШОС. Сборник статей VI Международной научно-технической конференции. В 3-х томах. Минск, 2023. С. 292 – 296.

[11-А]. Сайфиддинзода, О.С. Методы измерения сопротивления растеканию тока заземлителей / О.С. Сайфиддинзода // Материалы Международной научно – практической конференции: «ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ» Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими – Душанбе: ЦИ и П ТТУ имени академика М.С. Осими, 2023. С. 179 – 181.

[12-А]. Сайфиддинзода, О.С. О возможности применения микроконтроллеров серии Atmel в устройстве оценки надежности и безопасности / О.С. Сайфиддинзода, У.У. Косимов // Материалы IX международной научно-практической конференции “НАУКА – ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ” // “Промэкспо”, Душанбе, 2024. С. 26 – 28.

[13-А]. Сайфиддинзода, О.С. Возможность применения микроконтроллеров ATME1 при контроле состояния заземляющих устройств / Р.Т. Абдуллозода, О.С. Сайфиддинзода, Х.Д. Бобоев // «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТРЕТЬЕМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ» VIII Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры БЖД ЮУрГУ БЖД под ред. А.И. Сидорова. 2024. С. 20 – 23.

[14-А]. Сайфиддинзода, О.С. Анализ повреждаемости заземляющей сети в горнодобывающих предприятиях / О.С. Сайфиддинзода, Д.Х. Насруллоев, Х.Д. Бобоев // «БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТРЕТЬЕМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ» VIII Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры БЖД ЮУрГУ БЖД под ред. А.И. Сидорова. 2024. С. 20 – 23.

## АННОТАЦИЯ

на диссертацию Сайфиддинзода Одилджона Сайфиддина на тему «Автоматизированная система оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) - доктора по специальности 6D071800 – Электроэнергетика (6D071804 - Энергетические системы и комплексы).

**Ключевые слова:** надежность, безопасность, заземляющее устройство, заземлитель, микроконтроллер, Atmel, Atmega328, емкостный датчик влажности грунта V2.0, датчик переменного тока ZMTC103C, физическая модель, GSM-модуль SIM800C, аналогово-цифровой преобразователь.

**Объект исследования:** заземляющее устройство электрооборудования различного вида и назначения.

**Предмет исследования:** установление возможностей применения разработанной автоматизированной системы для оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге состояния элементов ЗУ.

**Цель работы:** обоснование возможности и создание автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге элементов ЗУ.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Анализ факторов, влияющих на надежность электрооборудования и безопасность его обслуживания, и обоснование их взаимосвязи с заземляющими устройствами.

2. Анализ существующих методов оценки показателей надежности и безопасности электрооборудования.

3. Разработка компьютерной и физической модели автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

4. Разработка программного обеспечения автоматизированной системы оценки надежности и безопасности.

5. Оценка надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при применении разработанной автоматизированной системы.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Разработаны физическая модель (защищена малым патентом РТ, № ТЈ 1498) и программное обеспечение (авторское свидетельство РТ, №177) автоматизированной системы для определения состояния элементов заземлителей, которые применяются в целях оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания.

2. Разработана методика оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания при постоянном мониторинге состояния элементов заземлителя.

**Область применения:** полученные автором данные при разработке программного обеспечения и автоматизированной системы оценки надежности электрооборудования и безопасности его обслуживания используются в процессе изучения студентами ТТУ имени акад. М.С. Осими дисциплин «Энергетическая электроника», «Элементы автоматических устройств», «Электробезопасность», «Основа микропроцессорной техники» и в ОАО «Барки Точик».

## ШАРҲИ МУХТАСАРИ

диссертатсияи Сайфиддинзода Одилҷон Сайфиддин дар мавзуи «Системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он» барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD)- доктор аз рӯи ихтисоси 6D071800 – Энергетикаи электрикӣ (6D071804 – Системаҳо ва комплексҳои энергетикӣ) пешниҳод шудааст.

**Вожаҳои калидӣ:** эътимодият, бехатарӣ, таҷҳизоти заминваслак, заминваслак, микроконтроллер, Atmel, Atmega328, қосидаки ғунҷоишии намнокии хок V2.0, қосидаки чараёни тағйирёбанда ZMTC103C, модели физикӣ, GSM-модул SIM800C, табдилдиҳандаи аналогӣ-рақамӣ.

**Объекти таҳқиқот** – таҷҳизоти заминваслаки дастгоҳҳои барқии намуд ва таъйиноти гуногундошта.

**Предмети таҳқиқот:** муқаррарнамоии имкониятҳои истифодаи системаи автоматонидашудаи коркардшудаи баҳодиҳандаи эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва бехатарии он бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии унсурҳои ТЗ.

**Мақсади кор:** асосноккунӣ ва коркарди системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии унсурҳои ТЗ.

Барои ба даст овардани мақсади гузошташуда дар рисолаи илмӣ масъалаҳои зерини ба миён гузошта шуда, ҳал карда шудаанд:

1. Таҳлили омилҳои таъсиркунанда ба эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он ва асосноккунии алоқамандии онҳо бо таҷҳизоти заминваслак.

2. Таҳлили усулҳои амалкунандаи баҳодиҳии нишондиҳандаҳои эътимодият ва бехатарии таҷҳизоти барқӣ.

3. Коркарди моделҳои компютерӣ ва физикии системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он.

4. Коркарди таъминоти барномавии системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодият ва бехатарӣ.

5. Баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он бо истифодаи системаи автоматонидашуда.

**Навгони илмӣ кор иборат аст:**

1. Модели физикии таҷҳизот (бо патенти хурди ҚТ, № ТҶ 1498 ҳифз шудааст) ва таъминоти барномавии (шаҳодатномаи муаллифии ҚТ, №177) барои баҳодиҳии ҳолати заминваслак коркард шудааст, ки он бо мақсади баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он истифода мешавад.

2. Методикаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он, бо роҳи гузаронидани мониторинги доимии унсурҳои заминваслак коркард шудааст.

**Соҳаи татбиқ:** натиҷаҳои аз ҷониби муаллиф ба даст овардашуда дар вақти коркарди таъминоти барномавӣ ва системаи автоматонидашудаи баҳодиҳии эътимодияти таҷҳизоти барқӣ ва хизматрасонии бехатари он дар раванди таълими фанҳои “Электроникаи энергетикӣ”, “Унсурҳои таҷҳизоти автоматикӣ”, “Бехатарии электрикӣ” ва “Асосҳои техникаи микропротсессорӣ”-и ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ ва дар раванди кории ҚСК “Барқи Тоҷик” истифода мешаванд.

## SUMMARY

**for the dissertation of Sayfiddinzoda Odiljon Sayfiddin on the topic «Automated system for assessing the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance» submitted for a Ph.D degree in speciality 6D071800 – Electric power (6D071804 – Electric power systems and complexes).**

**Key words:** reliability, safety, grounding device, grounding conductor, microcontroller, Atmel, Atmega328, capacitive soil moisture sensor V2.0, AC sensor ZMTC103C, physical model, GSM module SIM800C, analog-to-digital converter.

**Research objects** – grounding device for electrical equipment of various types and purposes.

**Subject of research** – establishing the possibilities of using the developed automated system to assess the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance with constant monitoring of grounding elements.

**The objective of this work is** substantiation of the possibility and creation of an automated system for assessing the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance with constant monitoring of grounding elements.

To achieve the stated goal, the following tasks were set:

1. Analysis of factors influencing the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance, and justification of their relationship with grounding devices.
2. Analysis of existing methods for assessing the reliability and safety indicators of electrical equipment.
3. Development of a computer and physical model of an automated system for assessing the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance.
4. Development of software for an automated system for assessing reliability and safety.
5. Evaluation of the reliability of electrical equipment and its maintenance safety when using the developed automated system.

**The scientific novelty of the work is as follows:**

1. A physical model (protected by a small patent of the Republic of Tajikistan, No. TJ 1498) and software (author's certificate of the Republic of Tajikistan, No. 177) of an automated system for determining the state of earthing elements have been developed, which is used to assess the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance.
2. A methodology has been developed for assessing the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance with continuous monitoring of the condition of grounding elements.

**Field of application:** the data obtained by the author during the development of software and an automated system for assessing the reliability of electrical equipment and the safety of its maintenance in the process of studying the disciplines "Power Electronics", "Elements of Automatic Devices", "Electrical Safety", "Basics of Microprocessor Technology" by students of TTU named after academician M.S. Osimi and Open Joint-Stock Company "Barqi Tojik".

Подписано к печати 27.01.2025 Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Тираж 100 экз.  
Отпечатано в типографии ТТУ имени акад. М.С. Осими.  
г. Душанбе, 734042, пр. акад. Ражабовых, 10а.

Ба чоп 27.01.2025 имзо шуд. Андоза 60x84 1/16.  
Қоғазы офсетӣ. Адади нашр 100 нусха.  
Нашриёти ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ.  
ш. Душанбе, 734042, хиёбони академик Рачабовҳо, 10а.