

На правах рукописи



Казымов Иван Максимович

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ
ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Специальность 2.3.1 – Системный анализ,
управление и обработка информации, статистика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Барнаул, 2024 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова».

Научный руководитель: **Компанеец Борис Сергеевич**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Русина Анастасия Георгиевна**
доктор технических наук, доцент, декан факультета энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск.

Третьяков Евгений Александрович
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск;

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Защита диссертации состоится «03» октября 2024 года в 15:00 на заседании диссертационного совета 24.2.350.07, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет», по адресу: 644050, Омск, пр. Мира, д. 11, Главный корпус, ауд. П-202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» и на сайте www.omgtu.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11, учёному секретарю диссертационного совета 24.2.350.07. Тел: (3812) 62-85-58, e-mail: dissov_omgtu@omgtu.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2024 года.

Учёный секретарь диссертационного совета
24.2.350.07, кандидат технических наук, доцент



Грицай А. С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Определение повышенных потерь в системе электроснабжения является слабоформализуемой проблемой по причине того, что множество составляющих процесса передачи и распределения электрической энергии являются неопределёнными, причём известные и неизвестные составляющие имеют взаимное влияние.

Существующие методы и алгоритмы определения и локализации потерь характеризуются отсутствием селективности ввиду использования метода интервального анализа показаний отдельных измерительных устройств. Существующие способы позволяют выявить наличие в анализируемой системе повышенных потерь электрической энергии, но не позволяют сделать однозначный вывод об их характере и месте возникновения в каждом рассматриваемом случае.

Использование современных приборов учёта позволяет сделать значительный шаг для достижения возможности локализации повышенных потерь за счёт измерения дополнительных параметров электрической энергии, а также соблюдения условия одновременного сбора данных с большого числа приборов учёта, расположенных в одной системе электроснабжения.

Таким образом, решение задачи по определению и локализации повышенных потерь электрической энергии с установлением факта их возникновения, а также места и величины с достаточной точностью для принятия решений по их снижению возможно только с применением методов системного анализа для обработки информации об изменении параметров электрической энергии в системе электроснабжения.

Степень проработанности темы исследования. Вопросы совершенствования методов и алгоритмов обработки информации с целью получения данных, позволяющих принимать решения для устойчивого снижения потерь электрической энергии в системах электроснабжения подробно рассматриваются как в исследованиях крупных компаний энергетического сектора, таких как ПАО «Россети», так и в трудах учёных международного сообщества, таких как Косоухов Ф. Д., Железко Ю. С., Дзядикевич Ю. В., Бубнов А. В., Козлов А. В., Ожегов А. Н., Viegas J. L., Henriques H. O., Rossoni A. Основная часть авторов исследует различные зависимости, связывающие величину технических потерь в системах электроснабжения под влиянием конструктивных и эксплуатационных факторов. Большое число работ посвящено созданию методов, алгоритмов и математических моделей процессов, происходящих в системах электроснабжения. Немало внимания уделяется анализу величины и причин возникновения коммерческих потерь электрической энергии в системах электроснабжения. В настоящее время подробно изучены все виды потерь этого типа. Предлагаются всё более совершенные методы и алгоритмы оценки величины потерь, более эффективные способы борьбы с основным источником коммерческих потерь – несанкционированным доступом к электрической энергии. Уделяется большое внимание проблеме низкой селективности традиционных способов определения коммерческих потерь, однако предлагаемые способы отличаются либо высокой стоимостью, либо повышенными трудозатратами и не могут считаться достаточно эффективными на сегодняшний день.

В целом, в настоящее время наблюдается недостаток технологичных и современных решений, представляющих методы и алгоритмы определения мест возникновения коммерческих и технических потерь. Такая ситуация позволяет развиваться всё новым способам скрытого несанкционированного подключения к системам электроснабжения и нарушениям технического состояния отдельных элементов и не позволяет принимать своевременные управленческие решения по оптимизации и повышению эффективности работы систем электроснабжения, в том числе по причине отсутствия современных методов и алгоритмов обработки информации о параметрах электрической энергии в системах электроснабжения, что характеризует данное направление диссертационного исследования как недостаточно проработанное.

Целью диссертационной работы является совершенствование методов и алгоритмов компьютерной обработки информации об изменении параметров электрической энергии для обеспечения определения и локализации повышенных потерь в системах электроснабжения и снижения их величины при передаче электрической энергии.

Поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Провести анализ применяемых методов и алгоритмов обработки информации для определения и локализации повышенных потерь электрической энергии в системах электроснабжения различных уровней напряжения с целью оценки их пригодности для оперативного определения состояния системы электроснабжения.
2. Разработать способ обработки информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения.
3. Разработать способ обработки информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь.
4. Разработать алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения для определения и локализации потерь и поддержки принятия управленческих решений.
5. Разработать программно-аппаратный комплекс для автоматизированного проведения компьютерной обработки информации о параметрах электрической энергии в системах электроснабжения и поддержки принятия управленческих решений.

Объектом исследования является информация об изменении параметров электрической энергии в процессе её передачи внутри системы электроснабжения.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы компьютерной обработки информации для определения и локализации потерь электрической энергии в системах электроснабжения.

Методология и методы исследования. В рамках проведённого исследования при решении поставленных задач использовались теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические методы исследований, используемые в данной работе, опираются на базовые положения теорий, рассматривающих потери электрической энергии в электрических сетях; рассматривающих процессы в системах электроснабжения различных уровней напряжений; рассматривающих связи между электрическими величинами в электрических сетях. При проведении работы использовались фундаментальные законы теоретических основ электротехники, общей физики и методы компьютерного и физического моделирования, комплекс существующих базовых методов исследования в области системного анализа, а также теоретические основы проведения и обработки результатов эксперимента.

Для обоснования применимости разработанных и предложенных в настоящем исследовании методов и алгоритмов проводились как теоретические, так и экспериментальные исследования, в том числе на лабораторных образцах (искусственно смоделированные системы электроснабжения с заранее подобранными параметрами), и непосредственно на специально организованных опытных площадках, представляющих собой систему электроснабжения (или её часть) крупного потребителя электрической энергии, оборудованную современными приборами учёта во всех требуемых точках, связанными АИИС КУЭ, и имеющую актуальные проблемы в части повышенного уровня технических и коммерческих потерь электрической энергии.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Получен способ обработки информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения, отличающийся тем, что установление факта наличия неучтённого потребления электрической энергии осуществляется на основании небаланса токов с учётом коэффициента мощности потребителей электрической энергии, и за счёт анализа параметров электрической энергии в системе электроснабжения впервые достигается локализация мест возникновения неучтённого потребления.

Новизна применяемых технических решений подтверждена свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ №2017614865, №2018611363.

Новизна применяемых технологических решений подтверждена патентом на изобретение RU 2769748 C1.

2. Получен способ обработки информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь, отличающийся тем, что источником повышенных технических потерь предполагается наличие дополнительного

сопротивления активного характера, и за счёт анализа параметров электрической энергии в системе электроснабжения впервые достигается локализация мест возникновения повышенных технических потерь.

Новизна применяемых технических решений подтверждена свидетельством о государственной регистрации программ для ЭВМ №2019613612.

3. Введены критерий сбалансированности и критерий обоснованности для классификации повышенных потерь электрической энергии, позволяющие определить характер обнаруженных повышенных потерь и выделить долю потерь каждого типа в общем объёме: повышенные технические и коммерческие.

4. Разработан алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения для определения и локализации потерь и поддержки принятия управленческих решений, отличающийся тем, что с учётом мгновенных значений параметров электрической энергии позволяет определить характер и объём повышенных потерь электрической энергии, а также обеспечить их локализацию.

Предлагаемый алгоритм реализован в программах для ЭВМ, новизна которых подтверждена свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ №2018615310, №2018663201, №2022613782.

Положения, выносимые на защиту:

1. Способ компьютерной обработки информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения.

2. Способ компьютерной обработки информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь.

3. Алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения для определения и локализации потерь и поддержки принятия управленческих решений.

Теоретическая значимость работы. В работе были сформулированы факторы, влияющие на селективность определения и локализации повышенных потерь электрической энергии, определены несоответствия, ограничивающие точность получаемых данных и даны рекомендации по их устранению.

В работе была обоснована необходимость учёта коэффициента мощности потребителей электрической энергии и приведение его к опорному напряжению для повышения точности составления математических моделей процессов в системах электроснабжения, а также определены причинно-следственные связи параметров электрической энергии в системе электроснабжения и наличия повышенных потерь электрической энергии.

Были введены критерий сбалансированности и критерий обоснованности для классификации повышенных потерь электрической энергии, использование которых обеспечивает возможность обоснованного разделения обнаруженного объёма повышенных потерь на составляющие.

В диссертационной работе произведено совершенствование существующих методов и алгоритмов обработки информации для определения мест несанкционированного подключения к системам электроснабжения, а также для определения элементов, имеющих повышенный уровень технических потерь, что позволяет на основании анализа мгновенных значений параметров электрической энергии устанавливать факт возникновения повышенных потерь электроэнергии в системах электроснабжения с указанием их характера и величины, а также локализовывать места образования повышенных потерь.

Практическая значимость работы. Результаты работы могут быть применены в деятельности электросетевых организаций, промышленных предприятий и на предприятиях–производителях приборов учёта. Использование результатов исследования организациями, эксплуатирующими системы электроснабжения, позволяет значительно повысить селективность локализации мест возникновения потерь электрической энергии в системах электроснабжения при высокой оперативности – время, затрачиваемое на анализ потерь в одной системе электроснабжения, определяется скоростью вычислений ЭВМ, при этом результатом анализа является информация о количестве мест возникновения повышенных потерь электроэнергии в

системе электроснабжения с указанием их характера, величины и места образования в удобном для восприятия виде.

Результат работы состоит в разработке способа определения факта, места и величины неучтённого потребления электрической энергии в распределительной сети (патент RU 2769748 С1, опубликован 05.04.2022, Бюл. №10); способа определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь; в создании устройства для контроля параметров электрической энергии в системе электроснабжения в месте его установки (патент RU 2748936 С1, опубликован 01.06.2021, Бюл. №16), способного работать в составе единой информационно-измерительной системы в системах электроснабжения с недостаточным количеством приборов учёта, объединённых АИИС КУЭ, и предоставлять исходные данные для приведения в действие вышеупомянутых способов; а также в разработке и внедрении алгоритма и программно-аппаратного комплекса (свидетельства о регистрации программы для ЭВМ №2017614865, №2018611363, №2018615310, №2018663201, №2019613612, №2022613782), позволяющего осуществлять анализ потерь электрической энергии в системах электроснабжения с точностью, обуславливаемой погрешностью установленных измерительных устройств, а также определять элементы систем электроснабжения, имеющие повышенный уровень потерь с возможностью поддержки принятия решений.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждается корректностью исходных предположений и допущений, использовании известных и проверенных методов, базирующихся на основах системного анализа и теоретических основ электротехники, корректном использовании соответствующего математического аппарата, а также результатами проведённых расчётов и экспериментов, согласованностью новых результатов с известными теоретическими положениями, успешными внедрениями основных результатов проведённого исследования в производственную деятельность промышленного предприятия и в учебный процесс кафедры «Электрификация производства и быта» ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И. И. Ползунова».

Соответствие паспорту специальности. Исследование, проводимое в рамках настоящей диссертационной работы, соответствует паспорту научной специальности ВАК РФ 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» в части области исследований:

«5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

10. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах.

12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.»

Личный вклад автора. Автором данной диссертационной работы выполнены следующие мероприятия:

1. Проведён анализ применяемых методов и алгоритмов обработки информации для определения и локализации повышенных потерь электрической энергии в системах электроснабжения различных уровней напряжения.

2. Разработан способ компьютерной обработки информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения.

3. Разработан способ компьютерной обработки информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь.

4. Введены критерий сбалансированности и критерий обоснованности для классификации повышенных потерь электрической энергии.

5. Разработан алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения для определения и локализации потерь электрической энергии в системах электроснабжения и поддержки принятия управленческих решений.

6. Разработано оригинальное устройство для контроля параметров электрической энергии в системе электроснабжения в точке его установки.

7. Разработан комплекс программных средств для автоматизированного проведения обработки информации о параметрах электрической энергии в системах электроснабжения и обоснования принятия решений.

8. Проведена апробация результатов на примере части системы электроснабжения промышленного предприятия и интерпретация полученных экспериментальных данных.

9. Подготовлены публикации и материалы для регистрации прав на результаты интеллектуальной деятельности по полученным в ходе подготовки диссертационной работы результатам.

Апробация работы. Выносимые на защиту положения и основные результаты настоящей диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных конференциях, в том числе и международного уровня: на XII Всероссийской научно-практической конференции «Высокие технологии, наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации» в 2021 году (г. Пенза, Российская Федерация); на XIII Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления развития науки и образования в 2020 году (г. Пенза, Российская Федерация); на V всероссийской научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» в 2019 году (г. Сочи, Российская Федерация); на международной научно-технической конференции «International conference on industrial engineering, applications and manufacturing» в 2019 году (г. Сочи, Российская Федерация); на XIV международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству в 2019 году (г. Барнаул, Российская Федерация)»; на XVI всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Наука и молодёжь» в 2019 году (г. Барнаул, Российская Федерация); на XX городской научно-практической конференции молодых учёных «Молодёжь – Барнаулу» в 2019 году (г. Барнаул, Российская Федерация); на международной научно-технической конференции «Научно-техническое обеспечение АПК Сибири» в 2017 году (г. Новосибирск, Российская Федерация), а также на множестве различных конференций и семинаров местного и регионального уровня.

Публикации. По теме настоящей диссертационной работы опубликовано 33 печатных работы, в том числе 14 работ опубликовано в изданиях, рекомендуемых ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, из них пять по научной специальности ВАК РФ 2.3.1, одна работа опубликована в издании, индексируемом наукометрической базой Scopus. Во время выполнения диссертационной работы было получено шесть свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ и два патента на изобретение.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников из 83 наименований и приложений. Работа изложена на 171 листе машинописного текста, включая список использованных источников, содержит пять таблиц и 55 рисунков. Общий объём приложений – 13 листов машинописного текста. Приложения содержат 13 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, определены объект, предмет и методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая ценность работы, указана применимость результатов исследования, приведена структура работы и объём публикаций по теме диссертации.

Первая глава посвящена анализу существующих методов и алгоритмов определения и локализации повышенных потерь электрической энергии в системах электроснабжения различных уровней напряжения. Дана комплексная оценка рассматриваемой научной проблемы, проанализированы применяемые на сегодняшний день методы решения, отмечены имеющиеся недостатки и определены пути их решения.

Основными методами определения повышенных потерь электрической энергии и локализации мест их возникновения являются плановые или внеплановые обходы, проводимые

с целью выявления несанкционированного подключения к системе электроснабжения, безучётного потребления электрической энергии, нарушений технического состояния элементов системы; также распространённым способом выявления коммерческих потерь является последовательное измерение величины электрического тока в линии электропередачи при помощи токовых клещей с целью обнаружения недобросовестных потребителей. Для обнаружения повышенных технических потерь на сегодняшний день повсеместно применяется наиболее распространённый способ – обход электроустановок с проведением измерений и анализа температуры контактных соединений и/или проводов линии.

И, несмотря на непрерывно совершенствующиеся методы определения участков и даже конкретных потребителей с нарушениями правил энергопотребления, в том числе и с использованием рентгенотелевизионного оборудования и других дорогостоящих систем, а также с использованием лабораторных исследований приборов учёта, ситуация меняется в лучшую сторону незначительно.

Например, за 2019 год в распределительных сетях Сибири было выявлено почти 10 тысяч хищений, которые нанесли ущерб на 500 миллионов рублей. А за семь месяцев 2020 года экономия от результатов работы над снижением потерь в компании ПАО «Россети Сибирь» составила 344 миллиона рублей, из которых 241 миллион рублей составил эффект от включения в полезный отпуск 74 млн. кВт·ч, обнаруженных при выявлении 2 457 фактов неучтённого потребления электроэнергии.

Существующие методы и алгоритмы определения и локализации повышенных потерь электрической энергии характеризуются чрезвычайно низкой селективностью ввиду использования метода интервального контроля показаний измерительных устройств, а также широкого спектра способов и методов хищения, некоторые из которых являются труднорегистрируемыми и незаметными при внешнем осмотре, проводимом энергоснабжающими организациями в ходе проверок на предмет незаконных подключений. Таким образом, существующие методы и алгоритмы позволяют выявить присоединение, характеризующееся повышенным относительно аналогичных небалансом электрической энергии, однако не позволяют сделать однозначный вывод о характере повышенных потерь электрической энергии в каждом рассматриваемом случае. В связи с этим для локализации мест возникновения повышенных потерь электрической энергии потребуются проведение полного обследования по меньшей мере одного присоединения. Учитывая высокие трудовые и временные затраты на проведение полного обследования системы электроснабжения и низкую эффективность выборочных обследований, представляется целесообразным внедрение высокотехнологичных способов определения мест возникновения повышенных потерь электрической энергии для обеспечения устойчивого снижения величины потерь электрической энергии. Значительное повышение селективности существующих методов и алгоритмов может быть достигнуто при создании возможности для локализации мест возникновения коммерческих и повышенных технических потерь за счёт анализа параметров электрической энергии в рассматриваемой системе электроснабжения. В таком случае селективность существующих методов и алгоритмов определения и локализации повышенных потерь будет значительно увеличена – от присоединения целиком до одного элемента системы электроснабжения, что, учитывая, что одно присоединение может обеспечивать электрической энергией несколько десятков потребителей, а протяжённость линий электропередач может достигать десятков километров, позволит значительно снизить трудоёмкость и повысить результативность применяемых способов определения мест возникновения повышенных потерь. Существующие методы не обладают достаточной селективностью для своевременного выявления уже существующих и профилактики возникновения новых нарушений в системе электроснабжения, в том числе ухудшения показателей качества электроэнергии, установленных ГОСТ 32144-2013. Сегодня в электросетевых компаниях Российской Федерации проводятся мероприятия по оснащению распределительных систем электроснабжения низкого и среднего уровня напряжения современными приборами учёта с возможностью интеграции в систему АИИС КУЭ. Возможность получать корректную и своевременную информацию о параметрах электрической

энергии в различных точках системы электроснабжения позволит реализовать методики и алгоритмы, позволяющие за счёт анализа известных параметров электрической энергии повысить селективность локализации мест возникновения повышенных потерь в системе электроснабжения.

Для определения повышенных потерь необходимо и достаточно собирать информацию о текущих значениях параметров электрической энергии, а именно величин электрического тока, напряжения и активной мощности для обеспечения полноты информации о процессах распределения и потребления электрической энергии в рассматриваемой системе электроснабжения и возможности определения величины повышенных потерь электрической энергии, характеризуемых величиной неучтённого потребляемого тока или неучтённого дополнительного сопротивления.

Таким образом, можно заключить, что в данной главе настоящей диссертации проведён анализ существующих методов и алгоритмов определения и локализации мест возникновения повышенных потерь электрической энергии в системах электроснабжения различных уровней напряжения с целью оценки достигнутого уровня технологий локализации мест возникновения повышенных потерь электрической энергии.

Во второй главе представлен способ компьютерной обработки и анализа информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения, который, в свою очередь, создан на основании разработанного алгоритма обработки информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения.

Для разработанного способа описывается информационное представление системы электроснабжения в виде совокупности отдельных элементов, представленное на рисунке 1.

Элементы системы электроснабжения, составляющие её информационное представление и их параметры:

- источник питания ИП (I – ток, U – напряжение, P – активная мощность);
- потребитель $П_i$ (I – ток, U – напряжение, P – активная мощность);
- линия электропередачи $Л_i$ ($r_0(x_0)$ – удельное активное(реактивное) сопротивление, l – длина линии);
- иной элемент $И_i$ (R – активное сопротивление, X – реактивное сопротивление).

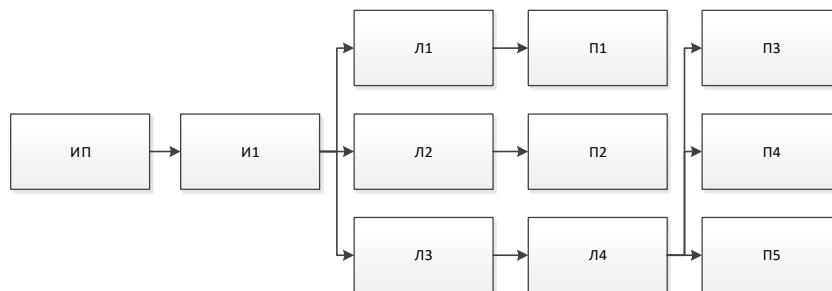


Рисунок 1 – Пример поэлементного информационного представления системы электроснабжения

Вводится критерий сбалансированности системы электроснабжения. Под ним понимается совпадение величины тока источника питания и геометрической суммы токов всех известных потребителей электрической энергии в рассматриваемой системе за вычетом погрешности измерений – в этом случае система считается сбалансированной. Тогда факт превышения геометрической разностью тока источника питания и суммы токов потребителей суммарной погрешности измерительных приборов является свидетельством того, что в системе электроснабжения присутствуют потери электрической энергии коммерческого характера (неучтённое потребление электроэнергии), в таком случае система считается несбалансированной.

Математически критерием сбалансированности системы электроснабжения будет являться удовлетворение условию (1):

$$\left| \vec{I}_0 - \sum_{i=1}^N \vec{I}_i \right| \leq \sigma_{\Sigma} \cdot I_0, \quad (1)$$

где \vec{I}_0 – ток источника питания (в векторном виде), А;

\vec{I}_i – ток потребителя i (в векторном виде), А;

σ_{Σ} – суммарная погрешность измерений, определяемая по формуле (2).

Погрешности средств измерений являются случайными величинами, поэтому при их суммировании в общем случае необходимо учитывать соответствующие законы распределения. На практике для случайных погрешностей используется геометрическое суммирование (2).

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}, \quad (2)$$

где σ_i – среднеквадратическое значение погрешности i .

Суммарная погрешность системы учёта составит не более 3% для системы электроснабжения с числом приборов учёта 30 и менее, что достаточно для практического использования в электрических сетях класса напряжения 0,4-6/10 кВ.

Причём необходимость использования величины токов в комплексном виде обуславливается разнородным характером нагрузки потребителей, в связи с чем не представляется возможным корректно составить баланс токов в системе электроснабжения без учёта коэффициента мощности всех известных потребителей электрической энергии.

Кроме того, выполнять определение корректного небаланса токов и, соответственно, делать вывод о наличии или отсутствии тока утечки без предварительных расчётов некорректно ввиду того, что исходные данные собираются с приборов учёта, установленных в различных точках системы, в связи с чем измеренные значения в каждой точке содержат информацию о сдвиге фазы тока по отношению к соответствующему напряжению (коэффициент мощности потребителя). Данный факт не позволяет верно определить небаланс токов в связи с тем, что величины напряжений в различных точках рассматриваемой системы электроснабжения различны не только по величине, но и по углу сдвига относительно напряжения источника питания, что, в свою очередь, обусловлено наличием реактивных составляющих в сопротивлениях как нагрузок, так и линий электропередачи.

В связи с этим для устранения данных несоответствий и составления корректного баланса токов потребуются выполнить операцию приведения значений токов по углу сдвига к единому напряжению – напряжению источника питания \dot{U}_0 .

Для этого следует определить расчётное напряжение $\dot{U}_{\text{расч}}$ относительно напряжения в конце элемента. Затем потребуется привести токи нагрузки всех потребителей в сети по углу сдвига к полученному значению $\dot{U}_{\text{расч}}$ путём вычисления и учёта угла сдвига фазы между напряжением в точке подключения потребителя и напряжением источника питания. Тогда может быть составлен баланс токов и определена величина неучтённого тока $\dot{I}_{\text{ут}}$.

В общем случае, имея в системе электроснабжения N элементов ($N > 1$), необходимо определить элементы, фактическое напряжение $U_{\text{факт}}$ в конце которых не совпадает с расчётным напряжением $U_{\text{расч}}$, рассчитанным относительно показаний прибора учёта.

Учитывая то, что напряжение источника питания принимается опорным, с наибольшей точностью на данном этапе возможно определить расчётное значение напряжения в конце первого по ходу движения от источника питания элемента.

Расчётное напряжение в конце первого элемента определяется по формуле (3):

$$\dot{U}_{\text{расч}} = \dot{U}_{\text{факт}} - \dot{I}_0 \cdot Z_1, \quad (3)$$

где $\dot{U}_{\text{факт}}$ – фактическое значение напряжения источника питания, полученное на основании информации из исходных данных или в ходе расчёта, В;

\dot{I}_0 – ток источника питания, А;

Z_1 – полное сопротивление первого элемента, Ом.

В случае, если напряжение $\dot{U}_{1\text{расч.}}$, полученное по формуле (3), совпадает по модулю с напряжением $\dot{U}_{1\text{факт.}}$, полученным из исходных данных, можно заключить, что точка несанкционированного подключения на данном элементе отсутствует. В случае, если напряжение $\dot{U}_{1\text{расч.}}$, полученное по формуле (3), не совпадает по модулю с напряжением $\dot{U}_{1\text{факт.}}$, делается вывод о наличии точки несанкционированного подключения на данном элементе.

Так как в общем случае элемент, на котором первым обнаружилось неучтённое потребление, не будет последним, то в дальнейшем потребуется произвести расчёт в обратном порядке таким же образом, каким производилось ранее описанное определение $\dot{U}_{0\text{расч.}}$, при этом выполнять это требуется относительно $|\dot{U}_{i\text{факт.}}|$, которое задано в исходных данных.

При этом расчётное напряжение в начале элемента i будет определяться по формуле (4):

$$\dot{U}_{i-1\text{ расч.}} = \dot{U}_{i\text{ факт}} + \dot{I}_i \cdot Z_i, \quad (4)$$

где $\dot{U}_{i\text{ факт}}$ – фактическое значение напряжения в конце элемента i , полученное на основании информации из исходных данных или в ходе расчёта, В;

\dot{I}_i – ток, потребляемый на элементе i , А;

Z_i – сопротивление элемента i , Ом.

Совпадение напряжения $\dot{U}_{i-1\text{ расч.}}$, рассчитанного по формуле (4), с модулем напряжения $\dot{U}_{i-1\text{ факт.}}$, полученным из исходных данных, свидетельствует об отсутствии точки несанкционированного подключения на данном элементе.

Таким образом, для системы электроснабжения общего случая при проведении двух итераций расчёта становится возможным получить два возможных исхода:

- выделение одного элемента, на котором установлено наличие точки несанкционированного подключения;

- выделение диапазона элементов ($N > 1$), на первом и последнем элементе которого установлено наличие точки несанкционированного подключения.

При условии, что известна конфигурация системы электроснабжения, получены одновременно снятые показания приборов учёта во всех точках их установки, становится возможным определить расчётное значение напряжения $\dot{U}_{1\text{расч.макс}}$ в конце элемента (участка) между двумя приборами учёта (или другими измерительными устройствами) для условия, что ток небаланса внутри элемента отсутствует.

Расчётное максимально возможное значение напряжения в конце элемента $\dot{U}_{i\text{расч.макс}}$ рассчитывается по формуле (5):

$$\dot{U}_{i\text{расч.макс}} = \dot{U}_{i-1\text{факт}} - \dot{I}_{i(0)} \cdot Z_i, \quad (5)$$

где $\dot{U}_{i-1\text{факт}}$ – фактическое значение напряжения в начале элемента, полученное на основании информации из исходных данных или в ходе расчёта, В;

$\dot{I}_{i(0)}$ – ток, протекающий по элементу i , приведённый к напряжению в начале элемента $\dot{U}_{i-1\text{факт}}$ по углу сдвига, А;

Z_i – сопротивление элемента i , Ом.

Очевидно, что $U_{i\text{расч.макс}}$ будет являться максимально возможным значением напряжения в конце элемента ввиду сделанного допущения (отсутствует протекание неучтённых токов), а потому может быть использовано в качестве опорного (аналогично напряжению источника питания) для производства дальнейших расчётов.

Следует отметить, что в общем случае для системы электроснабжения ток $\dot{I}_{i(0)}$ будет представлять собой суммарный учтённый ток, который протекает по всей длине элемента, что подтверждается исходными данными или полученной в ходе расчёта информацией.

Математическая модель распределения электрических величин в системе электроснабжения представлена системой уравнений (6):

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta U_1 = l_{yT1} \cdot I_{ayT1(0)} \cdot K_1 \\ \Delta U_2 = l_{yT2} \cdot I_{ayT2(0)} \cdot K_2 \\ \dots \\ \Delta U_n = l_{yTn} \cdot I_{ayTn(0)} \cdot K_n \end{array} \right. , \quad (6)$$

$$I_{ayT1(0)} + I_{ayT2(0)} + \dots + I_{ayTn(0)} = I_{ayT(0)}$$

где ΔU_i – дополнительное падение напряжения на элементе i , В;

l_{yT1} – расстояние до места утечки на элементе i , км;

$I_{ayTi(0)}$ – активная составляющая неучтённого тока на элементе i , приведённая к напряжению источника питания по углу сдвига, А;

$I_{ayT(0)}$ – активная составляющая суммарного неучтённого тока, определяемого при определении соответствия системы критерию сбалансированности (1), А;

K_i – коэффициент, определяемый по формуле (7):

$$K = \sqrt{(R_0^2 + X_0^2) \cdot (k^2 + 1)}, \quad (7)$$

где R_0 – удельное активное сопротивление элемента, Ом/км;

X_0 – удельное реактивное сопротивление элемента, Ом/км;

k – коэффициент, определяемый по формуле (8):

$$k = tg \varphi_{I_{yT}} = \frac{I_{ryT(0)}}{I_{ayT(0)}}, \quad (8)$$

где $I_{ryT(0)}$ – реактивная составляющая суммарного неучтённого тока, А;

$I_{ayT(0)}$ – активная составляющая суммарного неучтённого тока, А.

Тогда фактическое значение напряжения $\dot{U}_{i\text{факт.}}$ в конце элемента i , содержащего точку несанкционированного подключения, будет определяться из уравнения (9):

$$\dot{U}_{i\text{факт.}} = \dot{U}_{i\text{расч.макс.}} - \dot{I}_{yTi(0)} \cdot Z_{0i} \cdot l_{yTi}, \quad (9)$$

где $\dot{U}_{i\text{расч.макс.}}$ – максимально возможное значение напряжения в конце элемента i , получаемое на основании расчёта по формуле (5), В;

$\dot{I}_{yT(0)}$ – неучтённый ток, протекающий по части сопротивления элемента i , приведённый к напряжению в начале элемента $\dot{U}_{i\text{факт.}}$ по углу сдвига, В;

Z_0 – удельное сопротивление элемента i , Ом/км;

l_{yTi} – расстояние от начала элемента i до места утечки, км.

Уравнение (9) может быть решено для любой корректно заданной системы электроснабжения. При этом при помощи простейших арифметических преобразований может быть получено квадратное уравнение. Для находимых корней следует производить проверку по условию (10):

$$l_{yTi} \leq l_i, \quad (10)$$

где l_i – длина элемента i , км.

В результате действий согласно разработанному способу производится анализ параметров электрической энергии, в котором на основании значений параметров известных элементов с учётом присутствующей погрешности измеренных значений определяются значения параметров неизвестных элементов, представляющие собой информацию об объёме и месте неучтённого потребления в рассматриваемой системе электроснабжения, таким образом, чтобы полученные данные удовлетворяли критерию сбалансированности системы. Повышение точности составления математической модели, необходимой для проведения анализа системы достигается при условии учёта коэффициента мощности потребителей электрической энергии и приведения известных величин к базовому напряжению по углу сдвига фазы.

На примере продемонстрировано определение элементов системы электроснабжения (рисунок 2), имеющих несанкционированное подключение с установлением факта наличия в системе потерь электрической энергии коммерческого характера и указанием элементов,

имеющих несанкционированное подключение. В результате на основании обработки исходной информации получено значение неучтённого тока на элементе и координата точки несанкционированного подключения. Включение в состав системы электроснабжения обнаруженного неучтённого потребления электрической энергии позволяет расширить представление о конфигурации системы (рисунок 3). В таком случае существующие в рассматриваемой системе электроснабжения потери электрической энергии коммерческого характера могут быть учтены в её составе в качестве элемента типа «потребитель», характеризующегося набором параметров, определённым для данного вида элементов (I – ток, U – напряжение, P – активная мощность).

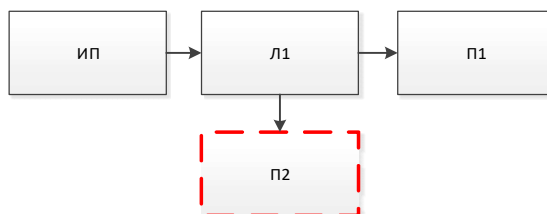


Рисунок 2 – Заданная система электроснабжения

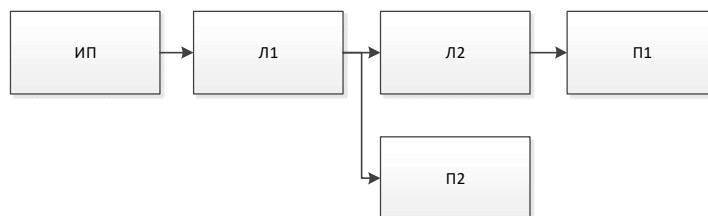


Рисунок 3 – Система электроснабжения (рисунок 2) при включении в её состав обнаруженного несанкционированного подключения

Для реализации данного способа была разработана программа для ЭВМ, в основе которой лежит ранее изложенный порядок действий. Получаемая информация представляется в наглядном виде и содержит необходимую информацию для принятия решения. Точность получаемой информации позволит значительно снизить трудоёмкость дальнейшей локализации несанкционированного подключения на физическом уровне.

Применение разработанного способа позволяет обеспечить локализацию мест несанкционированного подключения за счёт анализа параметров электрической энергии, в связи с чем станет возможным снижение величины коммерческих потерь электрической энергии. Достижимая точность – до элемента системы электроснабжения – участка между двумя прибора учёта.

Сельские воздушные линии электропередачи напряжением 6–10 кВ электросетевых компаний в подавляющем большинстве случаев построены по радиальному принципу древовидной конфигурации. Сечения проводов ступенчато уменьшаются от головных участков к концу линии. Средняя протяжённость линий на магистральном участке составляет 16 км, протяжённость ответвлений – 5–6 км. Для линий электропередачи напряжением до 1000 В характерна меньшая протяжённость: длина не должна, как правило, превышать 500 метров от центра питания до наиболее удалённой точки и 2 км суммарной длины линии напряжением 0,4 кВ с учетом ответвлений (отпак). При этом расстояние между двумя приборами учёта определяется количеством потребителей (ввиду того, что при типовом исполнении конструкции линии электропередачи 0,4 кВ в виде магистральной линии точки подключения потребителей и, соответственно, точки учёта потребляемой электрической энергии располагаются в месте подключения отпайки к магистральной линии) и в среднем для электрических сетей Алтайского края составляет: 2,5–6 км для сетей класса напряжения 6/10 кВ и менее 100 метров для сетей класса напряжения 0,4 кВ.

Таким образом, с учётом минимальной достижимой точности локализации несанкционированного подключения при использовании разработанного способа достигается

снижение трудоёмкости определения на 95% для сетей класса напряжения 0,4 кВ и на 60% для сетей класса напряжения 6/10 кВ.

Разработанный способ не вносит дополнительной погрешности при проведении математических операций, в связи с чем точность достигаемых результатов определяется точностью применяемых измерительных устройств, следовательно, общая погрешность получаемых численных результатов не превышает суммарной погрешности системы измерений.

Таким образом, можно заключить, что в данной главе настоящей диссертации разработан и описан способ компьютерной обработки и анализа информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения.

Использование полученных результатов позволяет определить и локализовать коммерческие потери электрической энергии в системах электроснабжения и упростить процесс принятия решений о применении мероприятий по снижению потерь на основании обработки и анализа информации, поступающей с современных приборов учёта, за счёт работы представленного способа, его математического и алгоритмического обеспечения.

В третьей главе представлен способ компьютерной обработки и анализа информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь электрической энергии, который, в свою очередь, создан на основании разработанного алгоритма обработки информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь.

Совершенно очевидно, что факторы и особенности систем электроснабжения, связанные с их конструкцией и заложенные при проектировании, такие как протяжённость линий и площадь поперечного сечения проводников, не могут быть снижены никакими методами кроме реконструкции (модернизации), а потому потери, обусловленные конструктивом системы электроснабжения, должны рассматриваться при расчёте и анализе величины технических потерь как неснижаемые нормативные величины, состоящие из постоянной и нагрузочной составляющей потерь электроэнергии, рассчитываемых особым образом для каждого типа систем электроснабжения с учётом конструкции и других факторов, влияющих на результат. В рамках данного исследования рассматривается способ обнаружения повышенных технических потерь, обусловленных возникновением нарушений технического состояния элементов системы электроснабжения, которые могут быть устранены в результате ремонта и/или обслуживания.

Вводится критерий обоснованности величины технических потерь в системе электроснабжения. Под ним понимается совпадение величины нормативных (допустимых) и фактических технических потерь.

Тогда факт превышения фактической величиной потерь нормативной величины является свидетельством того, что в системе электроснабжения присутствуют повышенные технические потери. Математически критерий обоснованности может быть выражен в виде неравенства (11):

$$\Delta \dot{S}_{\text{нагр. норм.}} < \Delta \dot{S}_{\text{нагр. факт.}} \quad (11)$$

где $\Delta \dot{S}_{\text{нагр. норм.}}$ – величина нормативных нагрузочных технических потерь, В·А;

$\Delta \dot{S}_{\text{нагр. факт.}}$ – фактическая величина потерь, определяемая как разность полной величины потерь в системе электроснабжения и рассчитанных величин постоянных технических потерь и коммерческих потерь, В·А.

Для разработанного способа описывается порядок работы и математический аппарат.

Наиболее показательной количественной оценкой степени ухудшения состояния элемента системы, напрямую определяющего уровень потерь электрической энергии, будет являться значение дополнительного комплексного сопротивления. Численно оно может быть рассчитано по формуле (12):

$$\Delta z_i = Z_{i \text{ факт}} - Z_{i \text{ расч}}, \quad (12)$$

где Δz_i – дополнительное сопротивление на элементе i , Ом;

$Z_{i \text{ факт}}$ – фактическое сопротивление элемента i , Ом;

$Z_{i \text{ расч}}$ – сопротивление элемента i , принятое по техническим данным, Ом.

Фактическое сопротивление элемента определяется совокупностью нормативного сопротивления элемента, принятого по техническим данным линии и дополнительного сопротивления рассматриваемого элемента. Фактическое сопротивление элемента может быть найдено из выражения (13):

$$Z_{i \text{ факт}} = \frac{\dot{U}_{i1} - \dot{U}_{i2}}{\dot{I}_i}, \quad (13)$$

где $\dot{U}_{i1}(\dot{U}_{i2})$ – напряжение в начале (конце) элемента i , В;
 \dot{I}_i – значение тока, протекающего по элементу i , А.

Искомое дополнительное сопротивление может быть принято активным для упрощения расчётов, так как на практике в большинстве случаев оно является переходным сопротивлением в точке соединения или точечным увеличением сопротивления провода, а в случае замены участка проводника проводом другого сечения, но того же типа, данный участок с увеличенными техническими потерями будет иметь близкое индуктивное сопротивление при значительно отличающемся активном сопротивлении.

Математическая модель изменения электрического напряжения в системе электроснабжения представлена системой уравнений (14):

$$\begin{cases} \Delta U_1 = I_{1(0)} \cdot \Delta R_1 \\ \Delta U_2 = I_{2(0)} \cdot \Delta R_2 \\ \dots \\ \Delta U_n = I_{n(0)} \cdot \Delta R_n \end{cases}, \quad (14)$$

где ΔU_i – дополнительное падение напряжения на элементе i , В;

$I_{i(0)}$ – значение тока, протекающего по элементу i , приведённое к напряжению источника питания (опорному напряжению) по углу сдвига, А;

ΔR_i – дополнительное сопротивление на элементе i с учётом допущения о его полностью активном характере, Ом.

На основании изложенного в главе 3 получено уравнение (15), позволяющее определить дополнительное сопротивление участка (элемента) системы электроснабжения:

$$\Delta \dot{U}_{i \text{ факт.}} = \Delta \dot{U}_{i \text{ расч.}} - \dot{I}_{i(0)} \cdot \Delta R_i, \quad (15)$$

где $\Delta \dot{U}_{i \text{ факт.}}$ – фактическое падение напряжения на элементе i , В;

$\Delta \dot{U}_{i \text{ расч.}}$ – расчётное падение напряжения на элементе i , В;

$\dot{I}_{i(0)}$ – значение тока, протекающего по элементу i , приведённое к напряжению источника питания (опорному напряжению) по углу сдвига, А;

ΔR_i – дополнительное сопротивление на элементе i с учётом допущения о его полностью активном характере, Ом.

Уравнение (15) может быть решено для любой корректно заданной системы электроснабжения. При этом при помощи простейших арифметических преобразований может быть получено квадратное уравнение. Для полученных результатов следует произвести проверку корней на неотрицательность.

На примере продемонстрировано определение элементов системы электроснабжения (рисунок 4), имеющих повышенный уровень технических потерь с установлением факта наличия в системе повышенных технических потерь и указанием элементов, имеющих повышенное сопротивление протеканию электрического тока. В результате на основании обработки исходной информации определён элемент, на котором присутствуют повышенные технические потери и получено значение дополнительного сопротивления на данном элементе. Обнаружение дополнительных элементов позволяет расширить представление о системе электроснабжения (рисунок 5). В таком случае существующие в рассматриваемой системе электроснабжения повышенные потери электрической энергии технического характера могут быть учтены в её

составе в качестве элемента типа «иной элемент», характеризующегося набором параметров, определённым для данного вида элементов (R – активное сопротивление, X – реактивное сопротивление), на котором возникают потери электрической энергии при протекании по нему электрического тока.

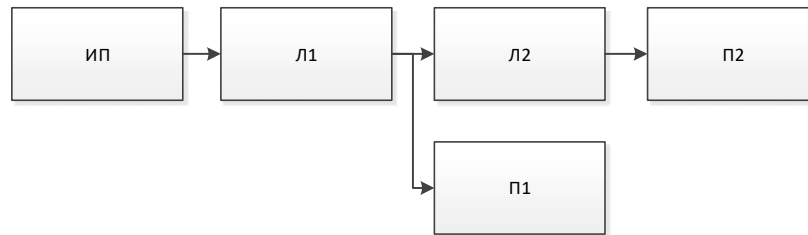


Рисунок 4 – Заданная система электроснабжения

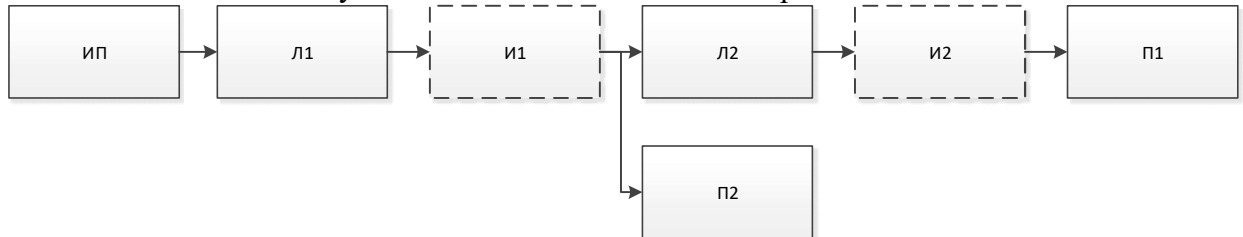


Рисунок 5 – Система электроснабжения (рисунок 4) с учётом обнаруженных несоответствий

Для реализации данного способа была разработана программа для ЭВМ, в основе которой лежит ранее изложенный порядок действий. Получаемая информация представляется в наглядном виде и содержит необходимую информацию для принятия решения. Точность получаемой информации позволит значительно снизить трудоёмкость дальнейшей локализации повышенных потерь на физическом уровне.

Применение разработанного способа позволяет за счёт анализа параметров электрической энергии определить наличие в системе электроснабжения элементов, имеющих повышенный уровень технических потерь. Достижимая точность – до элемента системы электроснабжения – участка между двумя приборами учёта. Полученные результаты могут быть применены для анализа и выборочного контроля реальных систем электроснабжения низкого и среднего уровня напряжений, а также для проведения оценки технического состояния участков и элементов систем электроснабжения.

Наилучшие результаты достигаются при многократном анализе системы электроснабжения, что позволит наиболее полно оценить распределение потерь по типам оборудования и характеру возникновения.

Разработанный способ не вносит дополнительной погрешности при проведении математических операций, в связи с чем точность достигаемых результатов определяется точностью применяемых измерительных устройств, следовательно, общая погрешность получаемых численных результатов не превышает суммарной погрешности системы измерений.

Таким образом, можно заключить, что в данной главе настоящей диссертации разработан и описан способ компьютерной обработки информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь.

Использование полученных результатов позволяет определить и локализовать повышенные технические потери электрической энергии и упростить процесс принятия решений о применении тех или иных мероприятий по снижению потерь на основании обработки и анализа информации, поступающей с современных приборов учёта, за счёт результатов работы представленного способа, его математического и алгоритмического обеспечения.

В четвёртой главе представлен алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения для определения и локализации потерь в системе электроснабжения и поддержки принятия управленческих решений (рисунок 6), а также необходимое для его реализации оригинальное устройство для контроля параметров электрической энергии в системе электроснабжения и программно-аппаратный комплекс.

Описаны основные характеристики и разработана функциональная схема устройства для контроля параметров электрической энергии в системе электроснабжения в месте его установки.

Для реализации алгоритма определены форматы ввода и вывода данных, указаны ограничения и показан пример отчёта, содержащий информацию о полученном решении проблемы и графическое представление рассматриваемой системы электроснабжения с указанием обнаруженных мест неучтённого потребления или участков с повышенными техническими потерями.

Данный алгоритм позволяет выполнять анализ параметров электрической энергии в рассматриваемой системе, что позволяет определить характер и объём повышенных потерь электрической энергии, а также выполнить их локализацию, благодаря чему обеспечивается возможность для снижения издержек компаний электросетевого комплекса, связанных с коммерческими и устранимыми техническими потерями.

Представленный на рисунке 6 алгоритм позволяет классифицировать обнаруженные повышенные потери, определить их характер и выделить долю потерь каждого типа в общем объёме при помощи введённых критериев сбалансированности системы электроснабжения (1) и обоснованности величины технических потерь (11).

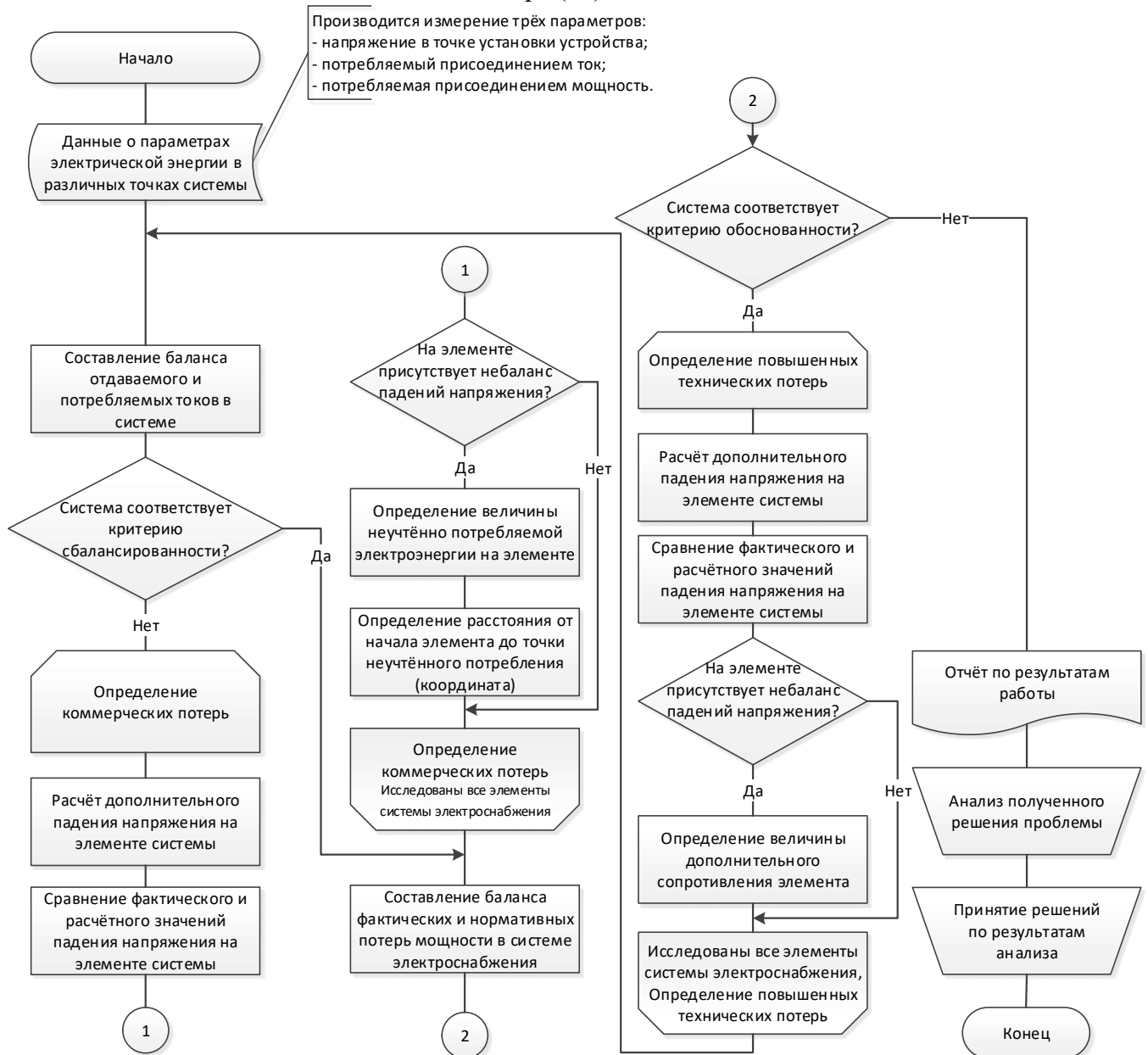


Рисунок 6 – Алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения

Классификация повышенных потерь предполагает разделение потерь на три группы:

- технические нормативные (обусловленные ненулевым сопротивлением элементов);
- технические повышенные (обусловленные нарушением технического состояния элементов системы электроснабжения и вызывающие повышение сопротивления элементов сверх допустимых значений);
- коммерческие (обусловленные протеканием неучтённого тока).

Очевидно, что в практической деятельности интерес представляют повышенные технические и коммерческие потери.

Классификация потерь и однозначное разделение их на виды позволяет обеспечить поддержку принятия управленческих решений по их снижению, что, в свою очередь, позволит по результатам работы алгоритма вывести результат, содержащий следующие параметры:

- характер выявленной точки повышенных потерь;
- объём потерь (рассчитанный в численном выражении неучтённо потребляемого тока или дополнительного сопротивления);
- место возникновения потерь (выраженное в координатах с привязкой к элементу системы электроснабжения).

Таким образом, поддержка принятия решений для снижения потерь в системе электроснабжения может быть обеспечена с использованием классификации повышенных потерь так, чтобы определить приоритетность устранения обнаруженных мест возникновения потерь и обеспечить рациональное использование средств.

Для работы с созданным математическим и алгоритмическим обеспечением был разработан программно-аппаратный комплекс, реализующий необходимые функции.

Таким образом, можно заключить, что для совершенствования методов и алгоритмов компьютерной обработки информации об изменении параметров электрической энергии разработан и описан в данной главе настоящей диссертации алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения, позволяющий обеспечить определение и локализацию повышенных потерь в системах электроснабжения, а также поддержку принятия управленческих решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований получены новые научные и технические результаты, направленные на совершенствование методов и алгоритмов компьютерной обработки информации об изменении параметров электрической энергии для обеспечения определения и локализации повышенных потерь в системах электроснабжения с целью снижения их величины, имеющие существенное значение для электроэнергетики.

1. В результате проведённого анализа применяемых методов и алгоритмов обработки информации для определения и локализации повышенных потерь электрической энергии в системах электроснабжения различных уровней напряжения установлено, что существующие способы не обладают достаточной селективностью для своевременного выявления существующих и профилактики возникновения новых нарушений в системах электроснабжения низкого и среднего уровня напряжений (от 0,4 кВ до 35 кВ) и требуют усовершенствования. Основной причиной низкого уровня селективности локализации мест возникновения повышенных потерь электрической энергии является отсутствие методов и алгоритмов обработки информации, основанных на использовании мгновенных значений параметров тока, напряжения и активной мощности. На основе получения корректной и своевременной информации о параметрах электрической энергии в системах электроснабжения выявлена возможность реализовать алгоритм, позволяющий за счёт анализа параметров электрической энергии повысить селективность локализации мест возникновения повышенных потерь.

2. Доказано, что использование способа компьютерной обработки и анализа информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения позволяет на основании выполнения анализа параметров электрической энергии обеспечить локализацию несанкционированных подключений в системах

электроснабжения низкого и среднего уровня напряжений с точностью до элемента системы – участка между двумя приборами учёта или до конкретной координаты в системе электроснабжения в зависимости от качества и количества исходных данных. Применение результатов, полученных при помощи разработанного способа, позволяет снизить трудоёмкость проведения физического обследования системы электроснабжения за счёт предварительного удалённого определения точки возникновения коммерческих потерь. Достижимая точность получаемого численного решения проблемы – величины неучтённого потребляемого тока и координаты точки несанкционированного подключения зависит от погрешности применяемых средств измерений и при использовании современных систем учёта не превышает 3% для отдельного присоединения.

3. Доказано, что применение способа компьютерной обработки и анализа информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь позволяет на основании выполнения анализа параметров электрической энергии обеспечить локализацию мест возникновения повышенных технических потерь в системах электроснабжения с точностью до элемента системы – участка между двумя приборами учёта. Применение результатов, полученных при помощи разработанного способа, позволяет снизить трудоёмкость проведения физического обследования системы электроснабжения за счёт предварительного удалённого определения точки возникновения повышенных технических потерь. Достижимая точность получаемого численного решения проблемы – величины дополнительного сопротивления зависит от погрешности применяемых средств измерений и при использовании современных систем учёта не превышает 3% для отдельного присоединения.

4. Показано, что разработанный алгоритм анализа параметров элементов системы электроснабжения для определения и локализации потерь в системе электроснабжения и поддержки принятия управленческих решений, который предназначен для выполнения анализа параметров электрической энергии с целью определения повышенных потерь в системе электроснабжения, позволяет обеспечить локализацию мест возникновения повышенных потерь и обеспечить поддержку принятия решений о применении мероприятий по снижению потерь за счёт использования оригинальных критериев сбалансированности и обоснованности системы электроснабжения, а также классификации повышенных потерь электрической энергии.

5. Выявлено, что разработанный программно-аппаратный комплекс для автоматизированного проведения компьютерной обработки информации о параметрах электрической энергии в системах электроснабжения и поддержки принятия управленческих решений, основанный на совместном многократном применении предлагаемых: способа компьютерной обработки информации для определения факта и места несанкционированного подключения к системам электроснабжения; способа компьютерной обработки информации для определения элементов системы электроснабжения, имеющих повышенный уровень технических потерь; алгоритма анализа параметров элементов системы электроснабжения; оригинального устройства для контроля параметров электрической энергии в системе электроснабжения в месте его установки; позволяет осуществить в автоматизированном режиме определение повышенных потерь в системе электроснабжения с разделением потерь по видам и указанием мест их возникновения. Обеспечиваемый уровень локализации – не ниже чем до элемента системы (участка между двумя приборами учёта). Получаемые результаты в текстовом и графическом виде отвечают требованиям достоверности и обеспечивают возможность принятия управленческих решений о снижении потерь электрической энергии в системах электроснабжения на основании полученной информации.

В перспективе возможно использование результатов диссертационной работы для построения «цифровых сетей» в части организации автоматизированного контроля за техническим состоянием и режимом их работы, что позволит оперативно реагировать на появление несанкционированных подключений к системам электроснабжения и ухудшений технического состояния отдельных элементов системы, за счёт чего будет значительно повышена надёжность электроснабжения потребителей.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки Российской Федерации

1. **Казымов, И. М.** Оценка состояния систем электроснабжения на предмет наличия повышенного уровня потерь электрической энергии // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 1. – С. 51–55. DOI: 10.25728/avtprom.2022.01.11.
2. **Казымов И. М.,** Компанеец Б. С., Шувалова А. А. Поддержка принятия решений по результатам анализа состояния систем электроснабжения // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 8. – С. 60–64. DOI: 10.25728/avtprom.2021.08.10.
3. **Казымов И. М.,** Компанеец Б. С. Обработка информации и принятие решений в системе контроля параметров электрической энергии в распределительной сети // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2021. – Т. 10. – № 3(55). – С. 19–24. DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0003.
4. **Казымов И. М.,** Компанеец Б. С. Разработка алгоритма принятия решений о применении мероприятий по снижению потерь электрической энергии // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – №. 9. – С. 102–109. DOI: 10.24412/2071-6168-2021-8-102-109.
5. **Казымов И. М.,** Компанеец Б. С. Разработка программного комплекса для мониторинга технических и коммерческих потерь электроэнергии в распределительной сети // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2021. – №3(67). – С. 41–49. DOI: 10.6060/snt.20216804.0006.

Статьи в изданиях, входящих в базы данных Web of Science и Scopus

6. **Kazymov I,** Kompaneets B Definition of fact and place of losses in low voltage electric networks // Proceedings of the 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING, APPLICATIONS AND MANUFACTURING, ICIEAM 2019 – Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2019. – P. 1–5. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019.8743075.

Патенты и свидетельства

7. Патент РФ на изобретение №2748936. Прибор контроля потребления электрической энергии в сети низкого напряжения. МПК G01R 21/133 (2006.01); G01R 22/10 (2006.01). / **Казымов И. М.,** Компанеец Б. С (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2020127771; заявл. 18.08.2020; опубл. 01.06.2021, бюл. №16.
8. Патент РФ на изобретение №2769748. Способ определения факта, места и величины неучтённого потребления электрической энергии в распределительной сети. МПК G01R 21/133 (2006.01); G01R 21/06 (2006.01); G01R 22/06 (2006.01). / **Казымов И. М.,** Компанеец Б. С (RU); правообладатель Казымов И. М. Заявка № 2021113601; заявл. 28.06.2021; опубл. 05.04.2022, бюл. №10.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018663201. Определение размера хищений электроэнергии в местах установки приборов учёта: программа для ЭВМ / Б. С. Компанеец, **И. М. Казымов** (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2018660915; заявл. 08.10.18; опубл. 23.10.2018, 44 Кб.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019613612. Определение участков с повышенным активным сопротивлением в распределительной сети: программа для ЭВМ / Б. С. Компанеец, **И. М. Казымов** (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2019612251; заявл. 06.03.19; опубл. 19.03.2019, 50 Кб.
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022613782. Выполнение графического представления системы электроснабжения на основании задаваемой топологии: программа для ЭВМ / **И. М. Казымов,** Б. С. Компанеец (RU); правообладатель ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И. И. Ползунова. Заявка № 2022612240; заявл. 18.02.22; опубл. 15.03.2022, 27 Кб.

Статьи в других печатных изданиях

12. **Казымов И. М.,** Компанеец Б. С., Дробязко О. Н. Разработка устройства для контроля параметров электрической энергии в распределительной сети // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2021. – Т. 7. – № 3. – С. 106–119. DOI: 10.17816/transsyst202173106-119.

Печатается в авторской редакции
Подписано в печать 26.06.2024
Формат 60x84/16. Тираж 100 экз.

Типография: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, т. 8-(3852)-29-07-06
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
типография АлтГТУ им. И. И. Ползунова