

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Анализ эффективности внедрения АИИСКУЭ в распределительных
электрических сетях

Обучающийся

Р.А. Хомяков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. О.В. Самолина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из 44 с., 24 рис., 16 табл., 20 источников.

Ключевые слова: подстанция, фидер, учет, электроэнергия, сеть, электроснабжение, потребитель, линия, потери.

Актуальность выбранной темы состоит в том, что снижение потерь электроэнергии путем внедрения автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ), в настоящее время, является одним из ключевых вопросов развития и совершенствования современной электроэнергетики.

Объектом исследования являются распределительные электрические сети (РЭС).

Предметом исследования является АИИСКУЭ, реализованная в РЭС по фидеру 84-09 ПС «Солнечная».

Цель работы заключается в анализе эффективности внедрения АИИСКУЭ в электрических сетях.

Цель достигается решением таких задач, как:

- выполнить анализ потерь в электрической сети;
- анализ стоимости оплат потерь;
- расчет технических потерь;
- выполнить оценку коммерческих потерь в электрической сети.

Применение данной системы позволяет снизить нагрузки на линии, борьба с потребителями жилых домов, которые вовремя не передают показания электросчетчиков, а также изучение причины хищения электроэнергии.

Содержание

Введение.....	4
1 Теоретическая часть.....	5
1.1 АИИСКУЭ и их применение в распределительных сетях	5
1.2 Влияние АИИСКУЭ на снижение потерь электроэнергии	8
1.3 Информация по установке оборудования АИИСКУЭ и программному обеспечению	10
2 Абаканский район электрических сетей (РЭС) – филиал Хакасэнерго, ПС «Солнечная» по фидеру 84-09	15
3 Анализ суммарных потерь электроэнергии и их оплаты.....	17
3.1 Динамика потерь электроэнергии в фидере 84-09 за 6 лет.....	19
3.2 Динамика оплаты электроэнергии по фидеру 84-09	28
4 Анализ технических и коммерческих потерь электроэнергии.....	37
4.1 Анализ технических потерь	37
4.2 Анализ коммерческих потерь	40
Заключение	42
Список используемой литературы	43

Введение

«Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях - важнейший показатель эффективности и рентабельности их работы. Снижение коммерческих потерь электрической энергии - один из путей и реальных источников поступления денежных средств, направляемых на развитие электрических сетей, на повышение надежности и качества электроснабжения потребителей» [1].

Цель работы заключается в анализе эффективности внедрения АИИСКУЭ в электрических сетях.

Задачи работы:

- рассмотреть теоретические аспекты применения АИИСКУЭ в современных распределительных сетях;
- привести краткую характеристику Абаканского района электрических сетей (РЭС) и ПС «Солнечная» по фидеру 84-09;
- выполнить анализ потерь в электрической сети;
- анализ стоимости оплат потерь;
- расчет технических потерь;
- выполнить оценку коммерческих потерь в электрической сети.

«Постоянный рост тарифов на электрическую энергию для населения является недоучет и, как следствие, рост потерь электроэнергии при передаче ее по сетям до конечного потребителя. Согласно современному законодательству, потери электроэнергии включаются в состав тарифа для конечного потребителя. Одним из возможных путей решения проблемы снижения потерь электроэнергии является внедрение современных систем для контроля и учета электроэнергии» [2].

Результаты работы могут применяться для оценки эффективности и перспективности внедрения АИИСКУЭ в различных распределительных сетях.

1 Теоретическая часть

1.1 АИИСКУЭ и их применение в распределительных сетях

Информатизация – это путь к интеллектуальности и взаимосвязи между разными системами. Данные от подключенных датчиков сети и многих других источников становятся основным ресурсом для автоматизированного, успешного и выгодного управления сетью. Улучшение информатизации путем применения цифровых технологий является основным течением, которое уже нарушило медиа-индустрию, розничную торговлю, туристическое размещение и транспортный сектор. Эта тенденция также оказывает влияние на энергетический сектор. В соответствии с тенденцией ее развития она может изменить саму природу управления сетью и активно реагировать на вызовы и возможности все более распределенных и декарбонизированных сетевых ресурсов, что позволит сформировать цифровую сеть.

Цифровая сеть с интеллектуальными подстанциями и датчиками, расположенными в критических точках, обеспечивающая более эффективное управление сетью. Это открывает путь для прогнозного обслуживания и использования активов для конкретной ситуации, что в конечном счете укрепит возможности самовосстановления. Разумный дизайн платформ и бизнес-моделей, базирующихся на данных, может позволить коммунальным службам создавать новые потоки дохода, даже из активов, которыми они не обладают [3].

Одними из решающих задач влияющих на необходимость улучшения информативности электрической сети является: необходимость изменения структуры генерации, появление рассредоточенных источников относительно малой мощности; необходимость мониторинг спроса потребляемой мощности и ее предложения на перспективу и близко к реальному времени, необходимость управления складом и мощностью

подключенных электроустановок, опираясь на данные разумных систем учета; улучшение уровня диагностики электрической сети и ее элементов с учетом воздействия на окружающую среду; предупреждение аварийных ситуаций, самодиагностика, необходимость разработки самовосстанавливаемых систем [15].

Реализация вышеперечисленных задач актуальна для электроэнергетики ПФ. Для решения которой необходимо обеспечение новейшей технологической базы, объединенной в одну систему.

За основу начального анализа пути развития информатизации электроэнергетики можно принять принципы изложенные в Европейской концепции Smart Grid и требования правил доступа к сети для трансграничного обмена электрической энергии согласно регламенту ЕС №714/2009 [18].

Общая структура АИИСКУЭ показана на рисунке 1.

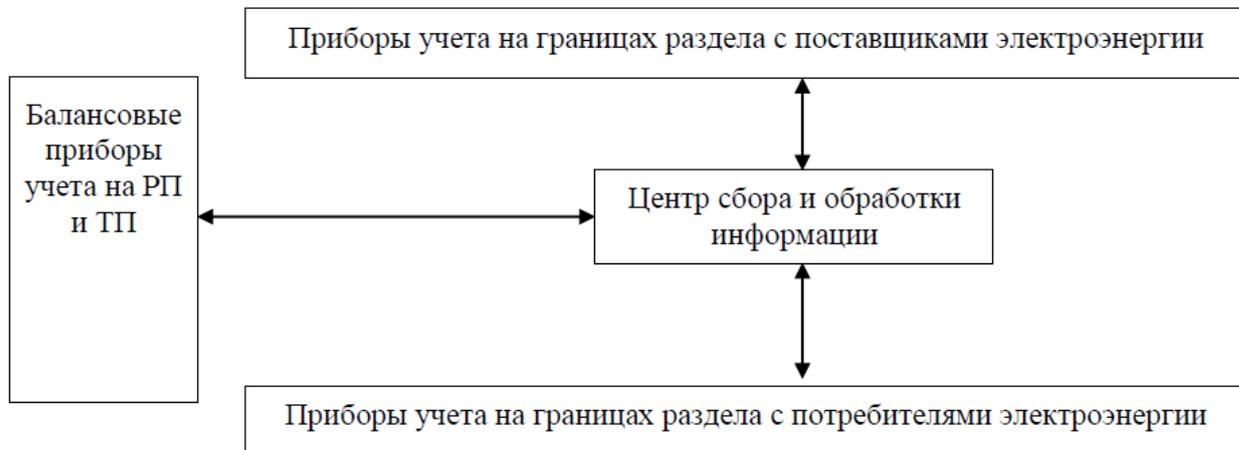


Рисунок 1 – Структура АИИСКУЭ

К основным терминам, которые трактует Европейская концепция Smart Grid, можно отнести: «гибкость: удовлетворение требований потребителей и способность реагировать на изменения и проблемы в будущем; доступность: возможность подключения для всех участников к сети. В частности,

«интеллектуальная» сеть должна быть доступна для источников возобновляемой энергии и для эффективных и надежных локальных источников генерации с нулевым или низким уровнем выбросов углерода; надежность: сеть должна быть надежной и обеспечивать высокое качество поставки электроэнергии; экономичность: оптимальный результат достигается за счет инноваций, эффективного регулирования и управления распределением электроэнергии и единых условий конкуренции» [4]. Таким образом, в целом изначальная структура АИИСКУЭ соответствует современным концепциям Smart Grid, однако АИИСКУЭ продолжают развиваться и совершенствоваться, в том числе, с учетом развития интеллектуальных нейросетей [16].

Направление развития системы АИИСКУЭ ориентируется на управление спросом и технологии прогнозирования для улучшения стимулирования активного участия потребителя путем тарифообразований. Это касается не только промышленности, но и бытовых потребителей. Отмена субсидирования и стимул к изменению энергопотребления, применение мер по энергоэффективности или генерация в сеть, в зависимости от изменения цены на электроэнергию являются одними из основных способов регулирования состояния электрической сети «активным» потребителем. Для осуществления такого регулирования необходимо выполнять своевременное сигнализирование потребителей и высокий уровень оперативности при принятии решений по тарифообразованиям, которые будут базироваться на анализе состояния сети. Основным оборудованием, которое превращает обычного потребителя в активного, являются источники рассредоточенной генерации, системы управления нагрузкой потребителя, аккумуляторные батареи. Использование источников распределенной генерации и системы управления нагрузкой потребителя в зависимости от спроса на электроэнергию является основным способом получения экономического эффекта для потребителя и

автоматической корректировкой системы электроснабжения, также симбиоз стимулирует использование средств накопления электрической энергии [5].

Вывод по разделу. Следующим шагом развития сетей с активными потребителями могут быть сети, выделенные в отдельные сегменты, которые могут работать отделенно от общей сети или вместе с ней, сочетая в себе различные распределенные средства генерации, и оснащены собственной системой регулирования и автоматикой (micro Grid).

1.2 Влияние АИИСКУЭ на снижение потерь электроэнергии

«Важным показателем технического состояния электрических сетей и уровня их эксплуатации является величина потерь электроэнергии и тенденции ее изменения» [6].

«Фактические небалансы электроэнергии в распределительных сетях энергосистем часто превышают допустимые значения, иногда значительно. Их динамика по подстанциям, и по сетям характеризует случайность и стремление к увеличению. В связи с этим аппаратная реализации учета электроэнергии ведет к неопределенности исходной информации, используемой при расчете, анализе потерь электроэнергии.

Фактические потери имеют четыре составляющие:

- технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче ее по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании ее части в тепло в элементах сетей;
- расход электроэнергии на собственные нужды подстанции, необходимые для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала;
- потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями ее измерения;

- коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием ее оплаты бытовыми потребителями показаниям счетчиков, задержкой платежей, неоплатой счетов и другими причинами в сфере организации контроля потребления энергии. Их значение определяют, как разницу между фактическими и технологическими потерями.

Коммерческие потери делятся на четыре группы [9]:

- потери из-за погрешностей системы учета электроэнергии;
- потери при выставлении счетов;
- потери из-за хищений электроэнергии;
- потери при востребовании оплаты.

На данный момент промышленные предприятия и коммунально-бытовые потребители ударными темпами увеличивают количество помехогенерирующего оборудования. На предприятиях - это повсеместная модернизация производства, т. е. внедрение передового оборудования: современных источников света, сварочных выпрямителей и частотных преобразователей» [7]. Дополнительные помехи в электрической сети негативно отражаются на качестве учета электроэнергии, однако это может быть скорректировано при реализации современной АИИСКУЭ.

Вывод по разделу. Существующие подходы и мероприятия по снижению потерь электрической энергии с каждым годом становятся все менее эффективными. Дальнейшее снижение потерь электрической энергии возможно за счет внедрения инновационных технологий, позволяющих повысить наблюдаемость, контроль, достоверность и качество управления режимами электроэнергетических систем повысить экономические показатели с сохранением надежности электроснабжения потребителей

1.3 Информация по установке оборудования АИИСКУЭ и программному обеспечению

«Прибор учета электроэнергии – это прибор для измерения расхода электроэнергии переменного или постоянного тока (в кВт×ч или А×ч).

Приборы учета должны размещаться в доступных для обслуживания сухих помещениях» [8].

Конструкция его крепления должна обеспечивать возможность установки и съема прибора учета с лицевой стороны.

Информацию по установке оборудования АИИСКУЭ по фидеру 84-09 рассмотрим в таблице 1.

Таблица 1 – Информация по фидеру 84-09

Установка АИИСКУЭ по фидеру 84-09	
Количество установленных коммерческих приборов учета	175
Количество установленных технических приборов учета	9
Места установки приборов учета	Опоры ВЛ 0.4 кВ (коммерч.учет), щит учета (технич.учет)
Дата начала монтажа	май 2018
Дата окончания монтажа	июнь 2018

Разрешается размещение приборов учета в неотапливаемых помещениях и коридорах распределительных устройств электростанций и подстанций, а также в шкафах наружной установки, но необходимо предусмотреть стационарное их утепление на зимнее время (установка утепляющих шкафов) [12]. Приборы учета должны устанавливаться в шкафах, камерах комплектных распределительных устройств, на панелях, щитах, в нишах, на стенах, имеющих жесткую конструкцию [10].

Конструкции и размеры шкафов, ниш, щитков и т.п. обязаны обеспечивать удобный доступ к приборам учета и трансформаторам тока. Также должна обеспечиваться удобная замена прибора учета [17].

На фидере 84-09 было установлено приборов коммерческого учета в количестве 171 штука, место установки: опоры ВЛ 0.4 кВ, а также установлены приборы технического учета в количестве 9 штук, место установки: щит учета [14].

Установленное оборудование АИИСКУЭ от АО «Энергомера» показано на рисунке 2.

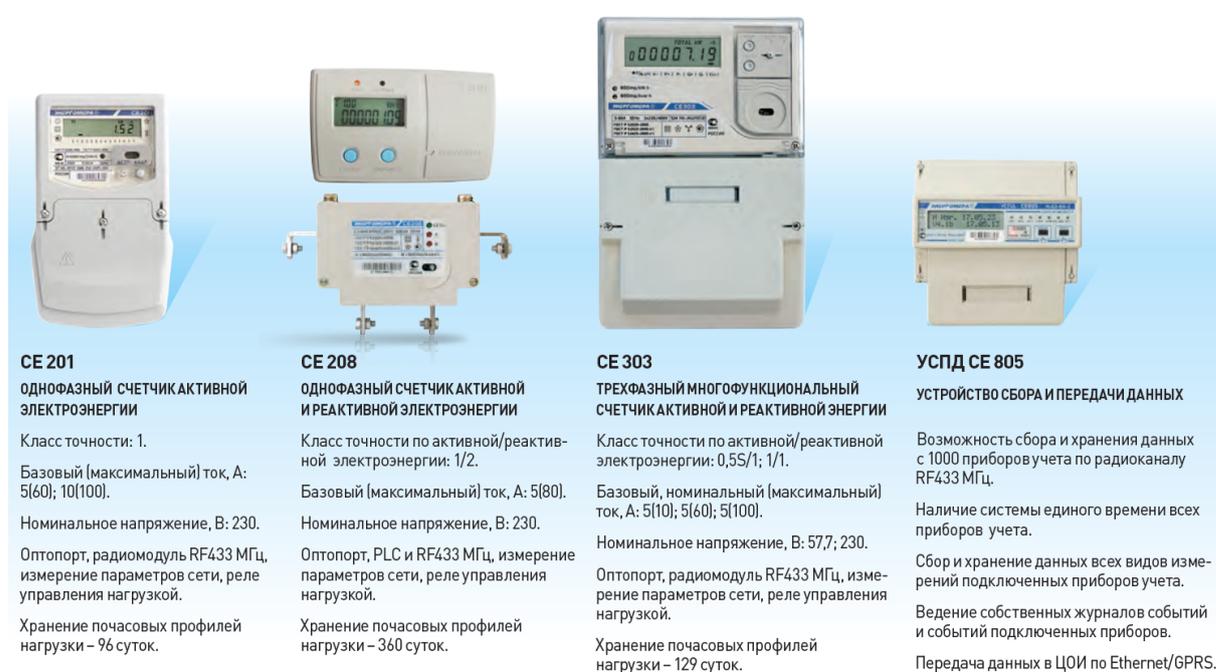


Рисунок 2 – Установленное оборудование АИИСКУЭ

Фактические небалансы электроэнергии в распределительных сетях энергосистем часто превышают допустимые значения, иногда значительно. Их динамика по подстанциям, и по сетям характеризует случайность и стремление к увеличению. В связи с этим аппаратурная реализации учета электроэнергии ведет к неопределенности исходной информации, используемой при расчете, анализе потерь электроэнергии [13].

Ключевой задачей энергетической отрасли является задача сохранения энергии. Существующее состояние неэффективного использования энергетических ресурсов угрожает экономической стабильности и развитию страны, поскольку статистически выпуск единицы производства в развитых странах потрачен в три раза меньше энергии, чем в России. Это делает нашу экономику не конкурентоспособно не только на мировом, но и на внутреннем рынке. Отдельное внимание требует снижение коммерческих затрат. Эффективную работу АИИСКУЭ обеспечивает современное программное обеспечение (ПО) cEnergо 4.7, главное рабочее окно показано на рисунке 3.

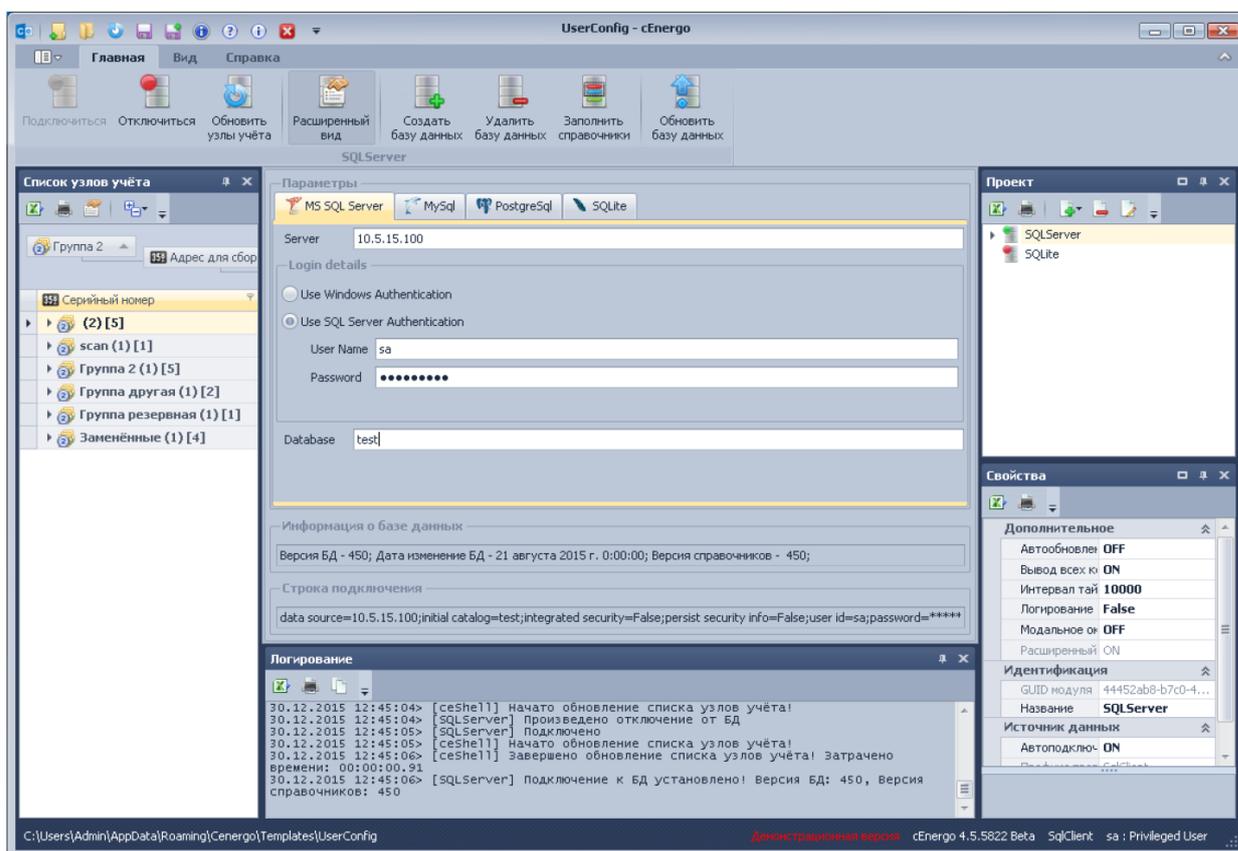


Рисунок 3 – Главное рабочее окно ПО cEnergо 4.7

Из главного рабочего окна ПО можно перейти в различные дополнительные окна для настройки и администрирования функций и

режимов работы АИИСКУЭ и ее оборудования [20]. Окно ПО для добавления счетчика показано на рисунке 4.

Добавление счётчика

Основное

Тип*: CE102

Серийный номер*: e66369c8-1b01-4c24-aefd-39841499399d

Кэффициент ТТ*: 1

Кэффициент ТН*: 1

Адрес для опроса:

Системный адрес:

Дата установки: 08.12.2015

Дата поверки: 08.12.2015

Пароль:

С доступом на запись

Дополнительное

Объект учёта: Объект

Состояние: Включен, в работе

Концентратор: [нет данных]

Канал связи: [нет данных]

Группа 1: [нет данных]

Группа 2: [нет данных]

Группа 3: [нет данных]

Резервное поле:

Название фидера:

Уровень напряж.: 0

Фаза: [нет данных]

Акт установки:

Номер пломбы:

Сотрудник: [нет данных]

Геокоординаты Ш: 0 Д: 0 В: 0

Балансная группировка

Поместите сюда заголовок колонки для группировки по эт

Внести	Балансная группа	Реверс
--------	------------------	--------

Потребитель

Фамилия	
Имя	
Отчество	
Адрес	
Абонентский номер	
Номер УЭК	
Наименование	

Выбрать Отвязать Изменить **Добавить**

Обновлять данные в форме OK Отмена

Рисунок 4 – Окно добавления счетчика

В данном окне выполняется удаленное администрирование и настройка установленных счетчиков по индивидуальным и общим тарифам, также возможно удаленное отключение электропитания потребителей ввиду неоплаты да электроэнергии или по иным значимым причинам.

«Интерфейс ПО сEnero 4.7 обеспечивает наглядный мониторинг электропотребления. Пример отображения потребления различных потребителей с течением времени показан на рисунке 5.

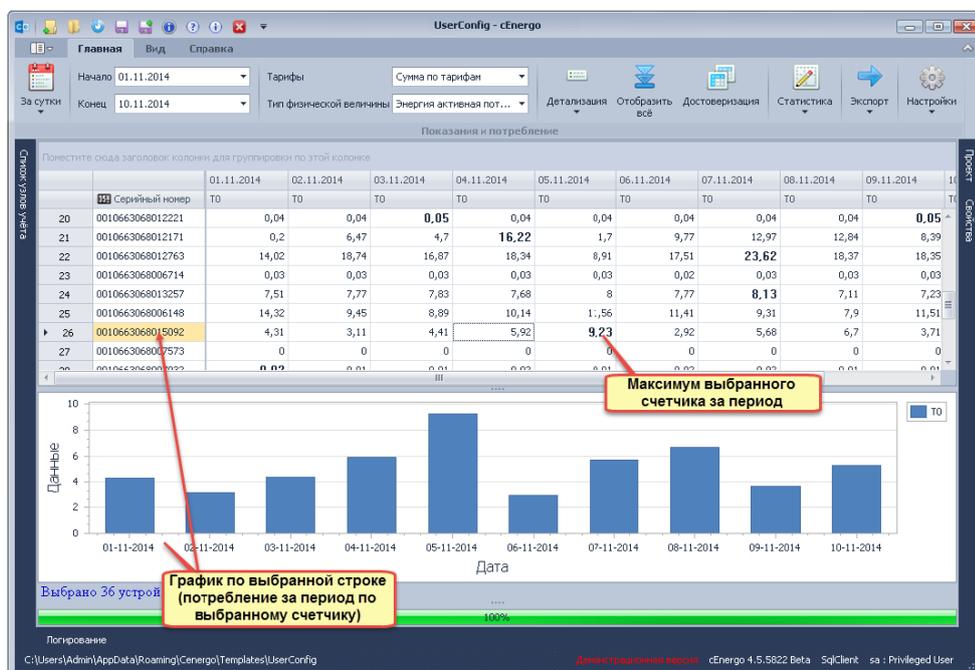


Рисунок 5 – Отображение электропотребления с течением времени

Анализ баланса отдачи ЭЭ и электропотребления позволяет эффективно повысить наблюдаемость параметров режима работы РЭС и выявлять хищения ЭЭ. По каждому факту небаланса отдачи ЭЭ и электропотребления и других ненормативных режимов работы РЭС отправляется сигнал с уведомлением диспетчеру» [19].

Вывод по разделу. АИИСКУЭ – это современные технологии, которые призваны не только автоматизировать учет электроэнергии, но снизить потери последней. В 2018 году на рассматриваемом участке РЭС было установлено оборудование и реализована АИИСКУЭ с современным оборудованием и программным обеспечением, обеспечивающими весь надлежащий функционал как для текущих требований к реализации современной АИИСКУЭ.

2 Абаканский район электрических сетей (РЭС) – филиал Хакасэнерго, ПС «Солнечная» по фидеру 84-09

Экономически выгодным шагом для энергетической компании любой страны является обязательная реализация автоматизированных систем учета электроэнергии на энергетических объектах [15]. Система АИISKУЭ предназначена для упрощения рыночных отношений между потребителями и энергетическими компаниями в присутствии государственного экономического регулирования таких отношений в областях энергосбережения, надежности поставок и повышения качества электроэнергии.

Абаканский РЭС является типичным объектом электросетевого комплекса. На многих участках используется устаревшее электрооборудование (ЭО) и технические решения, включая таковые для учета электроэнергии (ЭЭ). Это приводит к следующим негативным последствиям:

- дополнительным денежным затратам на компенсацию потерь электроэнергии;
- повышенным трудовым затратам ввиду возрастающей аварийности и требований по обслуживанию ЭО;
- увеличению количества случаев несанкционированного подключения к распределительным сетям с целью хищения электроэнергии. Несовершенство систем учета электроэнергии не позволяет оперативно выявлять случаи хищения и проводить соответствующие мероприятия;
- недостаточной оптимизации режимов работы распределительных сетей;
- недостаточному уровню мониторинга работы участков РЭС, что приводит к повышенному уровню аварийности.

Рассматриваемый в данной работе участок РЭС по фидеру 84-09 отличается наиболее выраженными проблемами, связанными с недостаточным учетом электрической энергии. Предприятие несет существенные издержки, в связи с чем на данном участке необходима комплексная реализация современной АИИСКУЭ с соответствующим программным обеспечением (ПО).

«Предприятие производит установку приборов учета за свой счет на фидере с большими потерями, поэтому актуальными задачами являются анализ внедрения системы АИИСКУЭ, анализ потерь электроэнергии и анализ коммерческих потерь» [11]. В целом это позволит оценить эффективность внедрения АИИСКУЭ и сделать выводы по перспективности ее применения на подобных аналогичных участках РЭС.

На фидере 84-09 находится [14]:

- подстанция 35/10 кВ №84 «Солнечная»;
- подстанция 84-09-13, 250 кВт;
- подстанция 84-09-01, 630 кВт «Котельная»;
- подстанция 84-09-11, 250 кВт «Амбулатория»;
- подстанция 84-09-10, 250 кВт «Клуб»;
- подстанция 84-09-14, 400 кВт;
- подстанция 84-09-09, 250 кВт «Рабочая»;
- подстанция 84-09-08, 160 кВт «Дзержинского»;
- подстанция 84-09-14а, 25 кВА «Связь».

Вывод по разделу. Годовые убытки электроэнергии рассчитываются миллиардами в денежном выражении, и отмечается годовое увеличение убытков. В такой ситуации введение технологий и оборудования АИИСКУЭ в энергетическом комплексе является действительно оправданной мерой. На рассматриваемом участке РЭС по фидеру 84-09 вопросы внедрения АИИСКУЭ являются особенно актуальными.

3 Анализ суммарных потерь электроэнергии и их оплаты

Данные по потерям ЭЭ для фидера 84-09 показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Потери электроэнергии

Год	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч	кВт×ч	кВт×ч	%
2016	1 634 695	1 013 226	621 469	36,51%
2017	1 608 865	1 084 641	524 224	32,58%
2018	1 593 621	1 310 547	283 074	17,76%
2019	1 313 757	1 190 369	123 388	9,39%
2020	1 234 424	1 159 602	74 822	6,06%
2021	1 346 328	1 216 953	129 375	9,61%
ИТОГО	8 731 690	6 975 338	1 756 352	–

Согласно данным, построим графики потерь электроэнергии за 6 лет на фидере 84-09. График отпуска в сеть представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Отпуск в сеть по фидеру 84-09, кВт×ч

График полезного отпуска показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – Полезный отпуск по фидеру 84-09, кВт×ч

График потерь электроэнергии показан на рисунке 8.

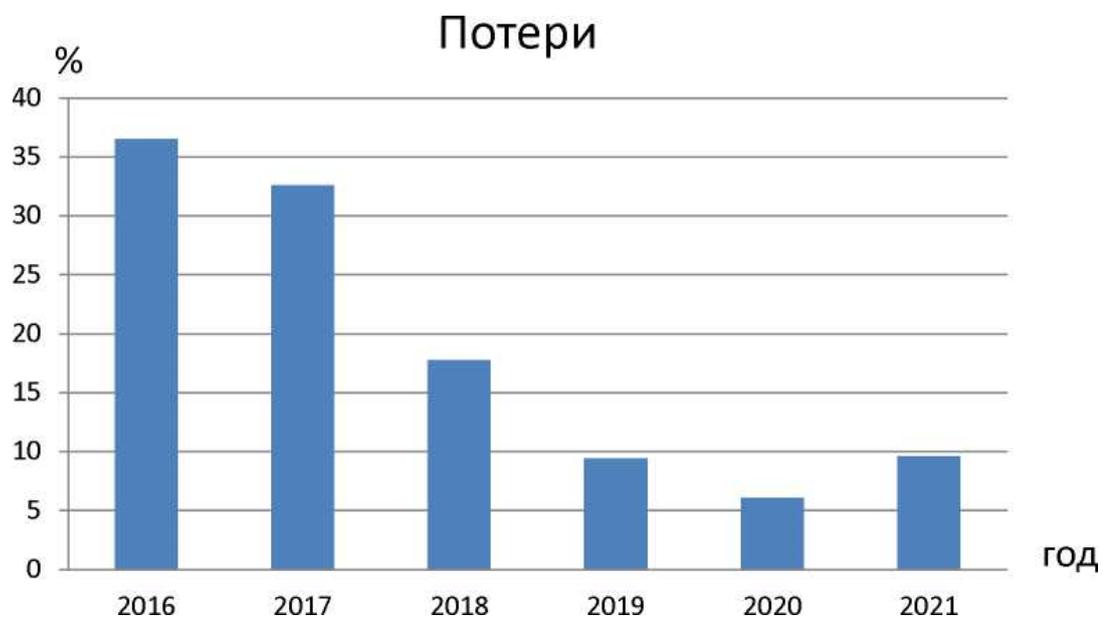


Рисунок 8 – Потери в фидере 84-09, %

«Несмотря на то, что ежегодно потери в сетях предприятия превышают запланированную величину, с 2018 года наблюдается тенденция по снижению величин потерь» [11]. Это связано с внедрением системы АИИСКУЭ, что говорит об эффективности работы предприятия. «Однако, существенная часть потребителей ЭЭ в жилых домах не передают показания электросчетчиков и отказываются осуществлять допуск к своим системам учета. А также систематически поступают жалобы от равнодушных граждан о предполагаемом несанкционированном потреблении электрической энергии» [11].

Вывод по разделу. Внедрение системы учета АИИСКУЭ с целью снижения потерь электроэнергии на фидере 84-09 позволило выявить факторы хищения электроэнергии. Внедрение данной системы позволило дистанционно отключать от сети недобросовестных потребителей, но и позволило дистанционно списывать показания счетчиков по домам.

3.1 Динамика потерь электроэнергии в фидере 84-09 за 6 лет

Данные по потерям электроэнергии для фидера 84-09 за 2016 год показаны в таблице 3.

Таблица 3 – Потери электроэнергии

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч		кВт×ч	%
Январь	229 821	96 219	133 602	58,1
Февраль	192 936	97 013	95 923	49,72
Март	172 962	106 846	66 116	38,23
Апрель	127 542	112 685	14 857	11,65
Май	104 515	89 267	15 248	14,59

Продолжение таблицы 3

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч	кВт×ч	кВт×ч	%
Июнь	62 352	72 444	-10 092	-16,19
Июль	66 887	49 112	17 775	26,57
Август	70 881	70 798	83	0,12
Сентябрь	82 663	58 745	23 918	28,93
Октябрь	154 738	68 192	86 546	55,93
Ноябрь	180 380	104 196	76 184	42,24
Декабрь	189 018	107 716	81 302	43,01
ИТОГО	1 634 695	1 013 226	621 469	36,51

Согласно данным, описанным выше, построим график динамики потерь на фидере 84-09 за 2016 год. График, показан на рисунке 9.

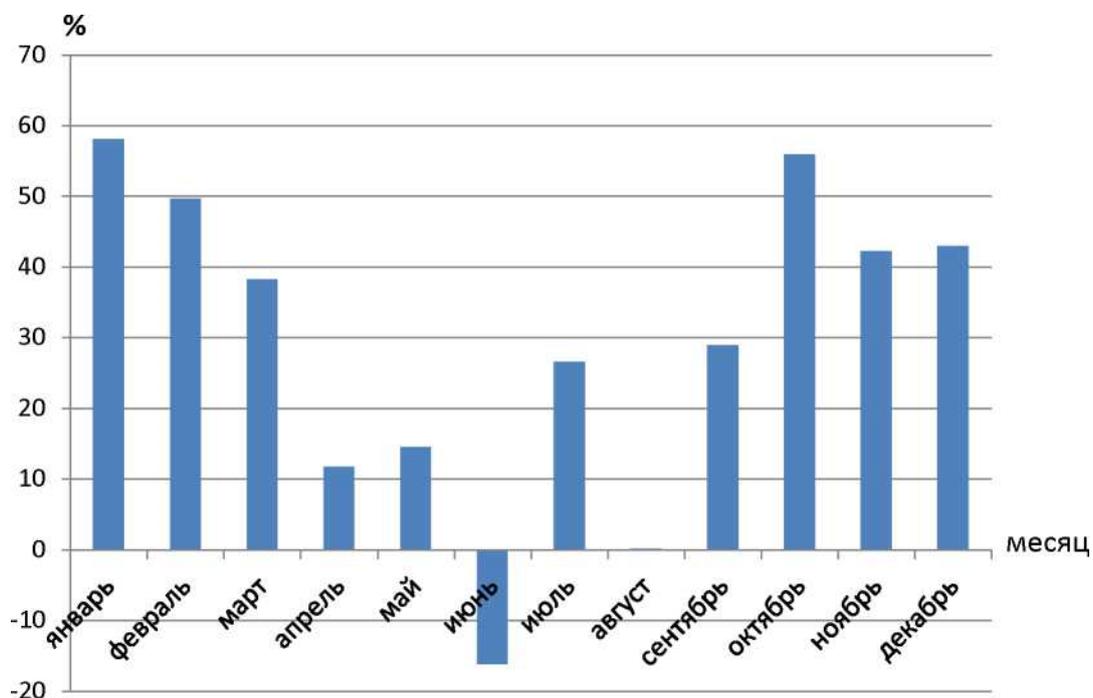


Рисунок 9 – Динамика потерь электроэнергии на фидере 84-09 за 2016 год

По таблице 3 и рисунку 9 для фидера 84-09 видно, что величина потерь в линиях преобладает в зимний период, что связано с характерным ростом нагрузки. В июне происходит спад потерь, в связи с ремонтом системы учета.

Данные по потерям для фидера 84-09 за 2017 год сведем в таблицу 4.

Таблица 4 – Потери ЭЭ за 2017 год

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч		кВт×ч	%
Январь	193 793	103 848	89 945	46,41
Февраль	171 112	133 117	37 995	22,2
Март	150 261	101 048	49 213	32,75
Апрель	125 827	95 730	30 097	23,92
Май	95 730	88 688	7 042	7,36
Июнь	70 330	86 450	-16 120	-22,92
Июль	82 270	56 109	26 116	31,18
Август	82 339	52 547	29 792	36,18
Сентябрь	110 913	56 315	54 598	49,23
Октябрь	151 864	82 583	69 281	45,62
Ноябрь	171 325	105 841	65 484	38,22
Декабрь	203 101	122 365	80 736	39,75
ИТОГО	1 608 865	1 084 641	524 224	32,58

Согласно данным, описанным выше, построим график динамики потерь на фидере 84-09 за 2017 год. Полученный график представлен на рисунке 10, %.

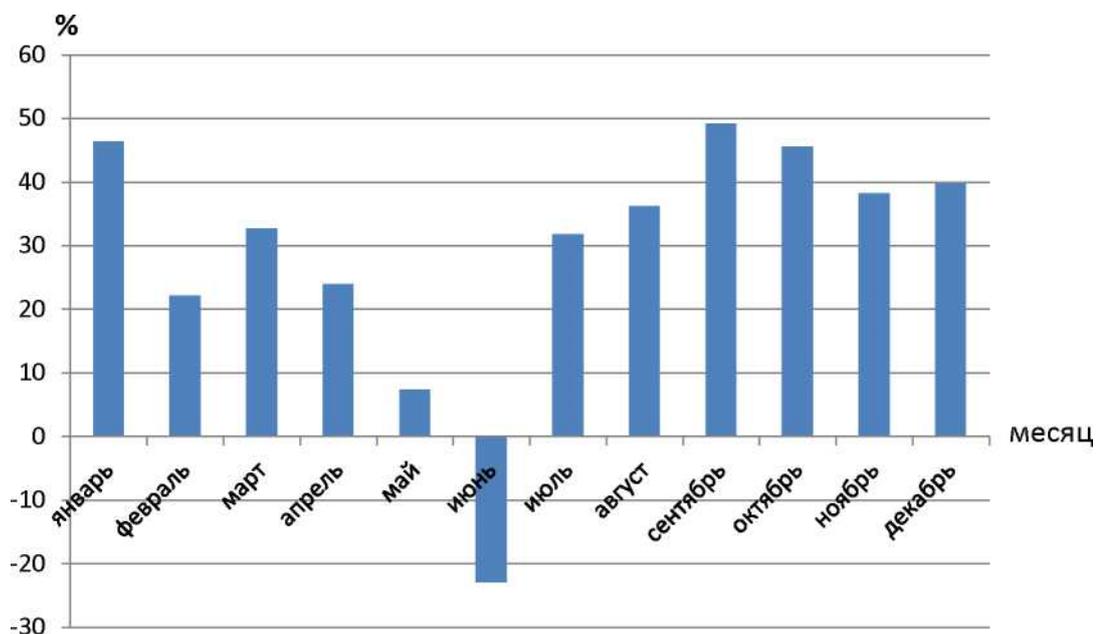


Рисунок 10 – Динамика потерь электроэнергии на фидере 84-09 за 2017 год

В 2017 году наблюдается аналогичная ситуация. Потери в линиях слишком высокие. В июне происходит резкий спад потерь, в связи с ремонтом системы учета.

Данные по потерям ЭЭ за 2018 год, введем в таблицу 5.

Таблица 5 – Потери по фидеру 84-09 за 2018 год

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч	кВт×ч	кВт×ч	%
Январь	222 319	119 286	103 033	46,34
Февраль	195 687	146 200	49 487	25,29
Март	191 795	196 369	-4 574	-2,38
Апрель	143 589	111 707	31 882	22,20
Май	121 299	92 417	28 882	23,81
Июнь	65 820	72 894	-7 074	-10,75
Июль	68 945	66 474	2 471	3,58

Продолжение таблицы 5

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч	кВт×ч	кВт×ч	%
Август	68 066	68 842	-776	-1,14
Сентябрь	93 324	50 439	42 885	45,95
Октябрь	116 831	109 695	7 136	6,11
Ноябрь	132 871	120 531	12 340	9,29
Декабрь	173 075	155 693	17 382	10,04
ИТОГО	1 593 621	1 310 547	283 074	17,76

Согласно данным, описанным выше, построим график динамики потерь электроэнергии по фидеру 84-09 за 2018 год. Полученный график, представлен на рисунке 11.

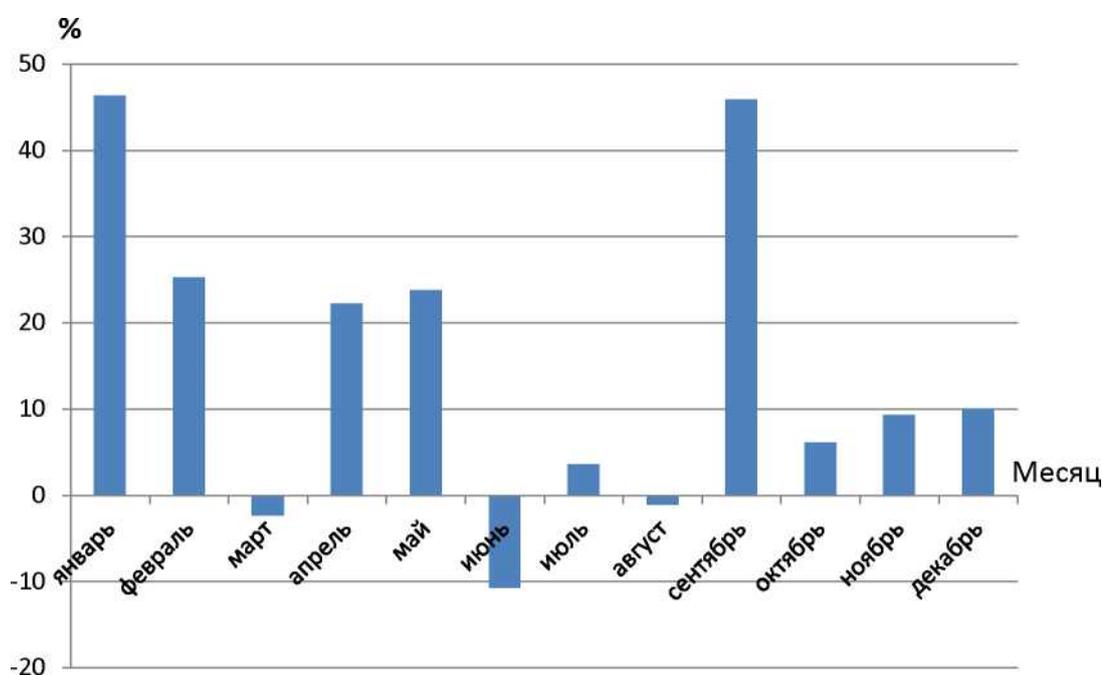


Рисунок 11 – Динамика потерь электроэнергии по фидеру 84-09 за 2018 год

По таблице 5 и рисунку 11 для фидера 84-09 видно, что величина потерь в линиях преобладает только в январе и сентябре. В остальных месяцах мы видим, что ситуация налаживается. Резкий спад потерь в марте, июне и августе связан с ремонтом системы учета.

Данные по потерям ЭЭ за 2019 год сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Потери ЭЭ за 2019 год

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч	кВт×ч	кВт×ч	%
Январь	172 102	149 818	22 284	12,95
Февраль	148 929	125 719	23 210	15,58
Март	127 109	118 640	8 469	6,66
Апрель	119 299	110 611	8 688	7,28
Май	96 892	83 899	12 993	13,41
Июнь	62 858	58 797	4 061	6,46
Июль	60 524	52 334	8 190	13,53
Август	66 333	52 617	13 716	20,68
Сентябрь	79 090	88 481	-9 391	-11,87
Октябрь	112 381	98 501	13 880	12,35
Ноябрь	127 750	140 527	-12 777	-10,00
Декабрь	140 490	110 425	30 065	21,40
ИТОГО	1 313 757	1 190 369	123 388	9,39

Согласно данным, описанным выше, построим график динамики потерь электроэнергии на фидере 84-09 за 2019 год. Полученный график, представлен на рисунке 12, %.

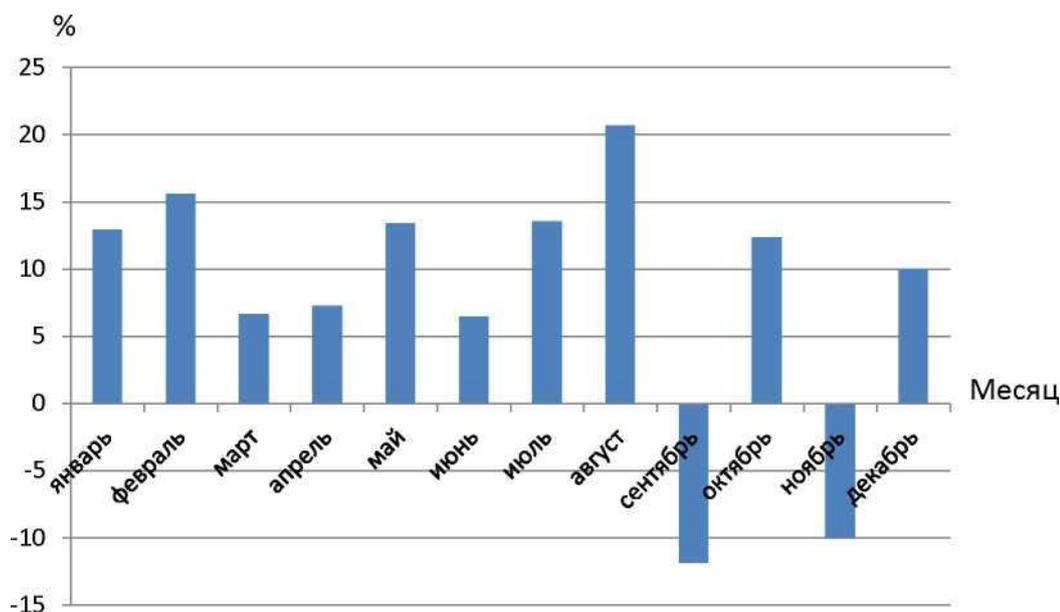


Рисунок 12 – График потерь по фидеру 84-09 за 2019 год

По таблице 6 и рисунку 12 для фидера 84-09 наблюдается снижение потерь, это связано с внедрением АИИСКУЭ. «Это способствовало повышению качества учета электроэнергии, и уменьшению ее потерь при транспортировке по сетям. В свою очередь, это привело как к снижению расходов поставщиков электроэнергии, так и потенциальному снижению тарифа для потребителей» [11]. Спад потерь в сентябре и ноябре связан с ремонтом системы учета.

Данные по потерям ЭЭ за 2020 год сведем в таблицу 7.

Таблица 7 – Потери ЭЭ за 2020 год

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч		кВт×ч	%
Январь	148 677	132 556	16 121	10,84
Февраль	133 023	131 540	1 481	1,11
Март	125 028	119 508	5 520	4,42

Продолжение таблицы 7

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч	кВт×ч	кВт×ч	%
Апрель	94 019	94 996	-977	-1.04
Май	76 971	77 952	-981	-1,27
Июнь	71 027	69 628	1 399	1,97
Июль	63 106	52 650	10 456	16,57
Август	67 654	58 978	8 676	12,82
Сентябрь	84 522	74 350	10 172	12,03
Октябрь	114 197	105 077	9 120	7,99
Ноябрь	115 540	111 449	4 091	3,54
Декабрь	140 660	130 918	9 742	6,93
ИТОГО	1 234 424	1 159 602	74 822	6,06

Построим график динамики потерь ЭЭ за 2020 год. Полученный график, представлен на рисунке 13.

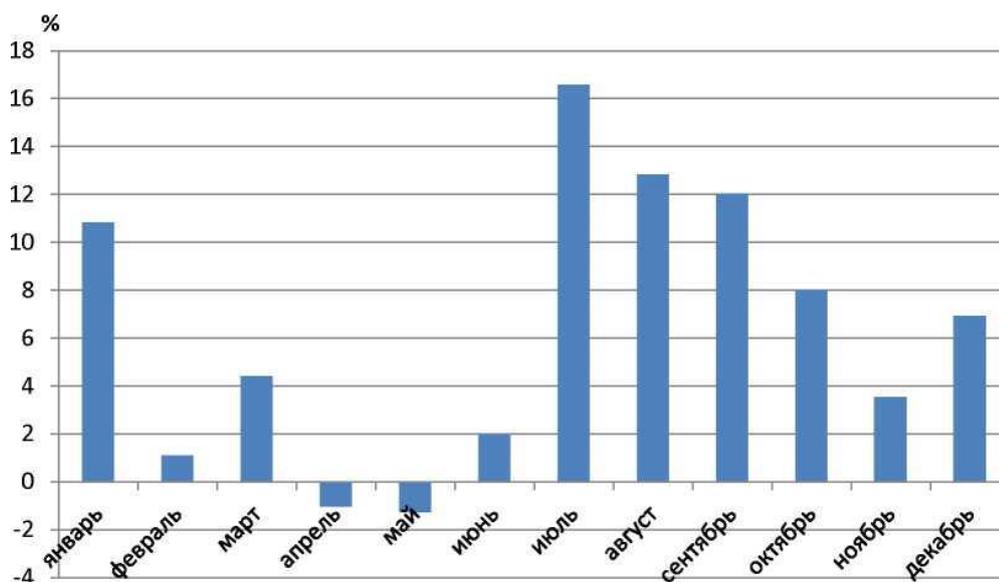


Рисунок 13 – График потерь на фидере 84-09 за 2020 год

«По таблице 7 и рисунку 13 для фидера 84-09 наблюдается существенное уменьшение потерь до 10,84 % по сравнению с аналогичным периодом остальных лет, это связано с внедрением системы учета АИISKУЭ. Это способствовало повышению качества учета электроэнергии, и уменьшению ее потерь при транспортировке по сетям. В свою очередь, это привело как к снижению расходов поставщиков электроэнергии, так и потенциальному снижению тарифа для потребителей» [11]. Спад потерь в апреле и мае связан с погрешностями при учете, а точнее с неисправностью приборов учета.

Данные по потерям электроэнергии по фидеру 84-09 за 2021 год, сведем в таблицу 8.

Таблица 8 – Потери ЭЭ за 2021 год

Месяц	Отпуск в сеть	Полезный отпуск	Потери	
	кВт×ч	кВт×ч	кВт×ч	%
Январь	157 510	143 616	13 894	8,82
Февраль	131 771	127 835	3 936	2,99
Март	135 219	120 056	15 163	11,21
Апрель	119 122	115 287	3 835	3,22
Май	95 999	81 200	14 799	15,42
Июнь	75 848	68 916	6 932	9,14
Июль	69 819	55 263	14 556	20,08
Август	58 083	57 613	470	0,81
Сентябрь	96 104	79 324	16 780	17,46
Октябрь	126 772	102 374	24 398	19,25
Ноябрь	135 380	117 405	17 975	13,28
Декабрь	144 701	148 064	-3 363	-2,32
ИТОГО	1 346 328	1 216 953	129 375	9,61

Построим график динамики потерь после внедрения АИИСКУЭ на фидере 84-09 за 2021 год. Полученный график, представлен на рисунке 14.

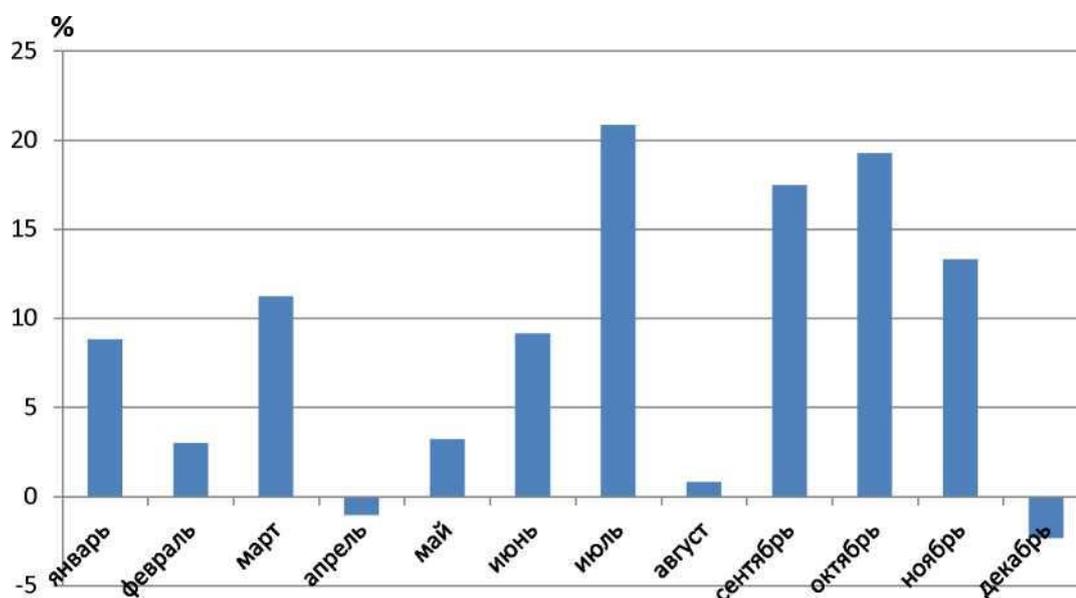


Рисунок 14 – График потерь электроэнергии по фидеру 84-09 за 2021 год, %

Наблюдается в целом стабильное положение величины потерь, с незначительными изменениями в течение анализируемого периода. Спад потерь в апреле и декабре связан с погрешностями при учете, а точнее с неисправностью приборов учета. «По результатам анализа до внедрения системы учета АИИСКУЭ большую долю составляли потери из-за недостатка энергосбытовой деятельности и хищений. Потери электроэнергии возрастают в холодные периоды, что говорит нам, что основная часть электроэнергии в зимний период расходуется на отопление» [11].

3.2 Динамика оплаты электроэнергии по фидеру 84-09

Своевременная оплата ЭЭ и ее динамика является также важнейшим показателем функционирования предприятий. Данные по оплатам электроэнергии по фидеру 84-09 за 2016-2021 год в таблице 9.

Таблица 9 – Оплата электроэнергии по фидеру 84-09 за 2016-2022 год, руб/МВт×ч

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Итого
2016	1747,51	1942,77	1725,31	1811,93	1812,04	1596,65	1628,84	1603,62	1734,11	1810,9	1782,36	1753,29	0949,33
2017	1909,64	2062,03	1740,62	1868,24	1622,16	1713,9	1894,88	2138,16	2230,03	2062,3	2148,56	1998,24	3388,76
2018	1984,27	2185,16	2029,5	2220,29	1917,3	1941,68	1949,73	1883,77	2294,88	2161,97	2274,29	2083,22	4926,06
2019	2090,74	2136,46	2141,57	2222,2	2061,6	2068,76	1756,25	1439,32	1584,86	1776,46	1940,8	1990,75	3209,77
2020	2025,97	2139,54	2002,48	1894,62	1884,39	1998,99	1995,74	2057,5	2113,64	2017,11	2040,75	1965,38	4136,11
2021	2068,5	2282,03	2159,07	2232,96	2076,41	2054,92	2080,02	2015,89	2282,01	2325,97	2347,65	2224,27	6149,7
2022	2 288,91	2 685,45	2 525,78	2232,96	2076,41	2054,92	2080,02	2015,89	2282,01	2325,97	2347,65	2224,27	6149,7

Посмотрим динамику оплат электроэнергии по фидеру 84-09 по каждому году.

Результаты оплат потерь электроэнергии за 2016 год представлены в виде графика на рисунке 15.

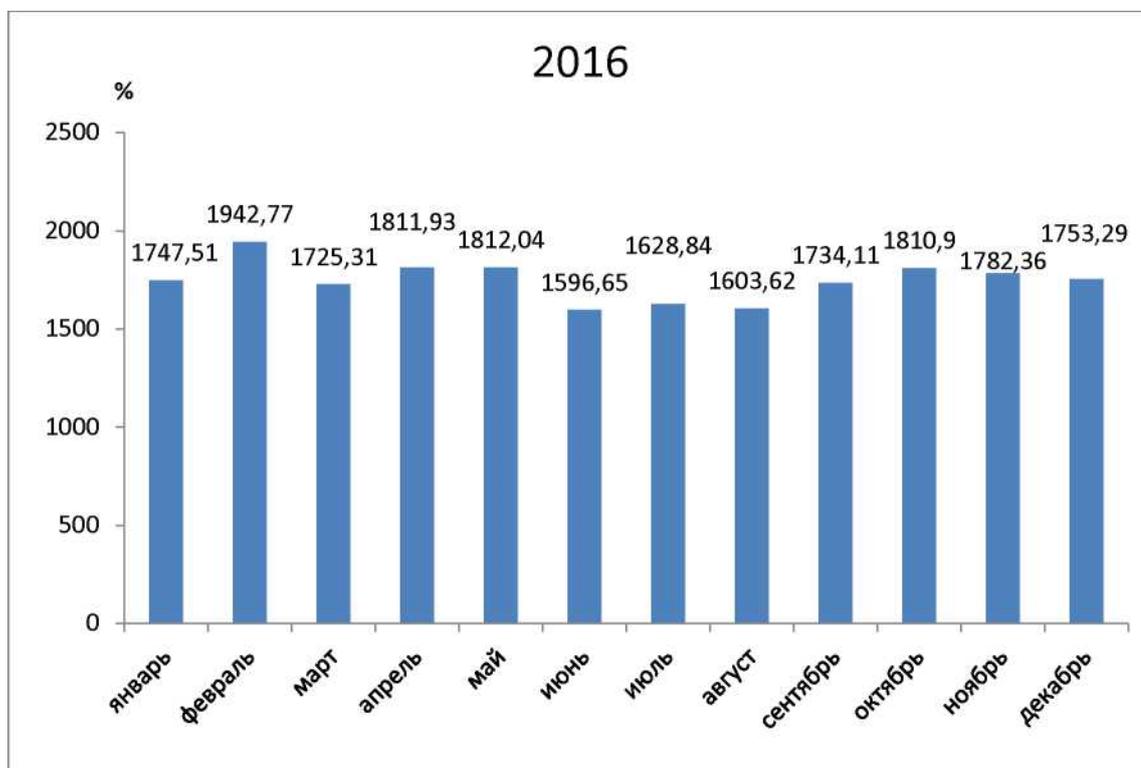


Рисунок 15– График оплаты электроэнергии за 2016 год по фидеру 84–09

По рисунку 11 для фидера 84-09 наблюдается в целом стабильное положение величины оплаты электроэнергии, с незначительными изменениями в течение анализируемого периода. В тоже время в поздне-осенний и зимний период, несмотря на существенное увеличение электропотребления, уровень оплаты электроэнергии понижен, что говорит о несанкционированных подключениях, вероятно, электроотопительных приборов.

Результаты оплат электроэнергии за 2017 год представлены в виде графика на рисунке 16.

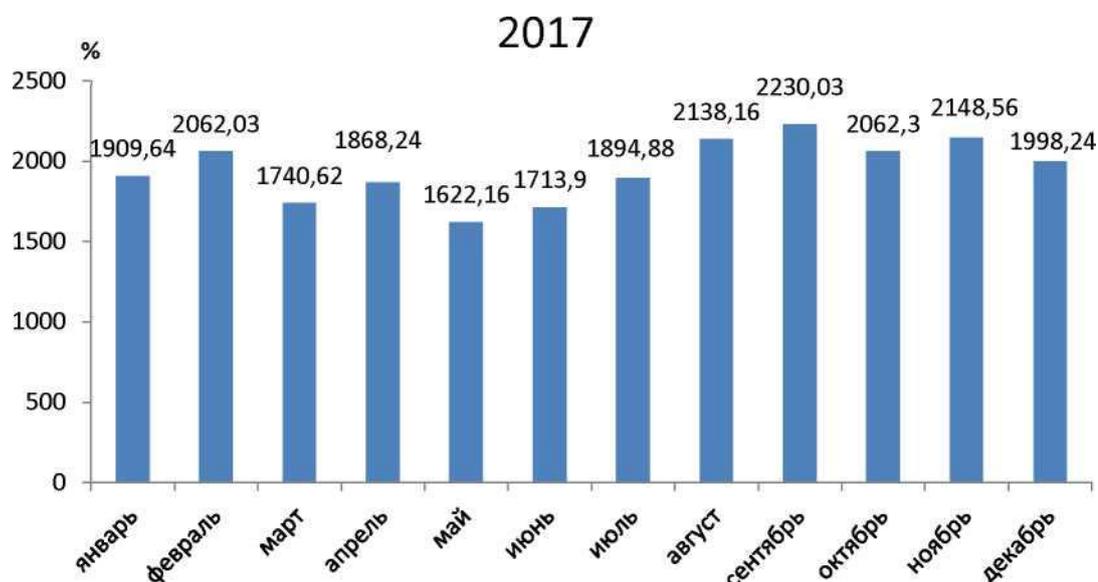


Рисунок 16 – График оплаты электроэнергии за 2017 год по фидеру 84-09

По рисунку 16 для фидера 84-09 наблюдается в целом стабильное положение величины оплаты электроэнергии, с незначительными изменениями в течение анализируемого периода.

Результаты оплат потерь электроэнергии за 2018 год представлены в виде графика на рисунке 17.

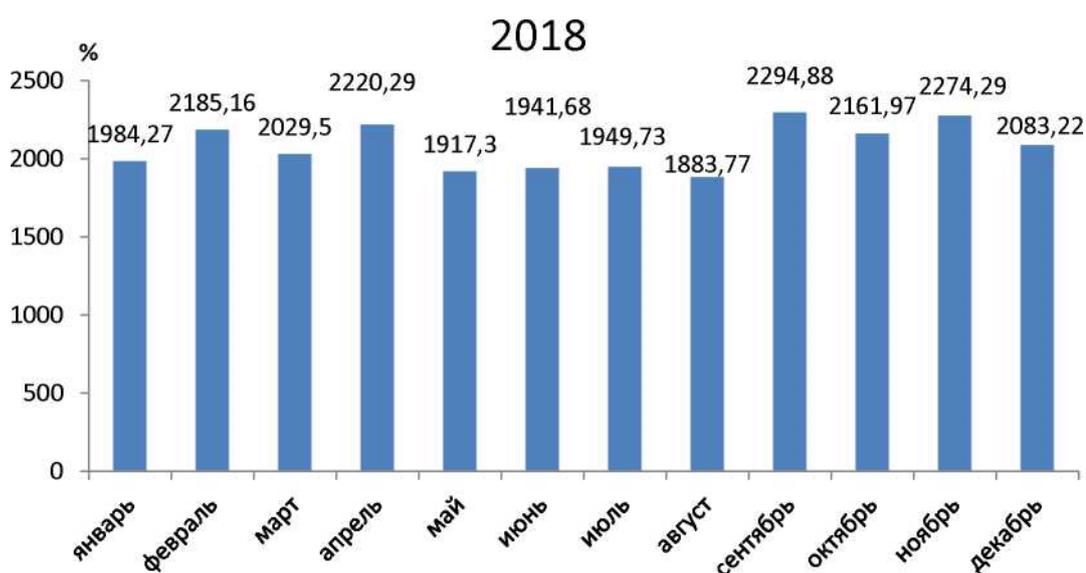


Рисунок 17 – График оплаты электроэнергии за 2018 г по фидеру 84-09

По рисунку 17 для фидера 84-09 наблюдается в целом стабильное положение величины оплаты электроэнергии, с незначительными изменениями в течение анализируемого периода.

Результаты оплат электроэнергии за 2019 год представлены в виде графика на рисунке 18.

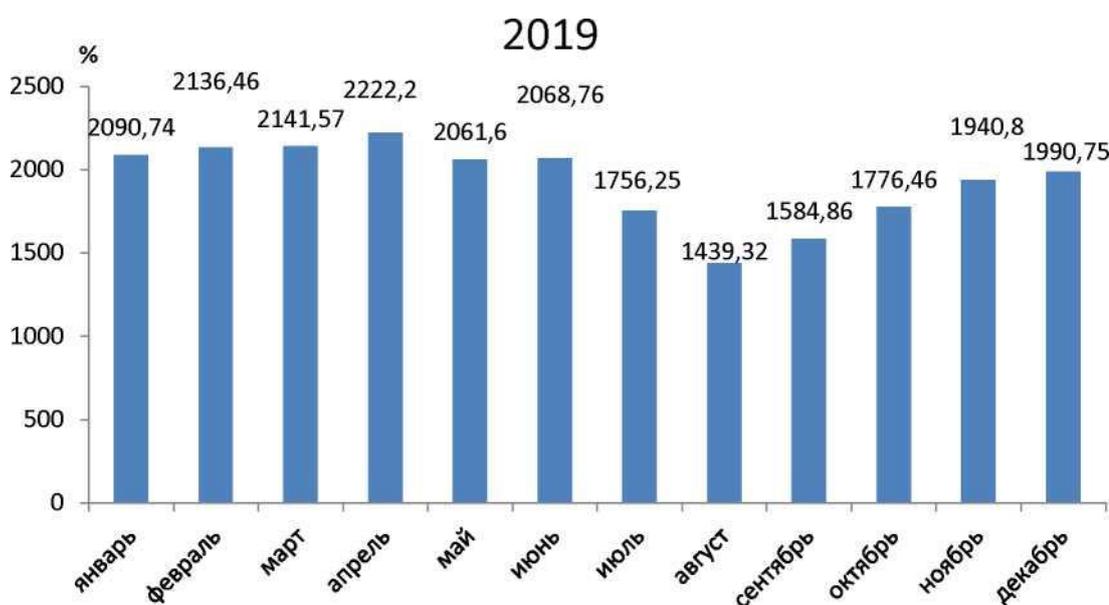


Рисунок 18 – График оплаты электроэнергии за 2019 год по фидеру 84–09

По рисунку 18 для фидера 84-09 наблюдается в целом стабильное положение величины оплаты электроэнергии, с незначительными изменениями в течение анализируемого периода.

Система АИISKУЭ предназначена для упрощения рыночных отношений между потребителями и энергетическими компаниями в присутствии государственного экономического регулирования таких отношений в областях энергосбережения, надежности поставок и повышения качества электроэнергии.

Результаты оплат потерь электроэнергии за 2020 год представлены в виде графика на рисунке 19.

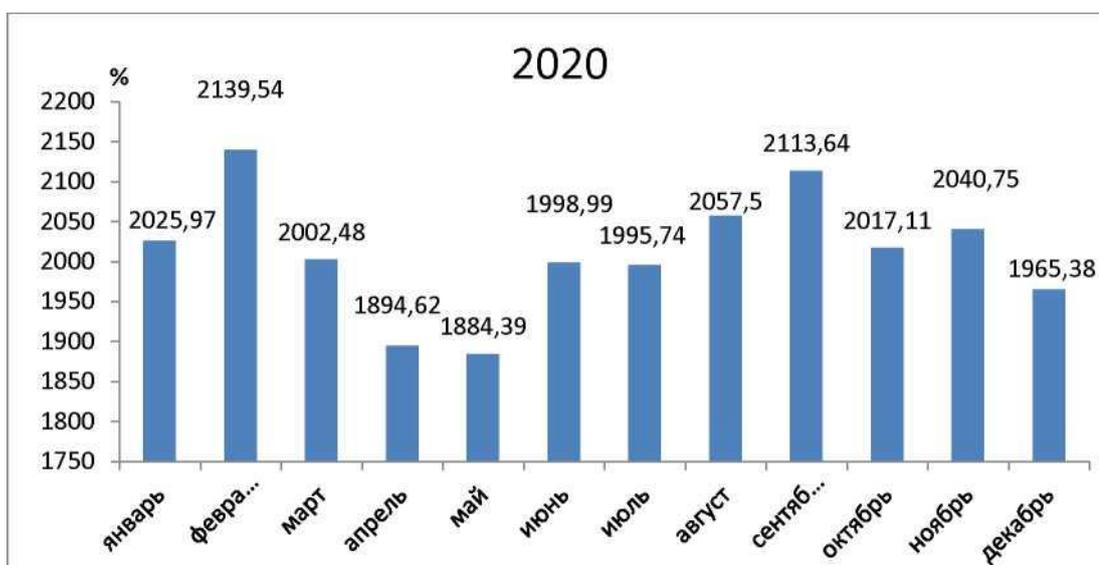


Рисунок 19 – График оплаты электроэнергии за 2020 год по фидеру 84-09

По рисунку 19 для фидера 84-09 наблюдается в целом стабильное положение величины оплаты электроэнергии, с незначительными изменениями в течение анализируемого периода.

Результаты оплат электроэнергии за 2021 год представлены в виде графика на рисунке 20.

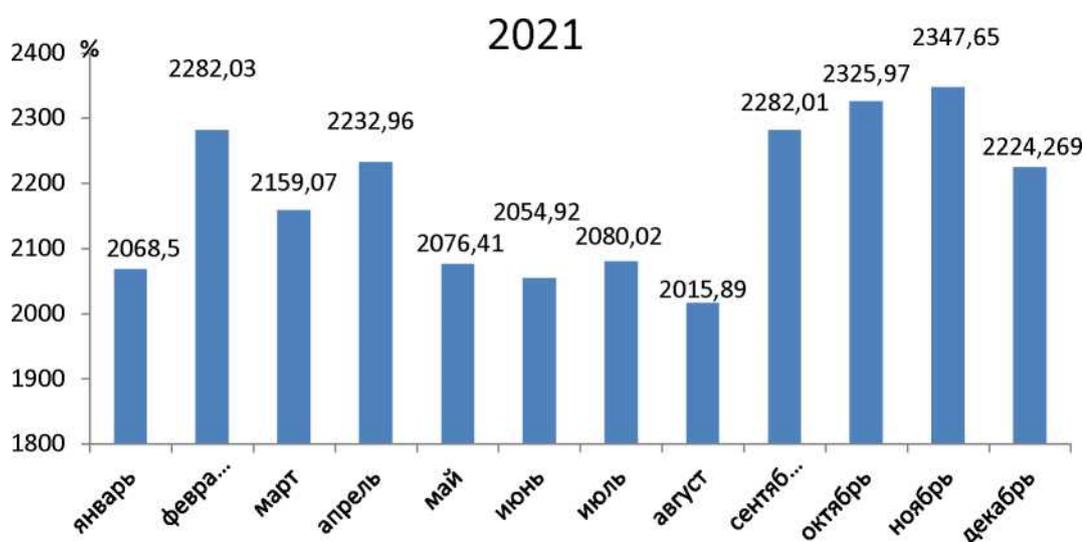


Рисунок 20 – График оплаты электроэнергии за 2021 год по фидеру 84-09

По рисунку 20 для фидера 84-09 наблюдается в целом стабильное положение величины оплат электроэнергии, с незначительными изменениями в течение анализируемого периода.

Сведем все данные за 6 лет по оплатам в один график, что бы проанализировать динамику по оплатам до и после внедрения системы АИСКУЭ на фидере 84-09.

Результаты оплат электроэнергии за 6 лет представлен в виде графика на рисунке 21.

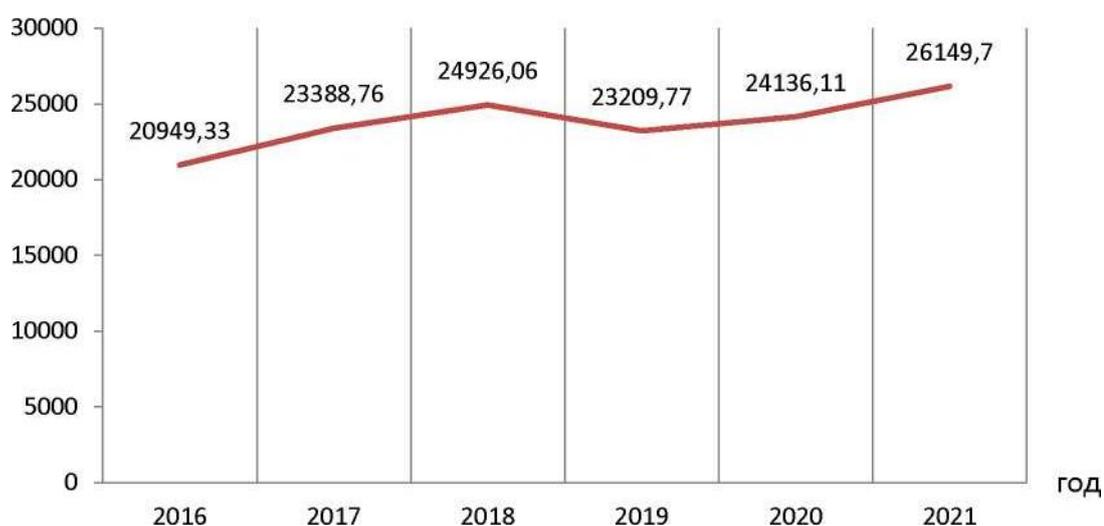


Рисунок 21 - Оплаты электроэнергии за 6 лет

Анализ показал, что оплата электроэнергии изменяется в достаточно в узких пределах и имеет медленный рост. На период 2016-2017 года оплата выросла на 2439,43 руб, но на период 2018-2019 года снизилась на 1716,29 руб, и на период 2020-2021 года опять выросла на 2013,59 руб, это связано с хищения электроэнергии. Большинство потребителей жилых домов не передают показания электросчетчиков и не вовремя, а иной раз и не производят оплату за электроэнергию.

Рассмотрим тарифы за электроэнергию.

Занесем данные по среднегодовому тарифу в таблицу 10.

Таблица 10 – Тарифы за электроэнергию

год	Сумма оплаты по году, руб	Полезный отпуск, кВт×ч	Среднегодовой тариф,
2016	19 342,15	1 013 226	1,91
2017	21 557,04	1 084 641	1,98
2018	23 016,44	1 310 547	1,75
2019	21 384,92	1 190 369	1,79
2020	22 334,51	1 159 602	1,92
2021	24 110,79	1 216 953	1,98

Сравним результаты среднегодового тарифа и тарифа для населения за 6 лет в виде графика на рисунке 22.

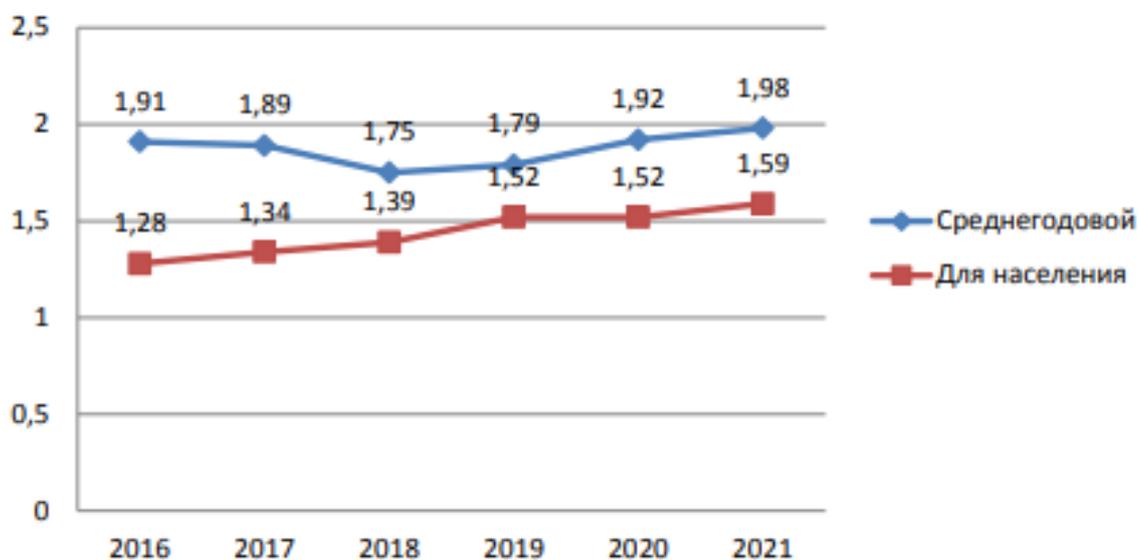


Рисунок 22 – Графики среднегодового тарифа и тарифа для населения

Анализ показал, что от фидера питаются не только население, так же и другие потребители, из-за этого тариф нестабилен.

Тарифы растут, снижение в 2017-2018 году связан с нестабильной оплатой и хищением электроэнергии населением. В 2018 году поставили системы АИИСКУЭ, из-за этого система учета не производилась.

Согласно данным ПАО «Россети» Сибирь, рассмотрим тарифы для населения в Республике Хакасия, таблица 11 [11].

Таблица 11 – Тарифы на электроэнергию для населения в Республике Хакасия за 2016-2021 год

Тариф, руб./ кВт×ч	2016 год	2017 год	2018 год	2019 год	2020 год	2021 год
Одноставочный тариф	1,28	1,34	1,39	1,52	1,52	1,59

Отмечается неуклонный рост тарифов, что повышает актуальность внедрения АИИСКУЭ с целью минимизации денежных потерь.

Вывод по разделу.

Рассматриваемый в данной работе участок РЭС по фидеру 84-09 отличается наиболее выраженными проблемами, связанными с недостаточным учетом электрической энергии. Предприятие несет существенные издержки, в связи с чем на данном участке необходима комплексная реализация современной АИИСКУЭ с соответствующим программным обеспечением. Внедрение АИИСКУЭ позволит минимизировать потери электроэнергии в распределительных сетях и стабилизировать уровень оплаты электроэнергии. Дополнительным аргументом к реализации АИИСКУЭ на рассматриваемом участке РЭС является явный рост уровня несанкционированных подключений с целью хищения электроэнергии, что особенно выражено в холодные периоды года и что, с одновременным существенным увеличением электропотребления, значительно увеличивает денежные потери предприятия.

4 Анализ технических и коммерческих потерь электроэнергии

4.1 Анализ технических потерь

Для проведения расчетов определим активные и реактивные сопротивления, поперечные емкостные проводимости и зарядные мощности всех участков линий, входящих в рассматриваемую сеть.

Активные R и реактивные X сопротивления линий вычисляем по формулам:

$$R_{k-j} = \frac{r_0 l_{k-j}}{n}, \text{ Ом} \quad (1)$$

$$X_{k-j} = \frac{x_0 l_{k-j}}{n}, \text{ Ом} \quad (2)$$

где l_{k-j} – длина линии, км;

r_0 – удельное активное сопротивление Ом/км;

n – количество линий, шт;

Для расчета удельного активного сопротивления (r_0), воспользуемся справочником.

Данные из справочника занесем в таблицу 12.

Таблица 12 – Характеристика кабелей ВЛ

Провод	$F_{л}$, мм	r_0 , Ом/км
АС-70	1x70	0,428
АС-50	1x50	0,592
АС-35	1x35	0,777
СИП 3	1x70	0.493
СИП 1	3x95	0,0753

Потокораспределение по фидеру 84-09 указано на рисунке 23.

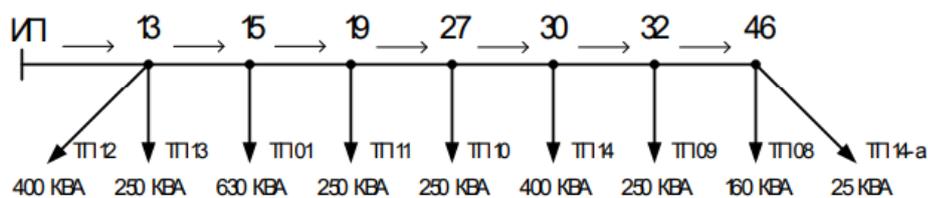


Рисунок 23 – Потокораспределение сети фидера 84-09

Найдем потери в линии:

$$\Delta P_{л} = \frac{s^2}{u^2} R_{л} \quad (3)$$

где $\Delta P_{л}$ – потери мощности в линии, кВт.

Расчеты занесем в таблицу 13.

Таблица 13 – Потери в линиях

Линия	$S_{л}$, кВА	к, м	R, Ом	$\Delta P_{л}$, кВт
ИП-13	1435	0,48	0,246	4,9
13-15	896	0,113	0,056	0,44
15-19	616	0,226	0,153	0,50
19-27	350	0,261	0,133	0,18
27-30	455	0,16	0,094	0,19
30-32	455	0,11	0,065	0,13
32-46	304,5	0,48	0,284	0,26
ИТОГО				6,6

Характеристика трансформаторов сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Характеристика трансформаторов

Трансформатор	$S_{тр}$, кВА	$R_{г}$, Ом	ΔP_{xx} , кВт
ТМ 400/10	400	5,9	0,6
ТМ 250/10	250	10,7	0,65
ТМ 160/10	160	19,3	0,21
ТМ 630/10	630	3,4	0,9
ТМ 25/10	25	45,2	0,1

Потери в трансформаторах сведены в таблице 15.

Таблица 15 – Потери в трансформаторах

ТП	$S_{тр}$, кВА	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{лр}$, кВт
84-09-12	400	0,6	4,14
84-09-13	250	0,65	1,33
84-09-01	630	0,9	7,54
84-09-11	250	0,65	1,23
84-09-10	250	0,65	1,23
84-09-14	400	0,6	4,14
84-09-09	250	0,65	1,23
84-09-08	160	0,21	1,01
84-09-14а	25	0,06	0,02
ИТОГО		4,25	21,45

Отмечается значительный уровень технических потерь электроэнергии (как в линиях, так и силовых трансформаторах). Это обусловлено плохой оптимизацией режимов работы распределительных электрических сетей и может быть устранено внедрением АИИСКУЭ, что позволит оптимизировать потоки распределения электроэнергии по времени суток согласно режимам электропотребления и иным принципам.

4.2 Анализ коммерческих потерь

Коммерческие потери электроэнергии по фидеру 84-09 сведены в таблицу 16.

Таблица 16 – Коммерческие потери за 6 лет по фидеру 84-09

Год	$\Delta I_{\text{всего}}$, кВт×ч	$\Delta I_{\text{Техн}}$, кВт×ч	ΔK , кВт×ч	доля в %
2016	621 469	81 614	539 855	86,9
2017	524 224	81 614	442 610	84,4
2018	283 074	81 614	201 460	71,2
2019	123 388	81 614	41 774	33,9
2020	74 822	81 614	-6 792	-9,1
2021	129 375	81 614	47761	36,9

Коммерческие потери электроэнергии в период с 2016 года по 2018 год составляли основную долю потерь, что обусловлено отсутствием АИИСКУЭ на тот момент и плохой организацией учета ЭЭ в целом. С 2019 года началось внедрение АИИСКУЭ, что позволило кардинально снизить коммерческие потери ЭЭ, выявить факты несанкционированных подключений и частично компенсировать предыдущие издержки ввиду реализации соответствующих судебных решений.

Результаты коммерческих потерь представлены в виде графика на рисунке 24.

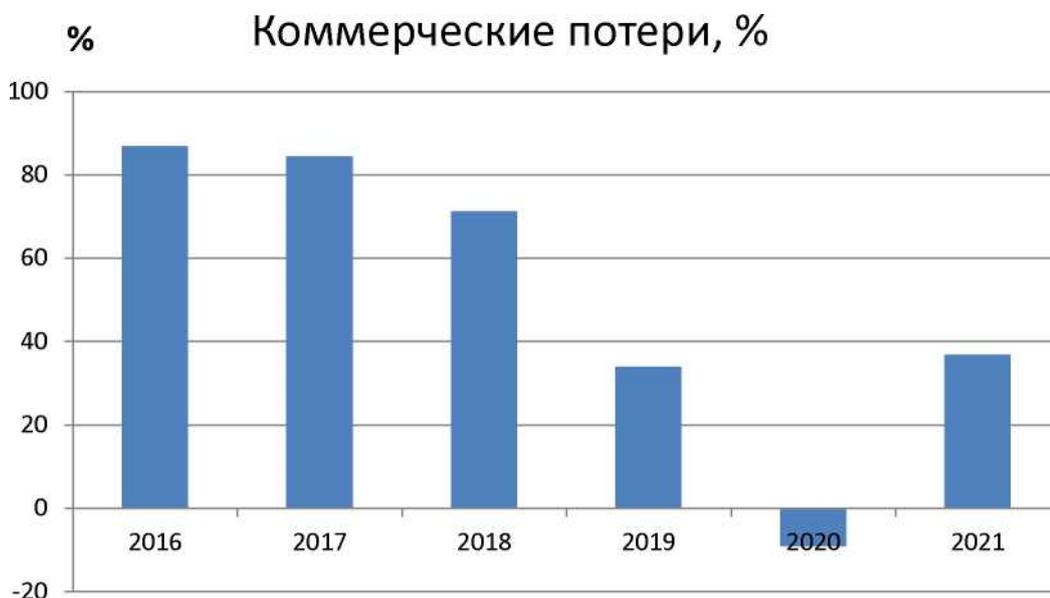


Рисунок 24 – Коммерческие потери по фидеру 84-09 за 6 лет

Внедрение АИИСКУЭ обеспечивает существенное снижение потерь электроэнергии и может быть рекомендовано на других участках распределительной сети.

Вывод по разделу.

На участках, где АИИСКУЭ еще не реализована, отмечается значительный уровень технических и коммерческих потерь электроэнергии. Это обусловлено плохой оптимизацией режимов работы распределительных электрических сетей и может быть устранено внедрением АИИСКУЭ, что позволит оптимизировать потоки распределения электроэнергии по времени суток согласно режимам электропотребления и иным принципам. Реализация АИИСКУЭ на проблемных участках также позволит исключить возможность длительных несанкционированных подключений к электрической сети.

Заключение

Рассматриваемый в данной работе участок РЭС по фидеру 84-09 отличается наиболее выраженными проблемами, связанными с недостаточным учетом электрической энергии. Предприятие несет существенные издержки, в связи с чем на данном участке необходима комплексная реализация современной АИИСКУЭ с соответствующим программным обеспечением. Внедрение АИИСКУЭ позволит минимизировать потери электроэнергии в распределительных сетях и стабилизировать уровень оплаты электроэнергии. Дополнительным аргументом к реализации АИИСКУЭ на рассматриваемом участке РЭС является явный рост уровня несанкционированных подключений с целью хищения электроэнергии, что особенно выражено в холодные периоды года и что, с одновременным существенным увеличением электропотребления, значительно увеличивает денежные потери предприятия. Коммерческие потери электроэнергии в период с 2016 года по 2018 год составляли основную долю потерь, что обусловлено отсутствием АИИСКУЭ на тот момент и плохой организацией учета ЭЭ в целом. С 2019 года началось внедрение АИИСКУЭ, что позволило кардинально снизить коммерческие потери ЭЭ, выявить факты несанкционированных подключений и частично компенсировать предыдущие издержки ввиду реализации соответствующих судебных решений.

В целом, проведенный анализ эффективности внедрения АИИСКУЭ в распределительных электрических сетях показал ее выраженную эффективность как с точки зрения минимизации денежных потерь предприятия, так и для оптимизации режимов работы РЭС, мониторинга состояния оборудования и линий электропередачи. Системное внедрение АИИСКУЭ для замены существующих устаревших технических решений по учету электроэнергии может быть рекомендовано по всей энергосистеме в целом.

Список используемой литературы

1. Данилин А.В., Захаров В.А. Принципы построения работы АИИСКУЭ. М.: ЭСКО, 2019. 189 с.
2. Гуртовцев А.Л. О происхождении и значении термина АИИСКУЭ // Промышленная энергетика, 2018. №8. С. 80–87.
3. Гуртовцев А.Н. Современные принципы автоматизации энергоучета в энергосистемах // Новости электротехники, 2019. №18. С. 60–66.
4. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М. : Энергия, 2020. 208 с.
5. Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие. М. : МЭИ, 2018. 412 с.
6. Кудрин Б. И. Электроснабжение. М. : Academia, 2019. 352 с.
7. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. М. : Додэка XXI, 2018. 336 с.
8. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения. М. : Государственное энергетическое издательство, 2018. 176 с.
9. Можаяева С.В. Экономика энергетического производства: Учебное пособие. СПб. : Лань, 2018. 208 с.
10. Носов Е.Ю. Модульный принцип построения АИИСКУЭ // Энергетик, 2019. №12. С. 40–42.
11. ПАО «Россети» Сибирь. Сайт. [Электронный ресурс]. – <https://www.rosseti-sib.ru/> (дата обращения: 04.11.2022).
12. ПУЭ, издание 7. М.: Энергия, 2022. 648 с.
13. Твердохлебов К. И. Рекомендации по выбору проектных решений при разработке подстанций 10...500 кВ: Учебное пособие. Хабаровск, 2020. 205 с.
14. Техническая документация: ПС 35/10 кВ «Солнечная», 2022. 105 с.
15. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. М. : Лань, 2018. 480 с.

16. Хорольский В.Я. Надежность электроснабжения. М. : Лань, 2019. 128 с.
17. Школа электрика. Сайт. [Электронный ресурс]. – <http://electricalschool.info/> (дата обращения: 04.11.2022).
18. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. – <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 06.11.2022).
19. Электро-клуб. Сайт. [Электронный ресурс]. – <https://elektro-optom.ru/> (дата обращения: 08.11.2022).
20. Энергосистемы. Сайт. [Электронный ресурс]. – <https://energy-systems.ru/> (дата обращения: 10.11.2022).