

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 Разработка автоматизированной системы учета электропотребления на промышленном предприятии

Обучающийся

С.И. Подколзин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Ю.В. Черненко

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

Консультант

к.п.н., доцент Т.С. Якушева

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

Тольятти 2022

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе выполнена разработка автоматизированной системы учета потребления электроэнергии на промышленном предприятии на примере предприятия АО «Авиационная электроника и коммуникационные системы».

Разработана структура АСКУЭ, техническое и метрологическое обеспечение, выполнен анализ надежности системы. АСКУЭ построена на основе интерфейсов RS485 и RS232 исходя из требований помехозащищенности сети передачи данных и независимости сети от внешних обслуживающих организаций.

Данная система позволит повысить оперативность и качество получаемой информации об энергопотреблении и на ее основании производить оперативный контроль и рациональное использование электроэнергии.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 50 страниц, в том числе 9 таблиц и 6 рисунков, а также 6 чертежей формата А1.

Abstract

In this final qualifying work, the development of an automated system for accounting for electricity consumption at an industrial enterprise was carried out on the example of the enterprise of JSC "Aviation Electronics and Communication Systems".

The structure of the ASKUE, technical and metrological support has been developed, the reliability analysis of the system has been performed. ASKUE is built on the basis of RS485 and RS232 interfaces based on the requirements of the noise immunity of the data transmission network and the independence of the network from external service organizations.

This system will improve the efficiency and quality of the information received on energy consumption, as well as save energy resources consumed through their effective monitoring and analysis of consumption.

The final qualifying work consists of an explanatory note of 50 pages, including 9 tables and 6 figures, as well as 6 A1 drawings.

Keywords: ENTERPRISE, POWER CONSUMPTION ACCOUNTING, AUTOMATION, ASKUE, RS485 INTERFACE.

Содержание

Введение	5
1 Характеристики объекта автоматизации	7
2 Обоснование необходимости АСКУЭ на предприятии	10
3 Выбор структуры АСКУЭ и аппаратных средств.....	14
3.1 Структура АСКУЭ.....	14
3.2 Выбор структуры АСКУЭ.....	16
3.3 Техническое обеспечение АСКУЭ.....	23
3.4 Программное обеспечение АСКУЭ.....	27
4 Реализация АСКУЭ.....	29
4.1 Реализация структуры АСКУЭ.....	29
4.2 Обоснование выбора параметров аппаратных средств.....	33
4.3 Расчет надежности АСКУЭ.....	43
Заключение.....	47
Список используемых источников.....	48

Введение

В связи с постоянным увеличением стоимости энергоресурсов и возникающими глобальными экологическими проблемами было создано отдельное направление по учету энергоресурсов. Качественный учёт энергоресурсов позволяет рационально определить их необходимое количество при производстве и потреблении. Современные технологии и аппаратные средства позволяют осуществить качественный учет и контроль потребления электроэнергии, что дает возможность наиболее эффективно использовать энергоресурсы.

Практически энергосбережение представляет собой уменьшение потребляемой энергии, не расходуемой на полезную работу, т.е. уменьшение потерь энергии.

«Современная цивилизованная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий учет» [10, 12].

На основе анализа статистических данных по потерям электроэнергии было установлено, что около 91% потерь приходится на сферу потребления, и только около 9% составляют потери на передачу электроэнергии до потребителя. Следовательно, основные мероприятия по улучшению энергосбережения необходимо проводить в сфере электропотребления [11].

Для обеспечения правильных финансовых расчетов за потребленную электроэнергию и оценки рациональности ее использования необходимо обеспечить получение достоверной и оперативной информации об энергопотреблении как различными подразделениями предприятия, так и суммарным потреблением предприятием.

Для выполнения указанных выше требований на предприятиях осуществляют установку автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), которые позволяют автоматизировать процесс

технического и коммерческого учета электроэнергии практически в режиме реального времени и за счет оптимизации расхода электроэнергии снизить энергопотребление.

Основная роль в снижении потерь энергии принадлежит энергосберегающим технологиям, которые позволяют повысить коэффициент полезного использования энергетических ресурсов, в частности за счет анализа результатов данных, полученных АСКУЭ.

Развитие и внедрение энергосберегающих технологий на промышленных предприятиях и в быту позволяет также улучшить экологическую обстановку.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка АСКУЭ предприятия АО «Авиационная электроника и коммуникационные системы» (АО «АВЭКС»).

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести анализ потребления электроэнергии подразделениями предприятия;
- оценить эффективность от внедрения АСКУЭ;
- разработать структуру АСКУЭ;
- выбрать аппаратные средства АСКУЭ, обеспечивающие необходимые показатели качества информации об энергопотреблении.

1 Характеристики объекта автоматизации

Современные промышленные предприятия для экономии энергии, уменьшения себестоимости продукции и улучшения экологической обстановки внедряют энергосберегающие технологии, которые реализуются по следующим направлениям:

1. Технологии, основанные на использовании разных видов энергии. Это могут быть, например, сжатый воздух, энергия ветра, природные источники света и тепла, ядерная энергетика и так далее.

2. Технологии, основанные на более экономном использовании энергии, которое, например, состоит в повышении коэффициента полезного действия энергопотребляющего оборудования и энергопроизводящих установок, использование побочной тепловой энергии при генерации электроэнергии на теплоэлектростанциях. Также дает эффект энергосбережения замена технически устаревшего оборудования на более современное с улучшенными характеристиками эффективности использования энергии.

На промышленных предприятиях необходимо исключать нахождение не используемого оборудования во включенном состоянии и не использовать механизмы, которые имеют большой запас мощности.

Необходимо, по возможности, использовать механизмы, в которых используются различные функции по оптимизации потребления электроэнергии в зависимости от текущей нагрузки, что позволяет значительно снизить потребляемую ими энергию и увеличить их эксплуатационный ресурс.

В настоящее время применение АСКУЭ на предприятии является одним из основных средств для осуществления оптимально решать вопросы оплаты за электропотребление между поставщиками и потребителями, организации рационального использования энергетических ресурсов и снижения себестоимости продукции предприятия.

АСКУЭ представляет собой автоматизированную систему, в которой основные решения принимает человек. В принципе АСКУЭ может быть использована как звено в системе автоматического управления электропотреблением на отдельных производственных объектах путем управления режимами работы объектов с целью минимизации энергопотребления.

Энергопотребление промышленного предприятия зависит от двух составляющих: основной, определяемой энергоемкостью оборудования в производственном цикле, и организационно-технической, определяемой степенью качества организации использования рациональных режимов эксплуатации оборудования.

АСКУЭ за счет оперативного технического контроля позволяет повысить эффективность использования оборудования за счет детального технического учета электропотребления на предприятии. Технический учет электропотребления в АСКУЭ позволяет также уменьшить энергетические потери при невнимательном отношении персонала к ненужным включенным в данный момент потребителям электроэнергии [16, 21].

АСКУЭ за счет автоматизации снятия показаний с электросчетчиков, их обработки и передачи результатов на более высокий уровень позволяет уменьшить количество «рутинных операций», что позволяет уменьшить количество обслуживающего персонала.

Результаты использования АСКУЭ позволяют разработать и применить наиболее экономичные режимы работы используемого на предприятии электрооборудования и графики работы оборудования.

Введение на предприятии многотарифной системы оплаты за потребленную энергию также позволяет сократить расходы на ее оплату.

Акционерное общество АО «АВЭКС» – предприятие разработчик и изготовитель систем электропитания и управления энергетикой космических аппаратов и подводных лодок и другими программами. Для проведения испытаний изделий созданы технологические стенды. Проектные

подразделения имеют современное оснащение компьютерной техникой и технологиями автоматизированного проектирования, позволяющей выполнять проектные работы высокого качества.

АО «АВЭКС» имеет необходимую производственную базу, оснащенную современным технологическим оборудованием, и квалифицированных специалистов, что позволяет производить аппаратуру в требуемом количестве и качестве.

АО «АВЭКС» участвует в совместных работах с ведущими предприятиями ракетно-космической отрасли России, таких как АО «ВПК «НПО машиностроения», АО «Корпорация ВНИИЭМ», АО «НПО Лавочкина» АО «РКК «Энергия», ГНЦ «ФГУП им. Келдыша».

АО «АВЭКС» основной разработчик: преобразователей напряжения и устройств управления ими, необслуживаемых литий-ионных аккумуляторных батарей, зарядных устройств для аккумуляторных батарей.

Удельные массовые и объемные электроэнергетические характеристики таких батарей значительно лучше по сравнению с аккумуляторами других типов.

Для кораблей АО «АВЭКС» занимается разработкой и изготовлением силовых транзисторных преобразователей и электроприводов, а также оборудования управления к ним.

Выводы по разделу 1: в разделе рассмотрены методы экономии электроэнергии на промышленных предприятиях и показана важность применения АСКУЭ, проанализирована специфика производственной деятельности предприятия.

2 Обоснование необходимости АСКУЭ на предприятии

Структурно предприятие состоит из административных подразделений, проектных подразделений, производственных подразделений, вспомогательных подразделений.

Административные подразделения: управление (директор, генеральный конструктор, заместитель директора по финансовой части, заместитель директора по технологической части, главный энергетик, заместитель директора по административно - хозяйственной части, секретари), бухгалтерия, отдел кадров.

Проектные подразделения: отделы генерального конструктора (ОГК-1, ОГК-2, ОГК-3, проектно-конструкторский, отдел), технологический отдел.

Производственные подразделения: цех металлообработки, цех спецодежды, сборочный цех.

Вспомогательные подразделения: склад, хозяйственный отдел, ремонтная группа (электрики, механики, слесари).

Территориально предприятие АО «АВЭКС» размещено в одном 5-ти этажном здании.

Основные потребители электроэнергии:

- аппарат управления и проектные подразделения: освещение, кондиционирование воздуха, вычислительная техника, испытательное оборудование;
- производственные подразделения: цех металлообработки, цех спецодежды и цех сборки (станки, сварка, вентиляция, освещение, паяльное оборудование).

Перечень основных электропотребителей предприятия приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень основных электропотребителей предприятия

Наименование подразделения	Потребляемая мощность, кВт.	Категория потребителей	Окружающая среда
Аппарат управления	10	III	нормальная
Проектные подразделения и лаборатории	25	II	нормальная
Цех металлообработки	48	II	нормальная
Цех спецодежды	24	II	нормальная
Сборочный цех	12	II	нормальная
Испытательные стенды	40	II	нормальная
Насосная	1,4	II	нормальная
Освещение территории предприятия	15	II	нормальная

Производственная часть АВЭКС предназначена для мелкосерийного изготовления изделий и их испытаний.

Достижение экономии электроэнергии на промышленном предприятии может быть достигнуто на основе детального обследования электропотребления предприятия и осуществления проведения работ по оценке эффективности энергопотребления на каждом рабочем месте, внедрения энергосберегающих технологий и оборудования, повышение квалификации персонала, внедрения систем контроля эффективности и контроля потребления электроэнергии.

В перспективе на будущее необходимо стремиться к интеллектуализации и глобализации системы получения информации об энергопотреблении, что позволит за счет обмена данными между различными уровнями системы обеспечить эффективное использование структуры производства, передачи и использования электроэнергии.

Для достижения экономного использования электроэнергии одним из методов решения данной задачи является применение современных систем контроля эффективности использования электроэнергии, а именно автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии.

На объекте автоматизации АО «АВЭКС» в настоящее время нет автоматизированной системы учета потребления электроэнергии, а имеются только отдельные приборы учета, что не обеспечивает качественного и своевременного учета. Вследствие указанного, возникла необходимость разработки и внедрения на предприятии АСКУЭ, что даст возможность локально и глобально контролировать электропотребление и своевременно изменять график и технологию процессов производства.

Оптимальное изменение графика и технологии процессов производства возможно за счет перераспределения работ с большим электропотреблением на время с более низким тарифом на электроэнергию и применения более современных технологий обработки с меньшими затратами электроэнергии.

На предприятии АО «АВЭКС» с помощью АСКУЭ необходимо автоматизировать получение параметров энергопотребления отдельными подразделениями, их анализ, оптимизацию снижения затрат на потребление электроэнергии, передачу данных поставщику электроэнергии, что входит в приведенные далее функции электроэнергетического подразделения.

Функции электроэнергетического подразделения в части контроля энергопотребления следующие:

- составление норм работ и расходов в обеспечении энергетической службы;
- планирование необходимости в электроэнергии;
- составление графиков обслуживания оборудования;
- определение необходимости в запасных частях;
- проведение работ по организации обеспечения предприятия электроэнергией;
- планирование и организация работ по ремонту оборудования;
- организация работ по монтажу и наладке нового электроэнергетического оборудования;
- контроль правил эксплуатации электроэнергетического оборудования;
- контроль и анализ расходов электроэнергии.

Повышение эффективности внедрения АСКУЭ основано на возможности своевременного анализа энергопотребления и устранения возможностей излишнего его потребления.

Эффективность внедрения АСКУЭ оценивают по анализу статистики контрольных наблюдений за расходом электроэнергии в различных подразделениях предприятия, на основе которых с использованием нормативных документов был рассчитан возможный коэффициент использования АСКУЭ $k_{АСКУЭ}=0,037$.

Количество возможного сокращения годового потребления электроэнергии определяется по формуле:

$$\Delta W = k_{АСКУЭ} \cdot W_n, \quad (1)$$

где W_n – фактическое годовое потребление электроэнергии.

Определим возможную экономию электроэнергии при внедрении АСКУЭ на примере расчета потребления электроэнергии за 2021г., которое составило 364143 кВт·ч., тогда $\Delta W = 364143 \cdot 0,037 = 13473,3$ кВт·ч.

Выводы по разделу 2: в разделе проведен анализ потребления электрической энергии подразделениями предприятия и показана целесообразность внедрения АСКУЭ.

3 Выбор структуры АСКУЭ и аппаратных средств

3.1 Структура АСКУЭ

Структура АСКУЭ, приведенная на рисунке 1, состоит из следующих обеспечений: информационное, математическое, программное, техническое, метрологическое и нормативное [13, 16, 22].

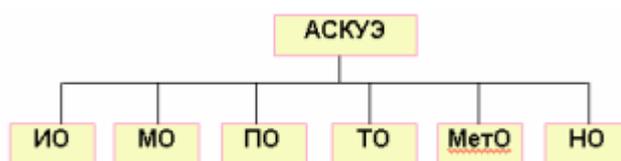


Рисунок 1 – Структура АСКУЭ

Информационное обеспечение (ИО) состоит из отраслевых документов по описанию методов описания информации – классификаторов, кодировщиков, языков описания заданий, описаний протоколов.

Математическое обеспечение (МО) состоит из математических моделей объектов АСКУЭ и алгоритмов анализа математических моделей как индивидуально, так и полной модели АСКУЭ.

Программное обеспечение (ПО) это программы для ЭВМ, реализующие математическое и информационное обеспечение функционирования всей системы в целом и её элементов.

Метрологическое обеспечение состоит из средств поверки АСКУЭ и соответствующих нормативных документов.

Нормативное обеспечение содержит различные государственные и отраслевые документы, определяющие принципы формирования рынка электроэнергии и отношения между его участниками.

Техническое обеспечение (ТО) это технические средства, обеспечивающие функционирование программного обеспечения на всех уровнях АСКУЭ.

Рассмотрим предлагаемое для разрабатываемой АСКУЭ техническое обеспечение.

АСКУЭ состоит из нескольких уровней технических средств (обычно из трех), которые производят измерение количества и характеристики электроэнергии, автоматический сбор и передачу результатов измерений по каналам связи на более высокий уровень для их оценки, хранения и возможной передачей в электропоставляющую организацию.

Типичная структура АСКУЭ приведена на рисунке 2 [13, 16].

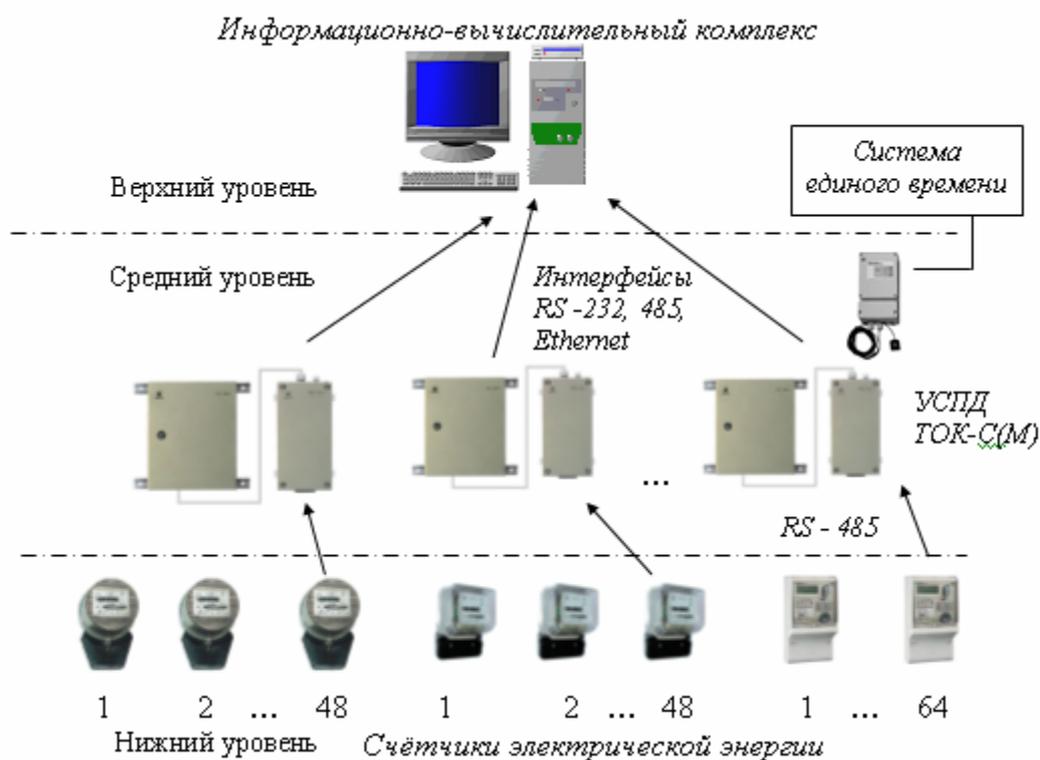


Рисунок 2 – Типичная структура АСКУЭ

Первый (нижний: информационно – измерительный комплекс) уровень состоит из электросчетчиков электроэнергии, получающих параметры

электропотребления, производящих вычисление потребляемой мощности и оценку качества электроэнергии, а также преобразование информации в цифровую форму и передачу ее по каналам связи на более высокий иерархический уровень АСКУЭ.

Второй (средний) уровень состоит из устройства сбора и передачи данных (УСПД), каналов и аппаратуры передачи данных, что обеспечивает получение данных от нескольких измерительных комплексов, их обработку в информационно-вычислительном комплексе электроустановки (ИВКЭ) и передачу на третий уровень.

Третий (верхний) уровень содержит аппаратуру для приема и передачи данных, автоматизированные рабочие места специалистов (АРМ), средства синхронизации единого времени, программное обеспечение (ПО), средства построения локальной вычислительной сети и обеспечения информационной безопасности. Указанные технические средства позволяют принимать, обрабатывать и передавать информацию, составлять отчеты и проводить диагностику состояния системы.

3.2 Выбор структуры АСКУЭ

Выбор структуры АСКУЭ в основном зависит от выбора системы связи в сети передачи информации, которые и рассмотрим.

Основные существующие системы связи [9, 15, 19]:

- GSM/GPRS передача данных от счетчиков в УСПД и в энергоснабжающую организацию через GSM-сети.

Достоинством такой сети является использование уже существующей сотовой сети, готовая инфраструктура сотовой сети и наличие большого количества оборудования.

Недостатками являются необходимость оплаты оператору за услуги по передаче данных, возможные сбои в работе сети, сложность

использования сети в «экранированных помещениях (подвалы, подстанции и т.п.).

- PLC система, в которой передача данных происходит по электросети 0,4 кВ. Достоинством такой сети является использование уже существующей электросети 0,4 кВ, что позволяет избежать затрат на прокладку кабелей связи или установку оборудования беспроводной связи.

Недостатком системы является низкая помехозащищенность, т.к. в сети возможно наличие электропотребителей, создающих помехи (люминесцентные лампы, сварочные аппараты и т.п.), что может привести к искажению информации.

- RADIO 433, 866 мГц система, в которой для передачи данных используется радиоканал на частотах 433мГц или 866мГц., для использования которых не требуется лицензия. Применяется для передачи данных об энергопотреблении от счетчиков в УСПД.

Достоинством данного типа связи являются отсутствие необходимости прокладывать информационные кабели и нет необходимости оплаты за передачу данных. Радиосигнал на частоте 433 МГц (протокол RF 433) хорошо проходит через бетонные плиты стен и междуэтажных перекрытий.

Недостатком системы является необходимость в некоторых случаях (подвал, первый этаж) устанавливать ретрансляторы и прокладывать кабели для соединения УСПД с ретрансляторами. Также недостатком является сильная загруженность радиодиапазона, что может привести к сбоям при передаче информации.

- ETHERNET, INTERNET системы, в которых передача данных осуществляется по существующим вычислительным сетям.

Достоинством систем является возможность передачи информации на высокой скорости, что позволяет передавать большие объемы

информации за приемлемое время. Недостатками являются прокладка кабелей и применение преобразователей интерфейсов.

- LoRaWAN – реализация энергоэффективной сети дальнего радиуса действия с применением модуляции LoRa. Ключевой особенностью канала связи является значительная дальность связи – до 15 километров при отсутствии преград между приемником и передатчиком.
- RS-485, RS-232, M-BUS, в которых передача данных происходит по проводным линиям. Передача данных происходит от счетчиков в УСПД и далее в АРМ энергетика. Достоинством данного типа связи является высокая надежность передачи информации между всеми устройствами с первого по третий уровни. Недостатком является необходимость прокладки информационных кабелей.
- существуют и другие беспроводные линии.

На основе анализа достоинств и недостатков в качестве типа системы связи для предприятия АО «АВЭКС» предлагается использовать проводную систему связи на основе протоколов RS-485/RS-232 [15, 18, 20]. Это обусловлено наличием небольшого количества точек контроля электропотребления и приема данных (не более 18) и их близким расположением (в пределах 50 м), хорошей помехозащищенностью и отсутствием сети ETHERNET, а также отсутствием оплаты за передачу данных.

Стандарт RS-485 (EIA/TIA-485) регламентирует электрические параметры приемников и передатчиков в цифровых системах передачи информации и широко применяется в промышленности.

Интерфейс RS-485 основан на дифференциальной передаче информации по двум проводам. Принцип метода состоит в том, что по первому проводу (А) передается, например, положительный сигнал, а по второму проводу (В), в это же время, передается отрицательный сигнал и, наоборот, что при передаче сигнала создает постоянную разность потенциалов между проводами «А» и

«В»). Передаче логической «единицы» соответствует положительная разность потенциалов, передаче логического «нуля» - отрицательная.

Достоинством дифференциальной передачи данных является высокая помехоустойчивость, особенно к синфазным помехам, одинаково воздействующим на оба провода, что может происходить вследствие электромагнитных наводок от электрических сетей.

При дифференциальном методе передачи в результате того, что помеха наводит в проводах линии равный потенциал разность потенциалов между проводами не изменяется.

Провода скручивают для обеспечения равного воздействия помехи на оба провода, поэтому их называют витой парой. Прямые входы/выходы счетчиков и других устройств подключаются к проводу «А», а инверсные к проводу «В» как показано на рисунке 3.

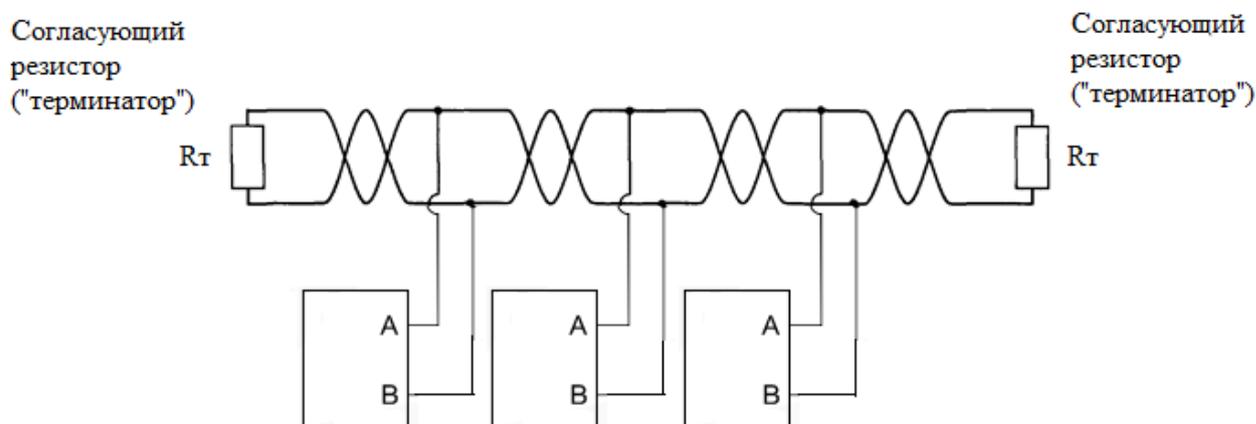


Рисунок 3 – Структура сети RS-485

Помимо вышеуказанного, электрический сигнал имеет свойство отражаться от концов проводника и его ответвлений. Для коротких линий подобные процессы протекают быстро и не оказывают влияния на работу сети, однако при значительных расстояниях в сотни метров отраженная от концов проводников волна может исказить полезный сигнал, что приведет к ошибкам и сбоям.

Проблему искажений полезного сигнала при его отражении от концов линии передачи в интерфейсе RS-485 устраняют путем установки согласующих резисторов - «терминаторов» у двух приемопередатчиков, подключенных к линии на наибольшем расстоянии друг от друга.

Величина сопротивления резистора-«терминатора» должна быть равна волновому сопротивлению кабеля, не зависящему от его длины. Электрические характеристики интерфейса приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Электрические характеристики интерфейса RS-485

Параметр	Значение
Максимальное число приемников/передатчиков	256
Максимальная длина кабеля, м	1200
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	10
Уровень логической «1» передатчика, В	+1,5 ... +6
Уровень логического «0» передатчика, В	-1,5 ... -6
Максимальный ток короткого замыкания передатчика, мА	250
Допустимое сопротивление нагрузки передатчика, Ом	54
Порог чувствительности приемника, мВ	±200
Допустимый диапазон напряжений приемника, В	-7 ... +12
Уровень логической «1» приемника, мВ	Более +200
Уровень логического «0» приемника, мВ	Менее -200
Входное сопротивление приемника, кОм	12

Интерфейс RS-485 является полудуплексным. Вследствие того, что порог чувствительности приемника составляет ± 200 мВ, то при разнице потенциалов на входе приемника в диапазоне от минус 200 мВ до плюс 200 мВ его выходное состояние будет находиться в состоянии неопределенности. Состояние неопределенности может вызвать ложные срабатывания приемника вследствие воздействия несинфазных помех.

При наличии высокого уровня помех используют защитное смещение, которое позволяет создать постоянный потенциал порядка 250 ... 300 мВ, т.е. превышающий уровень логической единицы, что позволяет исключить возникновение неопределенного состояния в линии.

Для этого создают делитель напряжения с использованием резисторов, приведенный на рисунке 4 [7].

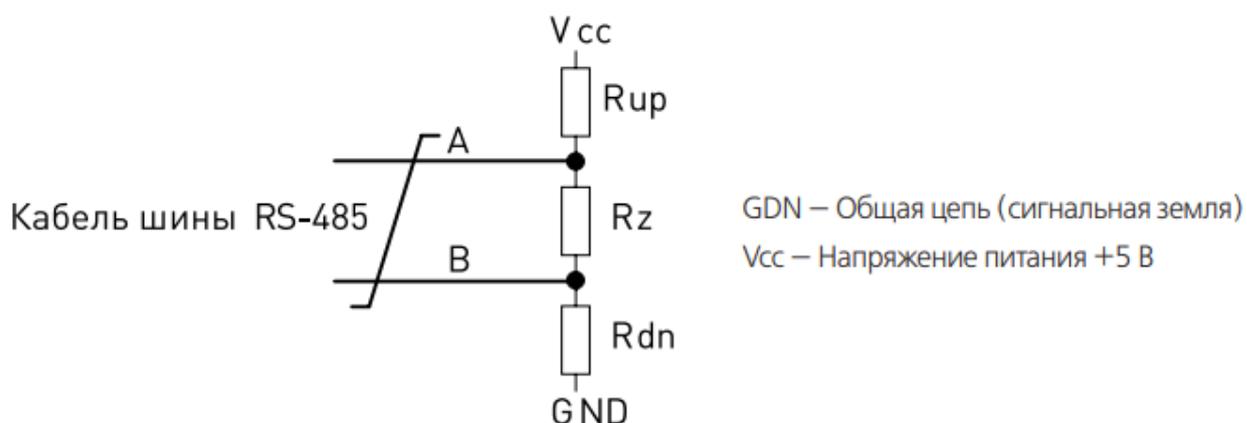


Рисунок 4 – Схема создания защитного смещения

Интерфейс RS-232 обеспечивает передачу информации по проводному дуплексному интерфейсу между устройствами на расстояние до 15 метров на максимальной скорости (115200 бит), но расстояние увеличивается при снижении скорости [15, 20].

Допустимая скорость передачи зависит также типа кабеля передачи данных.

В RS-232 возможны синхронный и асинхронный режимы передачи данных, которые могут работать как с аппаратным так и с программным методами управления передачи информации.

Для синхронизации передачи информации от передатчика к приемнику используются стартовый и стоповый биты.

Данные передаются двоичным сигналом, каждому из которых соответствует свой уровень напряжения (код NRZ). Логическому «0» соответствует положительное напряжение от +5 до +15 В это логический «0», а напряжение от –5 до –15 В это логическая «1».

Для создания АСКУЭ надо:

- установить электросчётчики в местах контроля потребления электроэнергии;
- сигналы от счетчиков передать в суммирующие устройства (УСПД);
- передать информацию в центр контроля на предприятии и, при необходимости, на более верхние уровни;
- оборудовать центры контроля и обработки информации компьютерами с современным программным обеспечением [1, 16].

Основные функциональные требования к предлагаемой АСКУЭ:

- получение сведений об электропотреблении отдельными подразделениями;
- обработка результатов, получаемых от электросчетчиков по соответствующим тарифам, составление отчетов по электропотреблению и передача суммарного результата поставщику электроэнергии;
- проверка исправности оборудования АСКУЭ.

Структура предлагаемой АСКУЭ будет состоять из электросчетчиков, УСПД, каналов передачи данных, АРМ энергетика, GSM-модема передачи данных.

Пример схемы организации АСКУЭ был показан на рисунке 2. В разрабатываемой АСКУЭ для соединения датчиков с УСПД применен интерфейс RS485, а для передачи информации от УСПД применен интерфейс RS232.

3.3 Техническое обеспечение АСКУЭ

3.3.1 Электросчетчики

Конструкция электросчетчика [3, 16] представляет собой корпус, на котором имеется клеммная колодка для подключения внешних электрических цепей, а внутри корпуса установлены измерительный трансформатор тока, жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) и печатная плата, на которой установлены источник питания электронных элементов, микропроцессор (микроконтроллер), часы времени и даты, органы управления, супервизор, телеметрический выход, порт оптический.

Назначение ЖКИ – отображение режимов работы в электросети, о потребленной электроэнергии, дате и текущем времени с помощью многоразрядного буквенно-цифрового индикатора.

Супервизор предназначен для слежения за параметрами напряжения в сети и подачи сигнала сброса для микропроцессора при включении и отключении питания.

Телеметрический выход предназначен для передачи информации в АСКУЭ или в компьютер через соответствующий протокол (наиболее часто RS485/RS232). Оптический порт, служит для снятия показаний непосредственно с электросчётчика и может использоваться для его программирования.

Вся обработка информации в электронном счетчике происходит в микроконтроллере, а именно: преобразование аналогового сигнала с трансформатора тока в цифровую форму, его аналитическую обработку и вывод результатов на дисплей. Микроконтроллер также принимает команды от органов управления. Для обеспечения необходимых функций по обработке информации контроллер должен иметь соответствующее программное обеспечение.

Рассмотрим характеристики современных устройств, которые рекомендуется использовать в АСКУЭ с проводной системой передачи

информации по протоколам RS485/RS232. Для коммерческого учета потребляемой электроэнергии в сети 0,4 кВ предлагается использовать многотарифный электросчетчик СЕ6850М с классом точности 0,2S [8].

Выбор параметров электросчетчика производится исходя из величины тока в нагрузке и требований ПУЭ к точности измерений потребления электроэнергии при различных диапазонах нагрузок. Величина потребляемого предприятием тока составляет 235 А, поэтому необходимо подключение счетчика к сети с помощью трансформатора тока, т.к. максимальный ток через счетчик СЕ6850М при прямом подключении не должен превышать 100 А. С некоторым запасом по току в первичной обмотке (шине) берем трансформатор тока Т-0,66-300/5-0,2S. Проверка правильности выбора трансформатора производится далее на основе требований п.1. 5. 17 ПУЭ [14].

Коэффициент трансформации тока у выбранного трансформатора составляет $300/5=60$, где 5 – это номинальный ток во вторичной обмотке трансформатора или номинальный ток на входе счетчика. Для выбранного трансформатора ток во вторичной обмотке при номинальном токе в нагрузке будет составлять $235\text{A}/60=3,9\text{ A}$.

По требованиям ПУЭ ток вторичной обмотки при номинальной нагрузке должен быть не менее 40% от номинального, т.е. $5\text{A}\cdot 40\%/100\%=2\text{A}$ должно быть меньше 3,9 А, что и выполняется для первого требования. Минимальный ток нагрузки потребления равен 23 А, при этом ток во вторичной обмотке будет равен $23\text{A}/60=0,38\text{ A}$. Для выполнения второго требования необходимо чтобы при минимальном токе нагрузки ток во вторичной обмотке трансформатора был не менее 5% от номинального, т.е. $5\text{A}\cdot 5\%/100\%=0,25\text{ A}$ меньше 0,38 А, что и выполняется. Следовательно, требования ПУЭ выполняются и трансформатор выбран правильно.

Для технического учета потребляемой электроэнергии в сети 220 В предлагается использовать многотарифные электросчетчики СЕ208S7 с классом точности 1,0S [8].

Встроенное программное обеспечение счетчика электроэнергии однофазного многофункционального СЕ208 поставляется в составе счетчика, предустановленным на заводе изготовителе и отдельно не предоставляется. В программном обеспечении реализованы все перечисленные функциональные возможности счетчика.

Для измерения потребляемой электроэнергии в сети 380 В предлагается использовать многотарифные электросчетчики СЕ303-S31 с классом точности 1,0S [8].

3.3.2 Устройство сбора и передачи информации СЕ805М

Основные функции УСПД СЕ805М [8]:

- сбор данных с электросчетчиков;
- передача накопленных данных на более верхний уровень АСКУЭ;
- контроль и управление текущим временем в электросчетчиках;
- управление нагрузкой электросчетчиков, записью тарифных расписаний, лимитов потребления и другими режимами;
- передача информации в вычислительные средства для её обработки и хранения.

Основные характеристики УСПД СЕ805М:

- максимальное количество учитываемых каналов – до 4000.
- наличие интерфейсов для получения информации от счетчиков – 2 канала RS485, радиоканал 433 МГц, канал PLC (в зависимости от модификации).

3.3.3 Выбор интерфейсов и каналов передачи информации

На предприятии в качестве цепи передачи данных между приборами разрабатываемой АСКУЭ предлагается использовать каналы проводной связи на основе витой пары и протокола RS-485.

Такой канал позволяет оперативно и надежно передавать данные от электросчетчиков. Для реализации каналов необходима прокладка кабелей витой пары и монтаж разветвителей. Передача информации от УСПД на более высокий уровень будет производиться по каналу RS-232.

Для соединения отдельных участков линии RS-485 необходимы разветвители. Для проводных линий с оборудованием АО «Энергомера» предлагается использовать разветвитель АО «Энергомера» типа ИНЕС.685686.002 [1].

Основные характеристики разветвителя ИНЕС.685686.002 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные характеристики разветвителя ИНЕС.685686.002

Максимальное рабочее напряжение	36
Максимальный продолжительный ток, А	0,5
Сечение подключаемых проводов к одному зажиму, мм ²	от 0,5 до 2,5
Допустимый наружный диаметр кабеля для ввода, мм	5 - 7
Масса не более, кг	0,35
Диапазон рабочих температур, °С	от минус 30 до 50
Габаритные размеры (не более), мм	132 x 80 x35
Степень защиты изделия	IP10
Относительная влажность воздуха при 30°С,%	90

Поскольку сеть будет прокладываться внутри помещения предприятия, в котором имеются источники электромагнитных помех, то необходимо сделать правильный выбор типа кабеля витая пара.

На предприятии по рекомендации АО «Энергомера» предлагается использовать кабель типа S/FTP (каждая пара экранирована фольгой, плюс присутствует медная оплетка для всего кабеля целиком) марки КИПЭВ 1×2×0,6 [8].

Конструкция кабеля КИПЭВ: количество пар: 1-10; диаметр жил: 0,6 мм (7×0,2 мм); жилы – многопроволочные медные луженые; скрутка парная; изоляция – сплошной полиэтилен; экран – общий из алюмолавсановой ленты

с контактным проводником и оплеткой из медных луженых проволок плотностью 88-92 %; оболочка – ПВХ [2].

3.4 Программное обеспечение АСКУЭ

Программное обеспечение (ПО) AdminTools позволяет организовывать структуру АСКУЭ, производить настройку и опрос счетчиков потребляемой электроэнергии и УСПД [8]. ПО обеспечивает просмотр данных с измерительных каналов за различные периоды и работу со следующими устройствами:

- СОМ порт;
- локальная сеть Ethernet;
- устройство сбора и передачи данных;
- оптический порт;
- радиомодем;
- инфракрасный порт;
- PLC - модем.

ПО AdminTools позволяет производить: чтение общей и статусной информации, чтение данных, чтение журналов, чтение и запись даты и времени, чтение и запись конфигурационных параметров и др.

Отличительные особенности программы: разграничение прав по типу пользователей; одновременная работа с группой однотипных устройств; поиск подключенных устройств в сети; считывание/запись даты и времени подключенных устройств; получение информации о подключенных устройствах; выполнение команд на подключенных устройствах; изменение параметров конфигурации подключенных устройств (считать/записать в зависимости от типа пользователя); считывание текущего состояния подключенных устройств; считывание данных измерений, хранящихся в

подключенных устройствах; экспорт данных в Excel; считывание журнала событий подключенных устройств.

Требования к конфигурации персонального компьютера:

- операционная система: Windows 7, Windows 8, Windows 10;
- процессор не ниже Intel Celeron 1000 MHz;
- ОЗУ не менее 1 GB;
- свободное место на жестком диске не менее 50 MB;
- SVGA дисплей;
- клавиатура;
- мышь.

Виды и объем доступной для чтения и записи информации с каждого прибора и устройства определяются его спецификой и описываются в его эксплуатационной документации (руководство по эксплуатации, инструкции и прочая документация, поставляемая с каждым конкретным прибором и устройством).

Для работы с программой AdminTools требуются навыки работы с ПК на уровне пользователя, а также знание руководства пользователя.

Выводы по разделу 3: в разделе произведен обоснованный выбор структуры и аппаратных средств АСКУЭ, характеристики которых соответствуют современному техническому уровню и требованиям предприятия.

Таблица 4 – Спецификация элементов структуры АСКУЭ

Обозначение	Наименование	Количество
РИ	Разветвитель интерфейса ИНЕС 685686.002	3
СЕ208	Счетчик электроэнергии СЕ208	12
СЕ303	Счетчик электроэнергии СЕ303	5
СЕ6850М	Счетчик электроэнергии СЕ6850М	1
УСПД	Устройство сбора и передачи информации СЕ805М	1
GSM	GSM модем BITCORD СТ	1
ВРУ	Вводно-распределительное устройство	1
АРМ электрика	Автоматизированное рабочее место электрика	1
RS485	Шина интерфейса RS485	-
RS232	Шина интерфейса RS232	-

Поскольку подразделения предприятия расположены на пяти этажах одного здания, то система, соответственно, имеет пять уровней. На первом этаже располагаются самые энергоемкие подразделения с массивным оборудованием: цех металлообработки, цех спецоснастки и испытательные стенды. Автоматизированный технический учет потребления электроэнергии ими производится счетчиками СЕ303 прямого подключения, т.к. потребляемый ток не превышает 100 А, с классом точности 1,0S [16,18]. Также на первом этаже производится ввод трехфазной сети электропитания 0,4 кВ, для этого установлен шкаф ВРУ, в который будет установлен счетчик коммерческого учета электроэнергии трансформаторного подключения СЕ6850М, т.к. потребляемый ток превышает 100 А.

На втором этаже находятся проектные подразделения, аппарат управления и главный энергетик предприятия, в кабинете которого устанавливается АРМ и GSM модем для передачи результатов коммерческого

учета электроэнергии в поставляющую организацию. Шкаф УСПД будет расположен вблизи кабинета главного энергетика, т.к. длина линии шины RS232 не должна превышать 15 м. Технический учет потребляемой электроэнергии этими подразделениями производится счетчиками СЕ208 с классом точности 1,0S.

На третьем этаже расположены отдел надежности, проектно-конструкторский отдел 1, проектно-конструкторский отдел 2. Технический учет потребляемой электроэнергии этими подразделениями производится счетчиками СЕ208 с классом точности 1,0S.

На четвертом этаже расположен сборочный цех, технический учет потребляемой электроэнергии этим подразделением производится счетчиком СЕ303 прямого подключения с классом точности 1,0S. На этом же этаже расположен технологический отдел, технический учет потребляемой электроэнергии этим подразделением производится счетчиком СЕ208 с классом точности 1,0S.

На пятом этаже расположены три лаборатории, технический учет потребляемой электроэнергии этими подразделениями производится счетчиками СЕ208 с классом точности 1,0S.

Исходя из потребления электроэнергии отдельными подразделениями и предприятием в целом, типа интерфейса передачи данных и способа установки выбраны следующие типы и комплектации счетчиков [12,13,15].

СЕ6850М – обозначение модификации счетчика СЕ6850М 0,2S/0.5. 220. 5-7,5 А. 2Н. 1. Р. ШЗ1, которое расшифровывается: класс точности по активной энергии 0,2S; класс точности по реактивной энергии 0,5; диапазон номинальных фазных напряжений сетей, к которым счетчик может присоединяться 220 В; номинальный и максимальный ток при трансформаторном включении 5-7,5 А; 2Н – счетчик прямого и обратного направлений; 1 – модуль интерфейса ЕІА485; Р – наличие модуля резервного питания; ШЗ1 – тип корпуса для установки в шкаф [8].

CE208 – обозначение модификации счетчика CE 208 S7.1.4.1.5.1.АО, которое расшифровывается: тип и номер корпуса S7 – для установки в щиток (моноблок); класс точности: 1 – 1,0 по активной энергии; номинальное напряжение: 4 – фазное напряжение 230 В; базовый (максимальный) ток: 5 – 5(60) А; количество измерительных элементов: 1 – счетчик с одним датчиком тока (в цепи фазы); интегрированные интерфейсы связи: А - модуль интерфейса EIA485; О – оптопорт [8].

CE303 – обозначение модификации счетчика CE303 S31.7.4.6.АJ, которое расшифровывается: тип корпуса S31 – для установки в щиток; класс точности по активной/реактивной энергии 7 – 1/1; номинальное напряжение: 4 – 3x230/400 В– фазное/линейное; номинальный, базовый (максимальный) ток: 6 – 5(100) А; А – модуль интерфейса EIA485; J – оптопорт [8].

Подключение счетчиков и УСПД к линии RS485 при равенстве потенциалов «земли» в точках подключения оборудования приведено на рисунке 6. Подключение счетчиков и УСПД производится с помощью клеммных колодок.

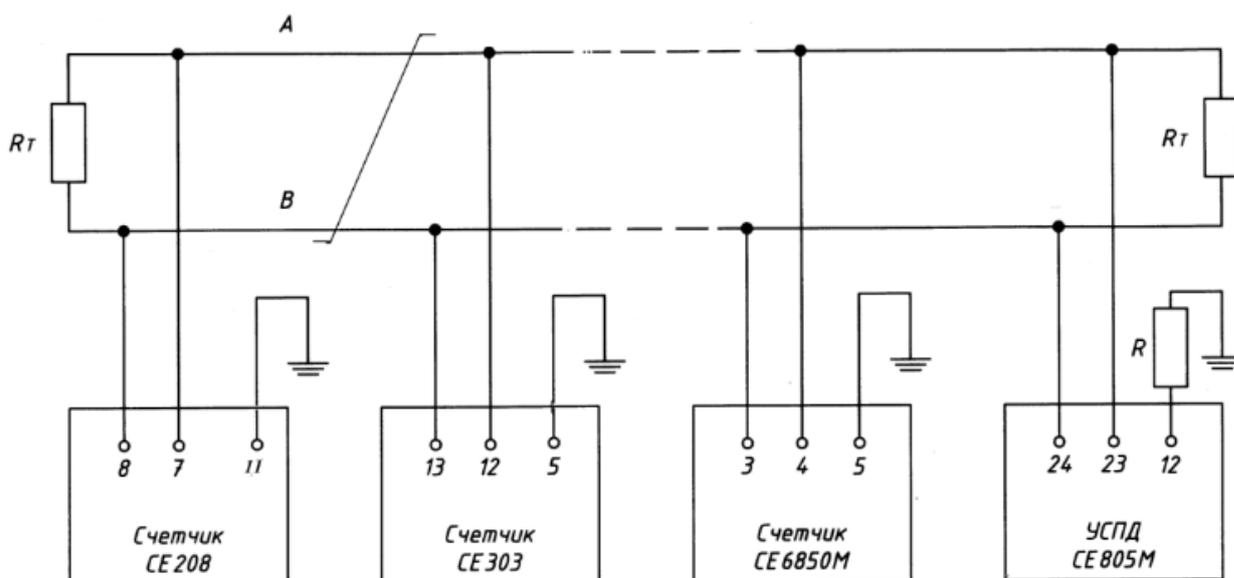


Рисунок 6 – Подключение счетчиков и УСПД к линии RS485

Подключение этажных сегментов линии RS485 производится с помощью разветвителей интерфейса и приведено на чертеже 3.

Трансформаторное подключение счетчика СЕ6850М к электрической сети приведено на чертеже 4.

Схема соединений оборудования в шкафу УСПД и конструкция шкафа приведены на чертеже 5.

Схемы принципиальные электрические электроснабжения подразделений с использованием выбранных электросчетчиков СЕ208 и СЕ303 приведены на чертеже 6.

4.2 Обоснование выбора параметров аппаратных средств

4.2.1 Метрологическое обеспечение АСКУЭ

Для достоверной оценки эффективности экономии электроэнергии при эксплуатации АСКУЭ необходимо ещё на стадии проектирования обеспечить необходимую точность измерений потребления электроэнергии, что может быть обеспечено расчетами возможных погрешностей измерений и выборе на их основе элементов АСКУЭ, позволяющих обеспечить необходимую точность измерений.

Различными регламентирующими документами определяются требования к методическому обеспечению АСКУЭ. К ним относятся Законы РФ (федеральные и местные), Гражданский кодекс РФ, стандарты (отраслевые и общероссийские), основные из которых ГОСТ 7746-2015, ГОСТ 2.701-2008, ГОСТ 2.709-89, ГОСТ 2.710-81, ГОСТ 2.721-74, ГОСТ 1983-89, ГОСТ 31818.11-2012, ГОСТ 31819.21-2012, ГОСТ 31819.22-2012, ГОСТ 2.755-87, РД 34.09.101-94, ГОСТ Р 52323-2005, ПУЭ и другие нормативные документы различного организационного уровня.

В условиях эксплуатации на предприятии АО «АВЭКС» за базовые погрешности измерений приняты пределы допускаемой относительной погрешности (ДОП) измерительного канала коммерческого учета при

доверительной вероятности, равной 0,95 [3,9,10], приведенные в таблице 5.

Таблица 5 – Предельные значения ДОП

cos φ	Предельные значения ДОП		
	Для нагрузок до 5%	Для малых нагрузок 5%-20% вкл.	Для интервала нагрузок 20%-120%
cos φ=0,5 – 0,8	не указывается	2,9%	2,0%
cos φ=0,8 – 1,0	не указывается	2,9%	2,0%

В проектируемой АСКУЭ имеется три типа измерительных каналов:

- первый тип – это канал, в структуре которого УСПД СЕ805М и электросчетчик СЕ6850М класса точности 0.2S, установленный на вводе в здание сети питания 0,4 кВ и подключенный к сети с использованием трансформатора тока (ТТ) класса точности 0,2S. К этому каналу предъявляются наибольшие требования по точности измерений, т.к. его показания являются итоговыми и передаются в электроснабжающую организацию;
- второй тип – это канал, в структуре которого УСПД СЕ805М и электросчетчики СЕ303 класса точности 1,0S, устанавливаемые в цехах и в испытательных подразделениях для технического учета электропотребления;
- третий тип – это канал, в структуре которого УСПД СЕ805М и электросчетчики СЕ208 класса точности 1,0S, устанавливаемые у потребителей в однофазной сети для технического учета электропотребления.

Для правильного выбора класса точности счетчика коммерческого учета и, соответствующего ему, трансформатора тока рассмотрим, как влияет сочетание классов их точности на суммарную погрешность показаний счетчика [20,21,22].

В первом приближении суммарную погрешность можно определить по формуле [17]:

$$\delta_{\Sigma} = 1.1\sqrt{(\delta_{т.т}^2 + \delta_{сч}^2)}, \quad (2)$$

где $\delta_{т.т}$ - погрешность трансформатора тока;

$\delta_{сч}$ - погрешность счетчика.

Возьмем сочетание трансформатора тока и счетчика с равным классом точности 0,5S. В этом варианте суммарная погрешность будет равна: $\delta_{0,5}=0.78$.

Возьмем сочетание в виде счетчика с классом точности 0,2S и трансформатора класса точности 0,5. В этом варианте суммарная погрешность будет равна: $\delta_{0,2}=0,59$.

Если возьмем трансформатор с классом точности 1,0 и счетчик класса 1,0, то суммарная погрешность будет равна: $\delta_{1,0}=1,56$.

Если использовать трансформатор с классом точности 1,0 и счетчик класса точности 0,2S, то $\delta_{0,2S}=1,12$.

Возьмем сочетание трансформатора тока и счетчика с равным классом точности 0,2S. В этом варианте суммарная погрешность будет равна:

$$\delta_{0,2}=0,31.$$

Из проведенного анализа видно, что применение трансформатора тока и счетчика с классом точности 0,2S дает существенное уменьшение погрешности учета по сравнению с вариантом, когда имеется сочетание классов точности 0,2S и 0,5S, а именно в $0,59/0,31=1,9$ раза.

Согласно п. 6.4.1 ГОСТ 7746-2015 [6] метрологические характеристики следует устанавливать для следующих рабочих условий применения трансформаторов:

- а) номинальный диапазон частот составляет от 99% до 101% номинальной частоты для трансформаторов, предназначенных для измерения и учета, и от 96% до 102% номинальной частоты для трансформаторов, предназначенных для защиты;

- б) первичный ток - в соответствии с п. 6.4.2 и п. 6.4.3 ГОСТ 7746-2015;
- в) значение вторичной нагрузки - в соответствии с п. 6.4.2 и п. 6.4.3 ГОСТ 7746-2015;
- г) температура окружающего воздуха - в соответствии с климатическим исполнением и категорией размещения, если иное не указано в документации на трансформаторы конкретных типов;
- д) высота установки трансформаторов над уровнем моря - по п. 6.2.2 ГОСТ 7746-2015 не выше 1000 м.

Согласно требования п.6.4.2 ГОСТ 7746-2015 пределы допускаемых погрешностей вторичных обмоток для измерений и учета в рабочих условиях применения по п.6.4.1 ГОСТ 7746-2015 при установившемся режиме должны соответствовать значениям по классу точности трансформаторов 0,2S, указанным в таблице 6.

Таблица 6 – Пределы допускаемых погрешностей ТТ

Класс точности	Первичный ток, % номинального значения	Предел допускаемой погрешности			Предел вторичной нагрузки, % номинального значения
		Токовой, %	угловой		
			мин	рад	
0,2S	5	±0,45	±30`	±0,9	25 - 100
	29	±0,35	±15`	±0,45	
	100 - 120	±0,2	±10`	±0,3	

Согласно п. 8.1 ГОСТ 31819.22-2012 [5]: «В нормальных условиях допускаемые основные погрешности счетчика, выраженные в процентах, не должны превышать пределов для соответствующего класса точности, установленных в таблицах 4 и 5».

Данные о погрешностях используемых электронных счетчиков с классом точности 0,2S сведены в таблицу 7.

Таблица 7 — Пределы допускаемых погрешностей счетчика с классом точности 0,2S

Значение тока	Коэффициент мощности	Пределы допускаемой основной погрешности, % для счетчиков класса точности 0,2S
От 0,01I _{НОМ} до 0,05I _{НОМ}	1,00	±0,4
От 0,05I _{НОМ} до 1,2I _{НОМ} включительно		±0,2
От 0,02I _{НОМ} до 0,1I _{НОМ}	Нагрузка 0,5 инд., 0,8 емк.	±0,5
От 0,1I _{НОМ} до I _{макс} включительно	Нагрузка 0,5 инд., 0,8 емк.	±0,3

Примененные в проекте электросчетчики удовлетворяют требованиям ГОСТ 31818.11-2012, ГОСТ 31819.21-2012 (для класса 1,0) [4], ГОСТ 31819.22-2012 (для класса 0,2S) в части измерения активной энергии и ГОСТ31819.23-2012 в части измерения реактивной энергии.

В таблице 6 п. 8.2 ГОСТ 31819.22-2012 приведен средний температурный коэффициент счетчика $K_t=0,01\%$ (при коэффициенте мощности 1.0 и значении тока от 0,05I_{НОМ} до I_{макс} включительно), следовательно, дополнительная относительная температурная погрешность электросчетчика определится по формуле:

$$\delta_{ctd} = K_t * \Delta t, \quad (3)$$

где Δt - отклонение температуры окружающего воздуха от ее нормального значения, равного 23°C.

Исходя из условий эксплуатации принимаем $\Delta t = 10^\circ\text{C}$. Тогда получим $\delta_{ctd}=0,01*10=0,1$. Максимальная погрешность за счет самонагрева счетчика класса точности 0,2S согласно ГОСТ 31819.22-2012 может достигать 0,1%,

следовательно, суммарная температурная погрешность может достигать $\delta_{ct}=0,2\%$.

Вследствие того, что электрические счетчики будут установлены в отдалении от источников электромагнитного воздействия, то дополнительная погрешность от его влияния будет мала и учитываться не будет.

В электрических счетчиках CE6850M текущее время датируется с возможной основной абсолютной погрешностью $\pm 0,5$ с/сут или $0,0005787$ %/сут [8]. Дополнительная погрешность за счет изменения температуры окружающей среды в пределах от минус 10 до 45 °С составляет $\pm 0,15$ с/°С в сутки, итого при реальном изменении температуры на ± 10 °С абсолютная погрешность может составить $\pm 2,0$ с/сут или $0,002314$ %/сут.

Одной из функций УСПД является поддержка единого системного времени, которую он осуществляет путем считывания времени счетчиков и при расхождении времени УСПД и счетчика больше чем на 2 с передает по линии команду на корректировку времени счетчика.

Пределы абсолютной погрешности измерения времени УСПД CE805M с учетом дополнительных погрешностей и отсутствия внешней синхронизации составляют $\pm 3,3$ с/сут. Поскольку текущее время счетчиков корректируется УСПД, то возможная абсолютная погрешность измерения времени в счетчиках может составить $\pm 3,3$ с/сут или $0,003819$ %/сут.

Задержка сигнала синхронизации времени для счетчика по кабелю «витая пара» информационной линии связи с УСПД определяется по формуле:

$$T_{зад} = S \cdot n / V, \quad (4)$$

где S – суммарный объем ответа на команду УСПД чтения текущего времени счетчика (8 байт) и команды УСПД на коррекцию времени счетчика (2 байт);
 n – число бит на байт передаваемой информации;
 V – скорость передачи сигналов в канале связи, бит/с.

Число бит в байте передаваемой информации $n = 8$ [19].

При оценке допустимой скорости передачи по шине RS-485 рекомендуется пользоваться следующей формулой [19]:

$$Br \cdot L \leq 10^7, \quad (5)$$

где Br – скорость передачи, бит/с;

L – общая длина кабеля связи, м.

Соответственно должно выполняться условие $Br \leq 10^7 / L$. В нашем случае $L=250$ м., тогда $Br \leq 10^7 / 250 \leq 40000$ бит/с.

Выбираем скорость в канале связи: $V = 9600$ бит/с. Следовательно, получим $T_{\text{зад}} = (8+2) \cdot 8 / 9600 = 0,008$ с, что пренебрежимо мало по сравнению с максимальным возможным временем рассинхронизации в течение суток $\Delta_{\text{тр}}$ между временем счетчика и временем УСПД, которое равно 5,3 с.

Максимальная суточная погрешность от рассинхронизации времени компонентов системы может составлять:

$\delta_{\text{тр}} = (\Delta_{\text{тр}} + T_{\text{зад}}) / 86400 \cdot 100 \% = (5,3 + 0,008) / 86400 \cdot 100 = 0,006 \%$, что пренебрежимо мало по сравнению с другими составляющими погрешности и не учитывается при расчете суммарной погрешности измерительных каналов

Расчеты погрешностей элементов второго и третьего типов измерительных каналов произведены аналогично расчету первого типа канала и приведены в итоговой таблице 8.

При расчетах используется типовая методика выполнения измерений электроэнергии и мощности [17].

По этой методике предельное значение допускаемой относительной погрешности измерительного канала δ_w определяется по формуле:

$$\delta_w = \pm 1,1 \cdot \sqrt{(\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_L^2 + \delta_C^2 + \sum_j \delta_j^2 + \delta_\theta^2 + \delta_{y.c.}^2)}, \quad (6)$$

где δ_I , δ_U – значения погрешностей соответственно ТТ и ТН в %;

$\delta_{л}$ – значение погрешности в линии, к которой присоединен счетчик с ТН в случае потерь напряжения в линии (в расчете не учитывается);

δ_c – значение основной относительной погрешности выбранного счетчика;

δ_j – значение дополнительной погрешности счетчика от j-ой влияющей величины (постоянная составляющая в цепи переменного тока, ресинхронизация напряжений, форма кривой тока, температура и т.д.);

δ_{θ} – значение погрешности схемы подключения счетчика (за счет угловых погрешностей ТТ и ТН);

$\delta_{y.c.}$ – значение относительной погрешности УСПД (в расчете не учтена вследствие пренебрежимо малой величины $\delta_{y.c.} = \delta_{tr\theta}$).

При измерениях активной энергии погрешность δ вычисляют по формуле:

$$\delta_{\theta} = 0,029 \cdot \sqrt{(\theta_I^2 + \theta_U^2)} \cdot \frac{\sqrt{(1 - \cos^2 \varphi)}}{\cos \varphi}, \quad (7)$$

где θ_I – угловая погрешность трансформатора тока, мин;

θ_U – угловая погрешность трансформатора напряжения, мин;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности контролируемой нагрузки.

При измерениях реактивной энергии погрешность δ вычисляют по формуле:

$$\delta_{\theta} = 0,029 \cdot \sqrt{(\theta_I^2 + \theta_U^2)} \cdot \frac{\cos \varphi}{\sqrt{(1 - \cos^2 \varphi)}}, \quad (8)$$

где θ_I – угловая погрешность трансформатора тока, мин;

θ_U – угловая погрешность трансформатора напряжения, мин;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности контролируемой нагрузки (для расчета при реактивной нагрузке принят $\cos\varphi=0,85$).

Относительную погрешность УСПД вычисляют по формуле:

$$\delta_{y.c.} = \sqrt{(\delta_T^2 + \delta_{T.P.}^2)}, \quad (9)$$

где δ_T – среднесуточная погрешность измерений текущего астрономического времени;

$\delta_{T.P.}$ – погрешность рассинхронизации при измерениях текущего астрономического времени, %.

При измерениях мощности δ_p предел допускаемой относительной погрешности измерительного комплекса вычисляют по формуле:

$$\delta_p = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta_w^2}{1,1} + \delta_T^2\right)}, \quad (10)$$

где δ_w – предел допускаемой относительной погрешности измерительного канала при измерениях электроэнергии, %;

δ_T – погрешность счетчика импульсов времени, предназначенного для измерений в составе АСКУЭ промежутка времени (временного интервала), %.

Результаты расчетов погрешностей измерительных каналов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов погрешностей измерительных каналов

№ ИК	Ток в первичной цепи П/П ном. б	Составляющая погрешности измерительного канала								Итоговая погрешность, расчетная/допустимая	
		δ_I %	θ_I мин	δ_θ %, акт.	δ_θ % реак	δ_c %	Дополнит. погрешности счетчиков			$\delta_p = \delta_w$, акт. %	$\delta_p = \delta_w$, реак. %
							δ_{ct} %	δ_{ch} %	δ_{cf} %		
1 (с СЕ685 0М кл. 0,2)	$0,05I_H <$ $I_1 < 0,2I_H$	0,7 5	30	0,87	1,41	0, 4	0, 2	0, 1	0,1	1,36/2,9	1,83/2,9
	$0,2I_H <$ $I_1 < 1,0I_H$	0,3 5	15	0,43 5	0,70	0, 2	0, 2	0, 1	0,1	0,70/2,0	0,93/2,0
	$1,0I_H <$ $I_1 < 1,2I_H$	0,2	10	0,29	0,47	0, 2	0, 2	0, 1	0,1	0,52/2,0	0,66/2,0
2 (с СЕ303 кл. 1,0)	$0,05I_6 \leq$ $I_1 < 0,1I_6$	-	-	-	-	1, 5	1, 3	0, 7	0,5	2,38	2,38
	$0,1I_6 \leq$ $I_1 < I_{6, \text{макс}}$	-	-	-	-	1, 0	1, 3	0, 7	0,5	2,04	2,04
3 (с СЕ208 кл. 1,0)	$0,05I_6 \leq$ $I_1 < 0,1I_6$	-	-	-	-	1, 5	1, 3	0, 7	0,5	2,38	2,38
	$0,1I_6 \leq$ $I_1 < I_{6, \text{макс}}$	-	-	-	-	1, 0	1, 3	0, 7	0,5	2,04	2,04

Вывод: из результатов расчетов видно, что полученные суммарные погрешности для счетчика коммерческого учета СЕ6850М при основном режиме работы в диапазоне $0,2I_H < I_1 < 1,0I_H$ значительно меньше максимально допустимых по требованиям предприятия 2,0%.

4.3 Расчет надежности АСКУЭ

Целью расчёта надежности является расчет ожидаемого уровня надежности АСКУЭ. Исходными данными для расчета надежности системы являются показатели надежности элементов АСКУЭ. Для восстанавливаемых элементов задается время восстановления элемента (T_B), а если элемент невосстанавливаемый, то для него задается средняя наработка до отказа (T_{cp}). Восстановление ТТ производится заменой на исправный. Время восстановления ТТ принимаем равным $T_B=168$ часов (одна неделя). Среднее время восстановления для УСПД СЕ805М и для счетчиков производитель устанавливает около 2-х часов.

При построении алгоритма расчета надежности считают, что система состоит из элементов, характеризующихся вероятностью безотказной работы $P_i(t)$ [7]. Считается также, что отказ каждого элемента системы не зависит от отказа других элементов. Для системы в целом считается, что произошел ее отказ, если отказал хотя бы один ее элемент.

Согласно теории вероятности, при изложенных выше положениях, вероятность безотказной работы АСКУЭ – $P(t)$ вычисляется по формуле:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t), \quad (11)$$

где N – количество элементов в системе;

t – время (час).

В настоящее время наиболее широко используется оценка вероятности безотказной работы элемента на основе экспоненциального закона распределения плотности вероятности отказов, а $P(t)$ будет, соответственно, вычисляться по формуле [7]:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N e^{-\lambda_i \cdot t} = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot t}, \quad (12)$$

где N – количество элементов в системе;

e – основание натурального логарифма;

λ_i – интенсивность отказов i -го элемента системы.

Поскольку в технических характеристиках аппаратуры АСКУЭ приводятся только данные по времени средней наработки до отказа и нет данных о его зависимости от режимов и условий эксплуатации, то при расчете использовалось только время средней наработки до отказа. Вследствие наличия в системе большого количества контактных соединений возникла необходимость учитывать их надежность при расчете.

Связь между интенсивностью отказов λ_o и временем средней наработки до отказа T_o выражается формулой:

$$\lambda_o = 1/T_o. \quad (13)$$

Коэффициент готовности системы к работе определяется по формуле:

$$k_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_B}, \quad (14)$$

где k_{Γ} - коэффициент готовности;

T_o - наработка на отказ, ч;

T_B - время восстановления.

Для системы в целом рассчитываются показатели надежности:

– время восстановления, T_B ;

– интенсивность отказа, λ_o ;

- коэффициент готовности, K_r ;
- наработка на отказ, T_o ;
- вероятность безотказной работы в течение 24-х часов эксплуатации.

Требования предприятия к показателям надежности АСКУЭ: среднее время наработки системы до отказа не менее 8000ч., коэффициент готовности системы не менее 0,999, вероятность безотказной работы в течение 24-х часов эксплуатации не менее 0,998.

Исходные данные для расчета и результаты расчета показателей надежности приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета показателей надежности

Элемент	Количество	Время наработки на отказ T_o , ч	Интенсивность отказов элемента $\lambda_{эл}=1/ч$	Интенсивность отказов группы элементов $\lambda_{гр}=1/ч$	Состояние после отказа
Электросчетчик СЕ208	12	220000	0,00000455	0,00005454	восстанавливается
Электросчетчик СЕ303	5	220000	0,00000455	0,00002275	восстанавливается
Электросчетчик СЕ6850М	1	160000	0,00000625	0,00000625	восстанавливается
УСПД СЕ805М	1	146860	0,00000681	0,00000681	восстанавливается
Трансформатор тока Т-0,66-300/5-0,2S-5ВА	3	262800	0,00000380	0,00001141	Не восстанавливается
Соединения “под винт”	102		0,00000008	0,00000816	восстанавливается
GSM модем	1	75000	0,00001333	0,00001333	восстанавливается
Интенсивность отказов АСКУЭ $\lambda_o=0,00012284$					

Исходя из результатов расчета интенсивности отказов АСКУЭ равной 0.00012284 1/ч среднее время наработки системы до отказа составит $T_0=1/\lambda_0=1/0,00012284=8140$ ч.

Время восстановления системы определяется временем замены отказавшего элемента и составляет около 2-х часов, т.е. $T_B=2$ ч.

Соответственно коэффициент готовности будет равен $k_r=8140/(8140+2)=0,9997$.

Вероятность безотказной работы в течение 24-х часов эксплуатации равна $P(24)=e^{-0,00012284 \cdot 24} = 0,9988$.

Вероятность отказа системы в течение 24-х часов эксплуатации равна $Q(24)=1 - P(24)=1 - 0,9988=0,0012$.

Результаты расчета надежности:

- интенсивность отказов АСКУЭ $\lambda_0=0,00012284$ 1/ ч;
- время средней наработки АСКУЭ до отказа $T_0=8140$ ч;
- вероятность безотказной работы АСКУЭ в течение 24-х часов эксплуатации $P(24)=0,9988$;
- вероятность отказа системы в течение 24-х часов эксплуатации $Q(24)= 0,0012$.

На основе полученных результатов расчета и требований предприятия к надежности АСКУЭ можно сделать следующие выводы:

- уровень надежности системы в основном зависит от надежности электросчетчиков, что объясняется их количеством;
- вероятность безотказной работы и среднее время наработки до отказа удовлетворяют требованиям предприятия.

Выводы по разделу 4: проведенные расчеты показали правильность выбора параметров аппаратных средств, которые обеспечивают необходимую точность учета потребления электроэнергии и высокую эксплуатационную надежность АСКУЭ.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы на базе современного оборудования и технологий была разработана АСКУЭ промышленного предприятия на примере АО «Авиационная электроника и коммуникационные системы».

В процессе выполнения ВКР был проведен анализ структуры предприятия АО «АВЭКС», определены потребители электроэнергии, проведен анализ существующих средств учета электроэнергии, проведен анализ существующих типов АСКУЭ и на его основе выбран наиболее рациональный тип и технические средства для АСКУЭ предприятия.

На основе анализа структуры и расположения потребителей электроэнергии был выбран тип АСКУЭ на основе проводных линий передачи информации с интерфейсом RS485 и RS232. Этот тип связи наиболее подходит для предприятия, т.к. обладает достаточной помехозащищенностью, не требует оплаты за передачу информации, его работоспособность не зависит от операторов связи, требует меньших материальных затрат при эксплуатации.

В ВКР были разработаны: структурная схема АСКУЭ, выбраны технические средства для практической реализации АСКУЭ, разработаны схемы подключения и соединений основных технических средств. Результаты ВКР создали основу для дальнейшей практической реализации монтажа и внедрения АСКУЭ.

В качестве аппаратуры учета потребляемой электроэнергии, передачи показаний счетчиков и обработки информации была выбрана аппаратура АО «ЭНЕРГОМЕРА», позволяющая создать на современном техническом уровне единую связанную систему, обеспечивающую на достаточном уровне полноту и точность обработки информации. Разработанная АСКУЭ соответствует современным требованиям к точности, надежности и удобстве в эксплуатации.

Список используемых источников

1. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ). URL: <http://www.energomera.ru/products/askue> (дата обращения: 10.02.2022).
2. Витая пара. [Электронный ресурс]. URL: ru.wikipedia.org (дата обращения: 10.02.2022).
3. Вострокнутов Н.Н. Устройство, свойства, погрешности и поверка современных счетчиков электрической энергии [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Н. Вострокнутов. Электрон. текстовые данные. М.: Академия стандартизации, метрологии и сертификации, 2016. 108 с.
4. ГОСТ 31819.21-2012. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 21. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2.
5. ГОСТ 31819.22-2012. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 22. Статические счетчики активной энергии классов точности 0,2S и 0,5S.
6. ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия Current transformers. General specifications: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 июня 2016 г. N 674-ст: введен взамен ГОСТ 7746-2001 /разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Ц СВЭП» (ООО «Ц СВЭП») и Открытым акционерным обществом «Свердловский завод трансформаторов тока» (ОАО «СЗТТ»). Москва: Стандартинформ. 2017. 39 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136399> (дата обращения 8.03.2022).
7. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Основные положения.
8. Инструкция по эксплуатации, сайт предприятия по созданию АСКУЭ. URL: <http://www.energomera.ru/products/askue> (дата обращения: 10.02.2022).

9. Каналы связи в системах учета электроэнергии (АСКУЭ). URL: <https://alineaby/> (дата обращения: 10.02.2022).
10. Маряхин Е.В., Канаев Д.Г., Черненко Ю.В. Система мониторинга и прогнозирования потребления электрической энергии // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: V Всероссийская научно-техническая, 2017. № 2. С. 258-263.
11. Об энергосбережении: Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ // Консорциум кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 10.02.2022).
12. Осика Л. К. Промышленные потребители на рынке электроэнергии: Принципы организации деловых отношений. М.: ЭНАС, 2010. 319 с.
13. Основные положения по автоматизации объектов энергообеспечения ПАО «Газпром» – М.: Газ автоматика. 2015. 77 с
14. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.
15. Семёнов Ю.А. Алгоритмы и протоколы каналов и сетей передачи данных: учебное пособие - М.: Издательство БИНОМ, 2010 г. 254 с.
16. Сенько В.В. Автоматизированные системы коммерческого учёта электроэнергии: учеб. пособие / В.В. Сенько. – Изд. 2-е. – Тольятти: ТГУ, 2011. 48 с.
17. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении РД 34.09.101-94 с изменением № 1. М. Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. 48 с.
18. Goldie, Ten Ways to Bulletproof RS-485 Interfaces, National Semiconductor, App note AN-1057, 1996.
19. Gungor V. Wireless Link-Quality Estimation in Smart Grid Environments [Электронный ресурс]: Sage Journals. 2012. URL:

<http://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2012/214068> (дата обращения: 10.02.2022).

20. Robust DataComm, Grounding and RS-422/485 (No Free Lunch!), Robust DataComm, App note 5, 1997.

21. Rojas-Renteria J. An Electrical Energy Consumption Monitoring and Forecasting System [Электронный ресурс]: DOAJ. 2016. URL: <https://doaj.org/article/00b7d02fd8fc420cbb670581d2eb5fd4> (дата обращения: 10.02.2022).

22. Yang H. Power Optimization of Multimode Mobile Embedded Systems with Workload-Delay Dependency [Электронный ресурс]: Hindawi. 2016. URL: <https://www.hindawi.com/journals/misy/2016/2010837> (дата обращения: 10.02.2022).