

На правах рукописи

Москвитин Илья Юрьевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В
СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И
ПРОФИЛАКТИКИ ПОТЕРЬ В СЕКТОРЕ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛЬЯ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и
обработка информации
(технические системы)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2008

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский Государственный радиотехнический университет»

Научный руководитель – заслуженный работник ВШ РФ,
доктор технических наук,
профессор Пылькин Александр
Николаевич
Официальные оппоненты: доктор технических наук,
доцент Антипов Владимир
Анатольевич
доктор технических наук,
профессор Гришин Иван Ивано-
вич

Ведущая организация – Московский государственный университет приборостроения и информатики г. Москва

Защита диссертации состоится 1 октября 2008 г. в 12.00 ч. на заседании диссертационного Совета Д 212.211.01 в ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского Государственного радиотехнического университета

Автореферат разослан «___» _____ 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Пржегорлинский В.Н.

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации. Активная застройка пригодных территорий ведет к резкому росту потребления электроэнергии, увеличению нагрузок на трансформаторные подстанции (ТП) и линии электропередач (ЛЭП). Отсутствие контроля за потреблением электроэнергии, обусловленное экономической неэффективностью используемого технологического процесса, приводит к массовому несанкционированному отбору электроэнергии в распределительных сетях 0,4 кВ.

Потери электроэнергии в частном секторе по официальным данным достигают 33% от общего объема поставок, а с учетом технологических потерь в ЛЭП и ТП низкого напряжения, связанных с нештатной работой оборудования и ветхостью инфраструктуры, – до 50 %. При этом качество электроэнергии часто не соответствует ГОСТ 13109-97.

Сокращение и профилактика потерь электроэнергии в распределительных сетях в первую очередь определяется методами сбора и обработки информации, средствами обнаружения небалансов, достоверностью и оперативностью принятия решений по обнаружению несанкционированного отбора электроэнергии. Эта задача объемная и многосторонняя, ее решение связано с использованием комплексного (системного) анализа проблем энергетики и методов принятия решений. Дополнительная трудность ее решения обуславливается еще и отсутствием четкого описания существующего технологического процесса, без чего невозможно провести детальный анализ предметной области и причин возникновения проблем. Формализация технологического процесса учета электроэнергии позволит внести необходимые дополнения для обеспечения контроля энергоресурсов, обеспечить оперативное реагирование на нештатные ситуации, разработать методику профилактики потерь, связанных с несанкционированным отбором электроэнергии, разработать и внедрить экономически эффективную систему контроля и учета электроэнергии.

Реализация таких мер выведет на новый уровень эффективность работы электросетевых и энергосбытовых компаний за счет сокращения издержек, что должно положительно сказаться на качестве обслуживания потребителей.

Проблемная ситуация определяется необходимостью оперативной регистрации показаний приборов учета (ПУ) абонентов и невозможностью обеспечить достоверность этих показаний; принятием соответствующих решений; юридическими барьерами в применении санкций против нарушителей договоров электроснабжения. Недостоверность показаний не позволяет выявлять нарушителей договоров электроснабжения и применить к ним адекватные меры воздействия.

Целью работы является разработка методов и алгоритмов принятия решений в системах контроля и учета электроэнергии и профилактики

потерь, связанных с технологическим перерасходом и несанкционированным отбором электроэнергии, на основе оперативной регистрации показаний ПУ с обеспечением их достоверности и моделирования потребления электроэнергии абонентами.

Объект исследования – электрическая распределительная сеть 0,4 кВ, имеющая электрическую нагрузку, характерную для потребителей сельских населенных пунктов и коттеджных поселков, и технические устройства, позволяющие регистрировать показания ПУ, обеспечивать их достоверность и принимать обоснованные решения.

Предмет исследования – закономерности потребления электроэнергии абонентами; закономерности распределения тридцатиминутных показаний ПУ и их классификация по способам реализации несанкционированного отбора электроэнергии (НОЭ); способы реализации адресных санкций против нарушителей договоров энергоснабжения на основе оперативного анализа ситуации.

Научные задачи:

1. Провести формализацию технологического процесса учета электроэнергии, применяемого в настоящее время в распределительных сетях. Выявить его недостатки, предложить изменения для их ликвидации.
2. Разработать методику измерения показателей технологических потерь для вычисления точных объемов небалансов по участкам распределительных электрических сетей (РЭС) с обеспечением истинности регистрируемых показаний абонентских приборов учета.
3. Разработать метод выявления нарушителей договоров электроснабжения (НДЭ), основанный на моделировании потребления электроэнергии абонентами и статистической информации за балансные периоды.
4. Разработать алгоритм классификации способа несанкционированного отбора электроэнергии или воздействия на ПУ для обеспечения оперативности принятия ответных мер, не ущемляющих права остальных потребителей.
5. Разработать, испытать и внедрить технические устройства измерения объемов поставок и потребления, контроля электроэнергии, профилактики технологических и антропогенных потерь, соответствующие техническим и экономическим возможностям применения в электрических сетях населенных пунктов индивидуальной застройки.
6. Разработать программные средства поддержки принимаемых решений по контролю и учету электроэнергии для оперативного управления транзитом и поставками энергоресурсов.

Основные результаты, представляемые к защите:

1. Формализованное описание предложенного технологического процесса контроля и учета электроэнергии в распределительных сетях с применением методологии IDEF по стандартам ISO 9001-2000.

2. Методика учета технологических и антропогенных потерь на участках распределительных электрических сетей с определением объемов и временных промежутков несанкционированного отбора электроэнергии.

3. Метод выявления нарушителей договоров электроснабжения, основанный на моделировании потребления электроэнергии и анализе статистических данных по участку распределительных электросетей для расчета объемов небаланса.

4. Алгоритм классификации способов несанкционированного отбора электроэнергии на основе анализа получасовых значений прироста показаний приборов учета, предназначенный для максимально оперативного реагирования на несанкционированный отбор электроэнергии.

5. Программная система нечеткого вывода для автоматизации процесса принятия решения по классификации способов несанкционированного отбора электроэнергии с использованием генетического алгоритма для «тонкой» настройки параметров.

Достоверность результатов, основных выводов и рекомендаций обусловлена экспериментально исследованной достоверностью регистрируемых показаний ПУ, корректной постановкой научной задачи; использованием апробированных **методов** ее решения, таких, как принципы и методы системного анализа, методология IDEF, аппарат математической статистики, теория нечетких множеств, теория генетических алгоритмов, теория реляционных БД, аналитический метод расчета собственных потерь в распределительных сетях 0,4 кВ для ЛЭП и ТП.

Научная новизна и теоретическая значимость:

- реализовано формализованное описание предложенного технологического процесса контроля и учета электроэнергии в распределительных электросетях с применением методологии IDEF;
- разработана эмпирическая методика расчета технологических и антропогенных потерь с обеспечением высокой достоверности и оперативности регистрируемых показаний ПУ;
- разработан алгоритм классификации способов несанкционированного отбора электроэнергии с расчетом объема и временного промежутка совершения несанкционированных действий, основанный на сравнении данных текущего потребления электроэнергии с моделью потребления;
- разработан алгоритм выявления нарушителей договоров электроснабжения на основе анализа статистических данных о потреблении электроэнергии;
- разработана методика принятия решений по классификации способов несанкционированного отбора электроэнергии на основе системы нечеткого вывода с использованием генетического алгоритма для «тонкой» настройки ее параметров.

Практическая значимость работы обусловлена разработанной автоматизированной системой контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ), реализующей предложенный технологический процесс, и обеспечивающей профилактику технологических и антропогенных потерь; оперативное выявление НОЭ и воздействий на ПУ, а так же способов их реализации; применение ответных адресных санкций против НДЭ. Высокая экономическая эффективность АСКУЭ обусловлена сокращением антропогенных потерь до 96% на отдельных участках РЭС и снижением затрат на диагностику оборудования ТП. Это позволяет направлять сэкономленные средства на улучшение качества электроэнергии и обслуживания потребителей.

Апробация и публикации по теме работы.

Результаты теоретических исследований и практических работ по теме диссертации докладывались и обсуждались на 14-й международной НТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» и IV всероссийской НТК «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике», семинарах и заседаниях кафедры вычислительной и прикладной математики РГРТУ.

По результатам исследований и разработок **опубликовано** 14 печатных работ, в том числе 2 в изданиях, включенных в список ВАК. Зарегистрирована разработка «Программная система контроля потребления электроэнергии в секторе индивидуального жилья ЭнергоРегион» в ОФАП № 5951 от 30.03.2006. Поданы документы на регистрацию системы нечеткого вывода для принятия решения о способе несанкционированного отбора электроэнергии.

Внедрение результатов работы. Результаты теоретических и практических исследований использованы в аппаратно-программном комплексе «ЭнергоРегион», испытанном и внедренном на предприятиях Рязанских и Скопинских электрических сетей Рязанской области (акт использования результатов работы от 13.07.2005), а так же в учебном процессе РГРТУ на кафедре вычислительной и прикладной математики в рамках курса «Элементы теории нечетких множеств».

Основное содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 182 стр., включая 42 рисунка, 7 таблиц, библиографический список из 107 наименований, и 10 стр. приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе исследована предметная область. Рассмотрен технологический процесс учета электроэнергии, применяемый в настоя-

щее время в большинстве регионов России, проанализированы его особенности. Проведена классификация потребителей электроэнергии. Приведен обзор существующих систем контроля и учета электроэнергии и их сравнительный анализ по областям применения. Выявлены недостатки существующих АСКУЭ.

Предложен комплексный подход к модернизации применяемого технологического процесса и концепция четырехуровневой АСКУЭ. Обоснована необходимость изменений, которые следует внести в технологический процесс.

Вторая глава структурно состоит из трех параграфов, в первом из которых проведена формализация всех процессов предложенной автором технологии контроля и учета электроэнергии для бытовых потребителей в секторе индивидуального жилья. Во втором параграфе предложены методика и алгоритм выявления небалансов на участках РЭС с указанием на конкретных абонентов, подозреваемых в НОЭ. В третьем параграфе предложена эмпирическая методика измерения точных показателей собственных потерь, приведен сравнительный анализ применяемой в регионах аналитической методики и разработанной эмпирической методики, испытанной и внедренной.

Для формализации информационно-технологических процессов была применена методология IDEF. В общем виде структурно-функциональная схема процессов учета и контроля электроэнергии выглядит так, как показано на рисунке 1.

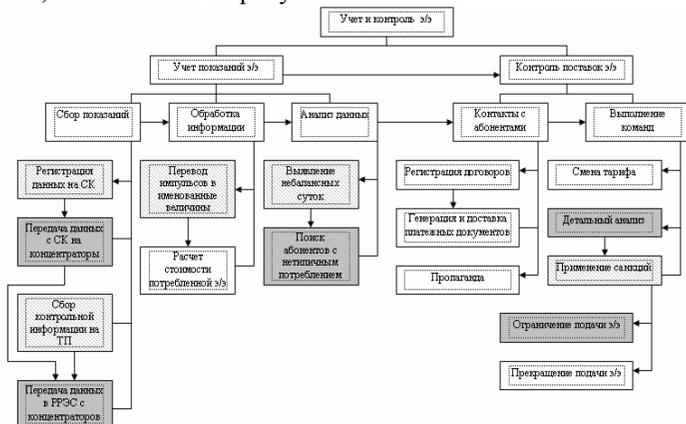


Рисунок 1. Структурно-функциональная схема контроля и учета электроэнергии

Эти процессы делятся на две основные группы. Первая группа включает все, что относится к учету информации: сбор, хранение, обработку, машинный и автоматизированный анализ. Процессы второй группы

обеспечивают контроль за транспортировкой и подачей электроэнергии. Результаты их выполнения могут иметь социальные последствия, и поэтому процессы группы контроля производятся только под управлением человека.

В группу процессов, обеспечивающих решение задач учета электроэнергии, входят блоки сбора, обработки информации и анализа обработанных данных. Результаты работы многих блоков служат исходными данными для следующих. Такая конвейерная схема обработки информации позволяет повысить быстродействие сбора и передачи информации, надежность ее хранения и качество результатов анализа.

Процесс сбора показаний приборов учета включает в себя:

- регистрацию показаний абонентских устройств «счетчик контрольный» (СК);
- длительное хранение показаний в энергонезависимой памяти;
- передачу информации с абонентских устройств СК на концентратор;
- добавление контрольных показаний прибора учета ТП для вычисления небалансов по участку РЭС;
- резервное хранение информации по участку распределительной сети;
- транзит всех перечисленных данных на сервер района РЭС (РРЭС) для последующей обработки.

Рассмотрим подробнее первый функциональный блок.

Регистрация данных на СК подразумевает считывание информации с абонентского прибора учета электроэнергии и сохранение ее на накопителе в формате таблицы базы данных. Этот процесс наглядно представлен на рисунке 2 в виде блочно-функциональной схемы с указанием конкретных элементов и информационных потоков.

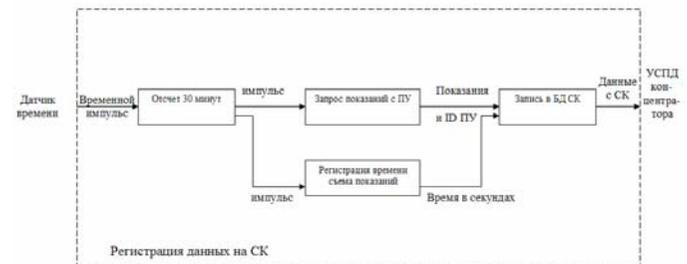


Рисунок 2. Блочная функциональная схема регистрации данных на абонентском устройстве «счетчик контрольный»

Поскольку для оперативного реагирования на различные ситуации и наиболее полного анализа потребления электроэнергии абонентом требуется считывать показания с заданной дискретностью, следует использовать датчик времени, генерирующий команду съема показаний. Ка-

ждые 30 минут датчик времени будет генерировать импульсную команду устройству съема и передачи данных (УСПД) для регистрации текущих показаний прибора учета. Для полноты информации о потреблении вместе с показаниями ПУ в запись БД СК записывается время их регистрации и идентификатор прибора учета. Избыточность информации необходима, т.к. у абонентов может быть более одного ПУ, возможно разных типов (одно- и трехфазный электросчетчики), и каждый из них может соответствовать своему тарифному плану. Каждой новой записи о показаниях ставится в соответствие метка «не передана». Передаваться будет только та информация, которая еще не была успешно передана. Таким образом, на выходе блока регистрации данных СК будет содержаться не переданная информация о показаниях ПУ по каждой из фаз, время съема показаний и идентификатор прибора учета. При невозможности своевременной передачи данных они должны будут сохраняться в БД абонентского устройства длительное время, необходимое для устранения причин отсутствия соединения, а так же чтобы контролер имел возможность произвести считывание непосредственно с СК.

Автоматический анализ вторичной информации о потреблении электроэнергии

Целью первого этапа автоматической обработки информации является поиск расхождений между показателями поставленной и потребленной электроэнергии на величину, превышающую измеренные показатели технологических потерь на исследуемом участке. На втором этапе производится анализ статистической информации о потреблении абонентов. Целью такого анализа служит выявление абонентов, которые нарушают договора электроснабжения. Поиск таких абонентов – задача ресурсоемкая. Ее следует инициировать при выявлении небалансов на первом этапе автоматической обработки.

Входными данными для алгоритма поиска НДЭ служат:

- информация о текущем потреблении всех абонентов исследуемого участка (части или всего населенного пункта, района РЭС);
- истинные показатели технологических потерь электроэнергии на данном участке;
- информация о текущих показаниях поставленной электроэнергии всем абонентам исследуемого участка;
- статистическая информация о потреблении абонентов в те периоды, когда баланс по участку сходился.

В качестве выходных данных выступает информация о расхождениях баланса потребления и поставок электроэнергии. Указываются участки возникновения небалансов, времени несанкционированного отбора электроэнергии, аварийных ситуаций технического либо природного происхождения.

Расчет собственных потерь

Применяемая в большинстве регионов аналитическая (теоретическая) методика расчета потерь собственных нужд базируется на справочных данных. Ее результаты близки к полученным экспериментальным путем лишь на новых участках сети, незначительно подверженных природным и антропогенным воздействиям.

В основе *теоретической методики* расчета лежит величина потерь активной энергии ΔW , которая может быть определена за любой период времени $T_{[v]}$ как произведение потерь активной мощности ΔP , кВт, на время работы сети с данной нагрузкой, что соответствует зависимости:

$$\Delta W = \Delta P \cdot T \quad \text{кВт} \cdot \text{час}.$$

Для расчетов используются показания абонентских приборов учета без обеспечения их достоверности, что изначально ставит результат под сомнение.

Теоретический расчет потерь на действующих участках распределительных сетей предлагается заменить *точным измерением* объемов этих потерь. Для этого требуется знать в любой момент времени точные показания абонентских приборов учета и контрольных счетчиков электроэнергии, установленных на подстанции. Величина технологических потерь ΔW на участке РЭС будет соответствовать зависимости

$$\Delta W = \Delta W_{0(\kappa)} - \sum_{i=1}^{n(\kappa)} \Delta W_{i(\kappa)} \quad \text{кВт} \cdot \text{час},$$

где $\Delta W_{0(\kappa)}$ - прирост показаний контрольного (κ) ПУ, фиксирующего количество отпущенной группе потребителей электроэнергии; $\Delta W_{i(\kappa)}$ - прирост показаний i -го конечного ПУ, входящего в исследуемую группу, и фиксирующего объем потребленной электроэнергии конечным потребителем; $n(\kappa)$ – количество абонентских ПУ, относящихся к данной группе потребителей. Величина ΔW характеризует суммарные технологические потери участка РЭС, как в линиях электропередач, так и в оборудовании ТП и фискальных устройств.

Для практической реализации методики расчета реальных собственных потерь на участке РЭС следует собрать контрольно-измерительную систему, включающую в себя приборы учета и средства автоматического съема, передачи и хранения информации о потреблении электроэнергии через заданные промежутки времени.

На схеме, представленной на рисунке 3, показаны три контрольных прибора учета: ПУ-м – счетчик электрический, показывающий объем электроэнергии, поставленный всему участку РЭС с магистрали на текущий момент; ПУ-ф1 и ПУ-ф2 – электросчетчики, измеряющие объемы электроэнергии, поставленной абонентам по соответствующему фидеру на

текущий момент. ПУ-а1- i , $i=1, n$ и ПУ-а2- j , $j=1, m$ – дополнительные приборы учета показаний потребления конкретных абонентов.

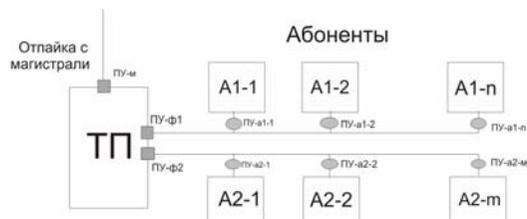


Рисунок 3. Схема исследуемого участка РЭС и места размещения контрольных измерительных приборов
Технологические потери оборудования ТП:

$$\Delta W_{mp} = \Delta W_m - \sum_{j=1}^m \Delta W_{\phi(j)},$$

где ΔW_{mp} – потери собственных нужд оборудования ТП; ΔW_m – объем поставленной электроэнергии участку на вход ТП; $\Delta W_{\phi(j)}$ – прирост показаний приборов учета, установленных на j -м фидере в точке выхода с ТП; m – число фидеров, запитанных от данной ТП.

Общие потери на участке РЭС:

$$\Delta W = \Delta W_m - (\Delta W_{mp} + \Delta W_l) - \Delta W_{абон},$$

где ΔW_m – объем поставленной электроэнергии участку на вход ТП; ΔW_{mp} – объем потерь собственных нужд оборудования ТП; ΔW_l – потери энергии, затраченные на доставку ее потребителям; $\Delta W_{абон}$ – общее потребление абонентов участка РЭС (сумма приростов показаний всех абонентских ПУ). Значение ΔW_l за учетный период вычисляется на основе измерений показаний контрольных и абонентских ПУ по формуле:

$$\Delta W_l = \sum_{j=1}^m \left(\Delta W_{\phi(j)} - \sum_{i=1}^{n(j)} \Delta W_{аб(j,i)} \right),$$

где $\Delta W_{аб(j,i)}$ – прирост показаний i -го абонента j -го фидера ТП; $n(j)$ – число абонентов, запитанных от j -го фидера.

По результатам экспериментального внедрения были получены количественные показатели собственных потерь, связанных с некачественной работой оборудования ТП. Аналитически рассчитанный объем технологических потерь на участке РЭС за летний период оказался значительно меньше измеренного эмпирическим способом. Это обусловлено несопадением паспортных данных трансформаторов о потреблении на собственные нужды с реальным, более высоким. Это позволило выяснить

причины нештатной работы оборудования, что стало поводом для проведения ремонтных работ.

На этапе внедрения в Милославском районе Рязанской области был проведен эксперимент, результаты которого представлены на рисунке 4. Целью эксперимента стало вычисление объема несанкционированно отобранной электроэнергии. Штриховкой показаны объемы потребления электроэнергии всеми абонентами по неделям. Данные соответствуют показаниям приборов учета. Сплошной заливкой показаны объемы недельных поставок электроэнергии этим абонентам за вычетом потерь собственных нужд. Таким образом, удалось выявить факты несанкционированного отбора электроэнергии. Дальнейший анализ информации позволил выявить трех абонентов-нарушителей, и привлечь их к административной ответственности с возмещением стоимости отобранной электроэнергии.

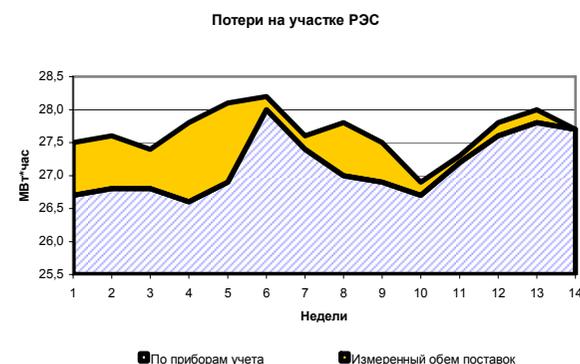


Рисунок 4. Выявленные потери, связанные с несанкционированным отбором электроэнергии

Эмпирическая методика лежит в основе более сложной методики профилактики потерь, связанных с несанкционированным потреблением электроэнергии в различных участках РЭС, и может быть эффективно применена при проектировании процедуры машинного анализа комплекса АСКУЭ, обеспечивая точные измерения собственных потерь на различных участках РЭС, контроль за состоянием оборудования ТП и ЛЭП.

Третья глава содержит описание методики определения способа реализации НОЭ. Выявлены и классифицированы наиболее распространенные способы НОЭ:

- замедление работы ПУ;
- «скрутка» электросчетчика;
- полное включение всей сети в обход ПУ;
- частичное включение сети в обход ПУ.

Для каждого способа определена реакция автоматизированной системы.

Для примера приведем лишь один вариант, показанный на рисунке 5. Расхождение показаний, связанное с искусственным замедлением работы прибора учета, соответствует полученной зависимости:

$$KC_{j,i}(t) - \varepsilon \leq Avg(KC_{j,i}(t)) \leq KC_{j,i}(t) + \varepsilon, \quad t \in a, \text{ и}$$

$$KC_{j,i}(t) - \varepsilon \leq Avg(KC_{j,i}(t)) \cdot k \leq KC_{j,i}(t) + \varepsilon, \quad t \in b,$$

при допустимой погрешности вычислений $\varepsilon = KC_{j,i}(сум) \cdot \lambda_{j,i}$, где коэффициент k имеет постоянное значение (в примере – 0,7) для всех получасовых интервалов, принадлежащих большему интервалу b ; a и b – интервалы времени, для которых равенство выполняется; $KC_{j,i}(сум)$ – суточный прирост показаний ПУ i -го абонента, присоединенного к j -му концентратору; $\lambda_{j,i}$ – допустимое отклонение показаний абонента от его «нормы» – смоделированного значения (устанавливается экспертом на основе статистических данных о потреблении за балансные периоды и технических характеристик ПУ абонента), редко превышает 5%, в среднем – 1-2,5%.

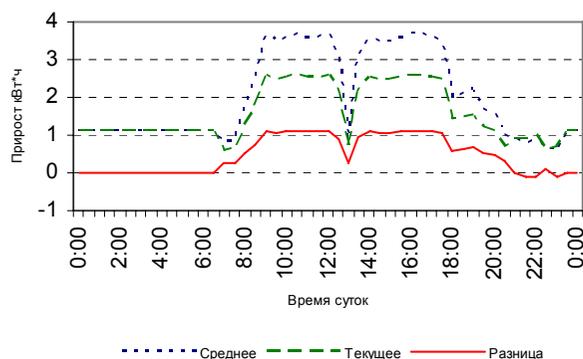


Рисунок 5. Временное процентное отклонение (Замедление работы ПУ)

Информация о способе НОЭ позволяет в оперативном режиме принять ответные меры, вплоть до дистанционного ограничения подачи электроэнергии абоненту, либо полного прекращения электроснабжения на время, достаточное для прибытия оперативной бригады. Благодаря таким возможностям за первый квартал 2005 года в поселке Грачи Рязанского района Рязанской области были пресечены 67 попыток НОЭ, из них 53 – способом замедления работы ПУ.

Алгоритм выявления НДЭ базируется на экспертных оценках допустимых погрешностей для участка в целом и для конкретных абонентов. Для корректной установки таких оценок требуется накопить статистическую информацию поставок и потребления электроэнергии по участку РЭС минимум за месяц, т.к. под воздействием различных (в основном

природных) влияющих факторов усредненные показания, подобранные по нескольким параметрам, не всегда будут соответствовать текущим показаниям абонента. Неизбежно так же влияние человеческого фактора.

В четвертой главе предложено применить систему нечеткого вывода на основе алгоритма Сугено, для снижения влияния человеческого фактора и автоматизации наибольшего числа технологических процессов. Для «тонкой» настройки параметров системы нечеткого вывода предложено использовать генетический алгоритм.

Контроль и классификация способов несанкционированного отбора электроэнергии выполняется по двум параметрам: «Среднее» (потребление электроэнергии), «Текущее» (потребление электроэнергии). При разработке базы знаний в соответствии с методикой классификации способов несанкционированного отбора электроэнергии, были приняты следующие обозначения классов:

- «Класс 1: Норма»;
- «Класс 2: Магнит»;
- «Класс 3: Частичный обход»;
- «Класс 4: Обход»;
- «Класс 5: Скрутка».

Для принятия решения о классификации способов несанкционированного отбора электроэнергии была разработана система нечеткого вывода, содержащая 15 правил нечеткого вывода с входными лингвистическими переменными «Среднее» и «Текущее» (потребление электроэнергии), на основе алгоритма Сугено с соответствующей нечеткой базой знаний (таблица 1). При этом элементы antecedентов лингвистических правил <ЕСЛИ-ТО> связаны логической операцией «И». Выбор алгоритма Сугено объясняется тем, что системы нечеткого вывода на основе этого алгоритма более легко настраиваются.

Таблица 1. Правила нечеткого вывода

«Среднее»	«Текущее»	Решение о классификации
-	«Очень высокое»	«Класс 1: Норма»
«Высокое»	«Высокое»	«Класс 1: Норма»
«Среднее»	«Среднее»	«Класс 1: Норма»
«Малое»	«Малое»	«Класс 1: Норма»
«Очень малое»	«Очень малое»	«Класс 1: Норма»
«Очень высокое»	«Высокое»	«Класс 2: Магнит»
«Высокое»	«Среднее»	«Класс 2: Магнит»
«Среднее»	«Малое»	«Класс 2: Магнит»
«Малое»	«Очень малое»	«Класс 2: Магнит»
«Очень высокое»	«Среднее»	«Класс 3: Частичный обход»
«Высокое»	«Малое»	«Класс 3: Частичный обход»
«Среднее»	«Очень малое»	«Класс 3: Частичный обход»
«Очень высокое»	«Очень малое»	«Класс 4: Обход»
«Высокое»	«Очень малое»	«Класс 4: Обход»
-	«Отрицательное»	«Класс 5: Скрутка»

Для всех термов входных лингвистических переменных «Среднее» и «Текущее» (за исключением значения «Отрицательное» лингвистической переменной «Текущее») были заданы гауссовские функции принадлежности:

$$f(x; b, c) = e^{-(x-b)^2/c^2},$$

где c – показатель нечеткости параметра (коэффициент концентрации) x относительно центра максимума b .

Для значения «Отрицательное» лингвистической переменной «Текущее» была использована функция принадлежности вида:

$$f(x; b, c) = \begin{cases} 1, & \text{при } x < 0 \\ e^{-(x-b)^2/c^2}, & \text{при } x \geq 0 \end{cases}$$

Выбор гауссовских функций принадлежности объясняется наличием только двух параметров, что позволит значительно сократить время «тонкой» настройки системы нечеткого вывода на основе генетического алгоритма, если таковая будет выполняться.

Система нечеткого вывода реализована в пакете Fuzzy Logic Toolbox среды MATLAB 7.0 в виде *fis*-файла **ElectroGaussMf.fis**, описывающего структуру систем нечеткого вывода.

Решение по классификации способов несанкционированного отбора электроэнергии принимается по формуле:

$$Class = \text{round}(F(X^*, W, B, C)),$$

где $F(X, W, B, C)$ – модель, соответствующая системе нечеткого вывода; $X^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ – входной вектор системы нечеткого вывода, n – количество входных параметров.

На основе обучающей выборки вычисляется значение суммарной невязки по формуле:

$$J = -\sum_{l=1}^M [F(X^l, W, B, C) - y^l]^2,$$

где $y = F(X, W, B, C)$ – модель, соответствующая системе нечеткого вывода; $X^l = (x_1^l, \dots, x_n^l)$ и y^l – входной вектор и соответствующее значение выходной переменной y для l -й пары «вход-выход»; $W = (w_1, \dots, w_N)$ – вектор весов правил из нечеткой базы знаний, $B = (b_1, \dots, b_q)$ и $C = (c_1, \dots, c_q)$ – векторы параметров настройки гауссовских функций принадлежности; N – количество правил в нечеткой базе знаний; q – общее количество термов; M – количество строк экспериментальных данных.

Указанная формула определяет, насколько точно модель $y = F(X, W, B, C)$ аппроксимирует обучающую выборку.

Также по формуле:

$$WholeClassDecision = \sum_{i=1}^M \text{abs}(y^i - \text{round}(F(X^i, W, B, C)))$$

вычисляется суммарная ошибка классификации (суммарное отклонение) по оценке принадлежности к классам на основе обучающей выборке.

Для получения более точных результатов работы по выявлению факта и способа НОЭ с помощью системы нечеткого вывода, ее следует «тонко» настроить, используя какой-либо оптимизационный алгоритм. В качестве такого алгоритма был выбран генетический алгоритм, обеспечивающий поиск глобального, а не локального минимума целевой функции.

С его помощью были настроены параметры функций принадлежности термов входных лингвистических переменных системы нечеткого вывода. На рисунке 6 приведены поверхности нечеткого вывода до и после выполнения «тонкой» настройки.

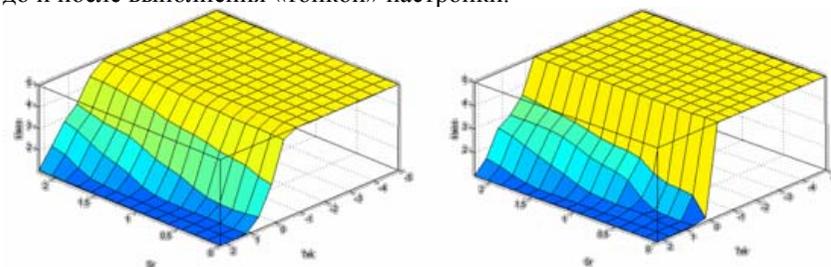


Рисунок 6. Поверхность системы нечеткого вывода до (слева) и после (справа) настройки.

При проведении испытаний на обучающих примерах настроенная система нечеткого вывода показала более точные, чем до настройки, результаты в 2% случаев.

Для каждого абонента может быть построена и «тонко» настроена своя система нечеткого вывода для принятия решения о факте и способе НОЭ на основе текущих и средних показаний потребления электроэнергии. Это позволит выполнять контроль за электроэнергией в полностью автоматическом режиме и минимизировать влияние человеческого фактора.

В пятой главе работы показана модульная структура АСКУЭ, разработанная на основе четырехуровневой концептуальной модели. Построенная и внедренная на предприятиях Рязанских и Скопинских электрических сетей система реализует предложенный автором технологический процесс. Подробно описана аппаратная составляющая аппаратно-программного комплекса «Энергорегион», включившего в себя все теоретические и практические результаты научной работы.

Показаны связи между компонентами системы, взаимодействие и направление информационных потоков. Реализован механизм выполнения считывающих и управляющих команд, показана схема взаимодействия

программных средств и аппаратных абонентских и контрольных устройств.

Самыми массовыми и сложными компонентами АСКУЭ являются блоки «последней мили» – абонентские устройства «счетчик контрольный» и концентратор. В работе показана структурная схема абонентского устройства, состоящего из пары разнофункциональных полуккомплектов. Экспериментально доказано, что такая структура обеспечивает как истинность регистрируемых показаний и защиту ПУ, так и соблюдает права абонента на получение информации о своем текущем потреблении в любой момент времени.

Концентратор, составляющий второй уровень АСКУЭ, обеспечивает сбор информации от абонентских устройств, сбор контрольной информации и трансляцию или обработку считывающих и управляющих команд.

В ходе испытаний при тестовом внедрении системы доказана необходимость дублирования каналов связи и защиты конечного оборудования для обеспечения надежности системы и оперативности получения и обработки информации. Защита каналов связи и аппаратных модулей была реализована в АСКУЭ и по результатам внедрения признана экспертами ОАО «Рязаньэнерго» эффективной. Разработанное в ходе диссертационной работы оборудование проходит стадию сертификационных испытаний. Получен акт внедрения (от 13.07.2005) результатов исследований в работе филиалов ОАО «Рязаньэнерго».

Шестая глава раскрывает программные средства аппаратно-программного комплекса контроля и учета электроэнергии. Представлена общая архитектура программной части «ЭнергоРегион».

В этой главе представлены функциональные элементы БД компонент абонентских блоков ПУ и концентраторов. Даны пояснения по алгоритмам передачи информации между уровнями АСКУЭ.

Показана архитектура программных модулей бизнес-логики, их взаимодействие между собой, БД района РЭС и с АРМ операторов, контролеров-аналитиков и диспетчеров. Определены и реализованы программные классы и их методы, обеспечивающие функциональность АРМ и бизнес-логики сервера района РЭС. Программные средства зарегистрированы в ОФАП (свидетельство № 5951 «Программная система контроля потребления электроэнергии в секторе индивидуального жилья ЭнергоРегион» от 30.03.2006).

Основные результаты работы

1. Проведена формализация технологического процесса учета электроэнергии. Предложены изменения и добавлен новый функционал в при-

меняемый процесс для обеспечения оперативного контроля за электроэнергией и профилактики технологических и антропогенных потерь.

2. Спроектирована концептуальная четырехуровневая АСКУЭ, способная реализовать усовершенствованный технологический процесс контроля и учета электроэнергии. На основе этой концепции в Рязанских и Скопинских электрических сетях построена, успешно испытана и внедрена автоматизированная информационно-измерительная система контроля и учета электроэнергии, предназначенная для сокращения и профилактики потерь электроэнергии технического и антропогенного характера.

3. Разработана эмпирическая методика измерения точных объемов технологических и антропогенных потерь на участках РЭС, не зависящая от состояния ЛЭП и оборудования ТП, а так же от характеристик абонентских ПУ. Методика успешно испытана и принята к использованию в филиалах ОАО «Рязаньэнерго».

4. Разработан алгоритм выявления нарушителей договоров электроснабжения, основанный на моделировании их потребления и экспертных оценках допустимых отклонений (получаемых по результатам измерений).

5. Разработана система нечеткого вывода на базе алгоритма Сугено для классификации способа несанкционированного отбора электроэнергии в автоматическом режиме, не зависящая от экспертных оценок и человеческого фактора. Для «тонкой» настройки параметров системы нечеткого вывода использован генетический алгоритм.

Публикации по теме диссертации

В рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Москвитин И.Ю., Пылькин А.Н. Расчет собственных потерь на участках распределительных электрических сетей // «Вестник РГРТА» Вып. 19. – Рязань, 2006. С.117-120.

2. Москвитин И.Ю., Пылькин А.Н. К решению проблемы защиты контрольных устройств от антропогенных воздействий // «Известия Тульского ГУ» Вып. 3. Системы управления. Том 2. – ТулГУ, 2006. С.89-91.

Печатные работы в других изданиях

3. Москвитин И.Ю., Коричнев Л.П. Варианты связи ключевых узлов многоуровневой системы контроля и учета потребления электроэнергии в условиях частного жилого сектора и сельской местности. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. РГРТА. – Рязань, 2004. С.49-51.

4. Москвитин И.Ю. Проблемы построения централизованной системы контроля и учета потребления электроэнергии. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. РГРТА. – Рязань, 2004. С.51-53.

5. Москвитин И.Ю. Решение проблемы «последней мили» в АСКУЭ в секторе индивидуального жилья. IV Всероссийская НТК «Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике». Сборник статей. – Пенза, 2004. – С.163-165.

6. Москвитин И.Ю. Преимущества использования мобильного дисплея в АСКУЭ. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. РГРТА. – Рязань, 2005. С.154-156.

7. Москвитин И.Ю. Концептуальная АСКУЭ в ЖКХ. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. РГРТА. – Рязань, 2005. С.156-158.

8. Москвитин И.Ю. Методика выявления недобросовестного абонента на основе статистических данных. 14-я международная НТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Материалы конференции. Рязань, 2005. С.34-35.

9. Москвитин И.Ю. Экспериментальное внедрение АСКУЭ в секторе индивидуального жилья рязанской области. 14-я международная НТК «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Материалы конференции. Рязань, 2005. С.35-36.

10. Москвитин И.Ю. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 5951 «Программная система контроля потребления электроэнергии в секторе индивидуального жилья ЭнергоРегион» от 30 марта 2006 года. // Инновации в науке и образовании. Телеграф отраслевого фонда алгоритмов и программ. 2006. – №3 (14). С.34.

11. Москвитин И.Ю. АСКУЭ для регионов. Целесообразность, значимость, проблемы. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем. РГРТУ. – Рязань, 2007. С.62-66.

12. Москвитин И.Ю. Семантика работы аналитического блока АСКУЭ. «Информационные технологии и телекоммуникации в образовании и науке». Межвузовский сборник научных трудов. РГРТА. – Рязань, 2006. С.61-66.

13. Москвитин И.Ю. Информационно-измерительная система учета технологических потерь в подстанциях и сетях низкого напряжения. Инженерно инновационный журнал «Перспективные проекты и технологии», выпуск 2, Рязань, 2007, с.77 – 80.

14. Москвитин И.Ю., Демидова Л.А. Разработка и настройка системы нечеткого вывода для классификации способа отбора электроэнергии на основе генетического алгоритма. 33-я Всероссийская НТК «Системы связи и телекоммуникации». Материалы конференции в двух частях. Часть 1. РВВКУС, РГРТУ. – Рязань, 2008. С.31-33.

Москвитин Илья Юрьевич

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПРОФИЛАКТИКИ ПОТЕРЬ В СЕКТОРЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛЬЯ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 23.06.2008г. Формат бумаги 60x80 1/16.
Бумага офисная. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,0.
Уч.-изд. л. 1.0. Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский центр
ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет»
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.