**УДК 621.31**

**СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ИНСТРУМЕНТА С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДАННЫХ**

Тюрюшова Евгения Романовна

Алатырский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Алатырь

**CREATION OF A SOFTWARE TOOL WITH ELEMENTS OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR DATA FORECASTING**

Tyuryushova Evgeniya Romanovna

Alatyr branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Chuvash State University named after I. N. Ulyanov», Alatyr

e-mail: evgenia.kleopatra@yandex.ru, 89373792148

**АННОТАЦИЯ**

В статье предложены программные методы повышения достоверности показаний счетчиков электроэнергии, основанные на использовании алгоритмов нейронных сетей и позволяющие обнаружить места несоответствий коммерческих данных показаний электросчетчиков, что позволит уменьшить коммерческую составляющую потерь электроэнергии. Выполнен проверочный расчет нейронной сети на предмет возможных потерь электроэнергии и высказаны соображения по противодействию им.

**ANNOTATION**

The article proposes software methods for increasing the reliability of electricity meter readings based on the use of neural network algorithms and allowing to detect inconsistencies in commercial data of electricity meter readings, which will reduce the commercial component of electricity losses. A verification calculation of the neural network was performed for possible power losses and suggestions were made to counteract them.

**Ключевые слова:** признак обеспечения корректности учета электроэнергии, искусственные нейронные сети, мгновенное состояние прибора учета электроэнергии.

#

# Введение

Электрическая энергия является единственным видом продукции, для перемещения которого от мест производства до мест потребления не используются другие ресурсы. Для этого расходуется часть самой передаваемой электроэнергии, поэтому ее потери неизбежны, задача состоит в определении их экономически обоснованного уровня. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях до этого уровня - одно из важных направлений энергосбережения [1].

В течение всего периода с 1991 г. по 2022 г. суммарные потери в энергосистемах России росли и в абсолютном значении, и в процентах отпуска электроэнергии в сеть.

Рост потерь энергии в электрических сетях определен действием вполне объективных закономерностей в развитии всей энергетики в целом. Основными из них являются: тенденция к концентрации производства электроэнергии на крупных электростанциях; непрерывный рост нагрузок электрических сетей, связанный с естественным ростом нагрузок потребителей и отставанием темпов прироста пропускной способности сети от темпов прироста потребления электроэнергии и генерирующих мощностей.

В связи с развитием рыночных отношений в стране значимость проблемы потерь электроэнергии существенно возросла. Разработка методов расчета, анализа потерь электроэнергии и выбора экономически обоснованных мероприятий по их снижению ведется во ВНИИЭ уже более 30 лет.

Методология определения нормативов потерь еще не установилась. Не определены даже принципы нормирования. Мнения о подходе к нормированию лежат в широком диапазоне - от желания иметь установленный твердый норматив в виде процента потерь до контроля за "нормальными" потерями с помощью постоянно проводимых расчетов по схемам сетей с использованием соответствующего программного обеспечения.

По полученным нормам потерь электроэнергии устанавливаются тарифы на электроэнергию. Регулирование тарифов возлагается на государственные регулирующие органы ФЭК и РЭК (федеральную и региональные энергетические комиссии). Энергоснабжающие организации должны обосновывать уровень потерь электроэнергии, который они считают целесообразным включить в тариф, а энергетические комиссии - анализировать эти обоснования и принимать или корректировать их [2].

В связи с необходимостью уменьшения роста потерь электроэнергии, правительством РФ постоянно разрабатываются различные мероприятия по приведению учета электроэнергии к максимально точному. На неточность учета электроэнергии влияет величина искажения данных приборов учета электроэнергии, формируемых на основе осуществления платежей за электроэнергию. Выявляется проблема достоверного определения реальных объемов потребления электроэнергии путем сравнения показаний приборов учета электроэнергии, полученных в результате оплаты за нее, и показаний приборов учета электроэнергии, зафиксированных непосредственно у потребителя в рамках проведения контрольной проверки средств учета элеткроэнергии.

На основании вышесказанного была определена **цель работы**: разработка оригинальной математической модели нейронной сети, алгоритма работы и программного средства, позволяющего анализировать и прогнозировать ситуацию с большими данными, которые получены в распределительных сетевых компаниях и энергосбытовых компаниях, для выявления аномальных значений и их устранения.

**Объектом исследования** являются аналитические агентства, предприятия электрических сетей и энергосбытовые компании, основной задачей которых является транспортировка электроэнергии потребителям.

**Предметом исследования** является процесс автоматизированной выборки лицевых счетов потребителей электроэнергии и их проверка на предмет соответствия определённым критериям определения расхождений в показаниях данных.

В данной статье рассмотрена проблема доначисления показаний приборов учета электроэнергии, полученных в результате сверки данных путем их анализа и предсказания аномалий, что и определяет **её** **актуальность**.

Для создания программного инструмента были рассмотрены и изучены возможности языка программирования С.

# 1. Обзор программных средств автоматизации определения расхода электроэнергии по отраслям электроэнергетических предприятий

Основной целью учета электроэнергии является получение достоверной информации о количестве производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии на оптовом рынке ЕЭС России и розничном рынке электропотребления. Правильная организация учета электроэнергии важна потому, что ее производство, передача распределение и потребление практически совпадает во времени и допущенная ошибка в учете электроэнергии не подается исправлению методом повторного измерения. Именно поэтому все установки, вырабатывающие передающие, распределяющие и потребляющие электроэнергию оборудуются соответствующими приборами учета.

Учет электроэнергии может быть предназначен:

1) для определения технико-экономических показателей работы энергосистемы и потребителей;

2) для расчетов потребителей с энергоснабжающей организацией за потребленную электроэнергию и смежных энергосистем за перетоки энергии;

3) для контроля расхода электроэнергии внутри электроустановки потребителя.

Для определения технико-экономических показателей системы следует учитывать:

- выработку электроэнергии на электростанциях энергосистемы; с этой целью счетчики устанавливаются для каждого генератора;

- потребление электроэнергии на собственные нужды электростанций и подстанций сетевых предприятий; для этих целей счетчики устанавливаются на всех трансформаторах собственных нужд;

- расход электроэнергии на хозяйственные нужды, для чего счетчики устанавливаются на каждом присоединении нагрузки хозяйственных нужд к распределительному устройству собственных нужд электростанций или подстанций сетевых предприятий;

- перетоки электроэнергии по межсистемным линиям электропередачи; при этом требуется устанавливать по два счетчика со стопорами на обеих концах линии, причем счетчики должны быть одного класса точности;

- отпуск потребителям электроэнергии потребителям энергосистемы (полезный отпуск); для учета полезного отпуска электроэнергии счетчики устанавливаются в начале и конце каждой присоединенной линии электропередач в зависимости от балансовой принадлежности и на каждой тарифиоционной группе электроприемников.

К данному виду учета предъявляются повышенные требования. Особенно большие требования предъявляются к электросчетчикам, по которым учитывается выработка и перетоки электроэнергии. При больших количествах проходящих через такой счетчик энергии резко возрастает абсолютное значение электроэнергии, приходящейся на соответствующую долю погрешности счетчика.

Для определения объемов электроэнергии со смешенной группой учета, в простом понимании слова: составление баланса электроэнергии по уровню 0,4 кВ и определение расхождений в данных сетевой и сбытовой энергокомпаний, планируется использование программное решение, автоматизирующие процесс определения расхода электроэнергии по потребителям и составлению балансов электроэнергии, созданное нами. Самостоятельно создать полноценное приложение автоматизации в настоящее время для нас оказалось не простой задачей. Для этого необходимо понимать все бизнес-процессы, протекающие на предприятии и иметь команду единомышленников. В связи с тем, что доля проникновения в структуру электросетевого предприятия для нас является малой, начнем также с малого – создавать отдельную программу – дополнение к имеющейся корпоративной системе учета электроэнергии «Омнис», способную произвести аккумулирование (сложение) потребления электроэнергии. В качестве ограниченной области выберем отдельную службу предприятия, в нашем случае – это служба реализации услуг по передаче электроэнергии МУП «Алатырские городские электрические сети». В дальнейшем, если наша разработка понравится руководству предприятия электросетей, мы сможем инициировать продолжение развития программного средства определения расхода электроэнергии на центрах питания 0,4 кВ и определения расхождений коммерческих данных о потреблении электроэнергии, но уже в составе некой общей корпоративной информационной системы.

Напомним, что корпоративная информационная система (далее - КИС) - это совокупность систем и способов управления бизнес-процессами предприятия, позволяющая увязывать функции отдельных подразделений с движением финансовых и товарных потоков по всей технологической цепочке управленческих процедур. Основными особенностями КИС считаются комплексность охвата функций управления, повышенная упорядоченность деловых процессов, возможность локальной установки и внедрения отдельных частей системы, адаптивность ее функциональной и инструментальной структуры, возможность развития после ее внедрения. Другими словами, КИС - это информационная система масштаба предприятия, главной задачей которой является информационная поддержка производственных, административных и управленческих процессов (бизнес-процессов). Будем считать, что наш программный продукт – это лишь некоторая часть КИС электросетевого предприятия, которую нам под силу было создать и внедрить в работу.

Во введении было сказано, что целью данной дипломной работы является создание программного средства, способного вести расчет совокупного потребления электроэнергии на присоединениях 0,4 кВ и 10 кВ и несоответствия коммерческих данных потребления. Выбор в пользу автоматизации данного бизнес-процесса был сделан нами не случайно, поскольку сведения о потреблении электроэнергии на рассматриваемых центрах питаниях могут помочь в определении участков электросетевого хозяйства, на которых имеются большие коммерческие потери электроэнергии. Для данного определения программным способом станет формирование баланса электроэнергии по уровню 0,4 кВ.

Ясное представление об участках электросетей с наивысшими коммерческими потерями способно привести к организации мер по их снижению и соответственно к улучшению экономических показателей предприятия.

Ранее говорилось, что доля участников рынка электроэнергии физических и юридических лиц одного сетевого предприятия достаточно велика. Назревает проблема, каким образом можно узнать потребление электроэнергии в разрезе района электрических сетей. Для справки можно привести некоторые цифры: в зоне ответственности Алатырского ПО филиала ПАО «МРСК-Волги» - «Чувашэнерго» сосредоточено порядка 1750 юридических точек поставки электроэнергии, 28000 точек поставки по физическим лицам. В разрезе района электрических сетей (далее – РЭС) сосредоточено порядка 170 трансформаторных подстанций (далее – ТП). Если учесть, что Алатырское ПО охватывает четыре РЭС, то количество ТП – составляет порядка 650 шт. Отследить потребление в ручном режиме на каждом таком центре питания очевидно каждому – достаточно затруднительно.

Автоматизация деятельности энергетических компаний, как правило, производится, опираясь на разработанную и сконструированную из различных частей концепцию автоматизации предприятия. Такого рода концепция может родиться исключительно благодаря работе по выявлению целей и задач автоматизации для каждого подразделения предприятия. При этом особое внимание должно уделяться потокам информации, которые формируются в результате работы различных служб предприятия. Когда выявлены эти потоки, намного легче создать то главное, ради чего описывается концепция автоматизации любого предприятия вообще и энергетического предприятия в частности.

Результатом организационных и технических мероприятий, описанных в Концепции - должна стать Корпоративная информационная система (КИС). В энергетических компаниях КИС – это набор связанных или не связанных программных приложений и баз данных, которые обеспечивают электронный документооборот, автоматизацию элементов бизнес-процесса, элементы автоматизированной системы, связь и обмен данными со смежными предприятиями, отображение технологических объектов на ГИС и расчетные и учётные операции, сопровождающие производственный процесс.

Какие приложения должны входить в состав КИС энергетических предприятий различной направленности?

**Для генерирующих компаний**

* Офисные пакеты;
* Программы для расчета технико – экономических показателей работы оборудования электростанций;
* Бухгалтерские программы;
* Программы для управления персоналом и для расчёта зарплаты;
* Программы для реализации электроэнергии на оптовом рынке (ОРЭМ);
* Автоматизация системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) оборудования.

**Для энергосетевых компаний**

* Офисные пакеты;
* Автоматизация системы ППР сетевого оборудования;
* Программы для расчета технико – экономических показателей работы оборудования сетей;
* Бухгалтерские программы;
* Программы для управления персоналом и для расчёта зарплаты;
* Программы для автоматизации начисления оплаты за транспорт электроэнергии;
* Программы для расчета и защиты потерь;
* Программы для автоматизации бизнес – процесса по техприсоединению к электросетям;
* Программы для удалённого управления сетями, телемеханики и диспетчеризации;
* Программы спутникового мониторинга и информационного управления автопарком;
* Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учёта электроэнергии.

**Для энергосбытовых компаний**

* Офисные пакеты;
* Бухгалтерские программы;
* Программы для управления персоналом и для расчёта зарплаты;
* Программы для автоматизации начисления оплаты за потреблённую электроэнергию;
* Программное обеспечение для автоматизации паспортизации оборудования;
* Программы для закупочной деятельности на ОРЭМ;
* Программы автоматизированного документооборота;
* Программные комплексы для взаимодействия с абонентами;
* Программы сбора и обработки данных автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии.

**Для промышленных потребителей**

* Офисные пакеты;
* Бухгалтерские программы;
* Программы для управления персоналом и для расчёта зарплаты;
* Автоматизация системы ППР электрооборудования и энергосетевого комплекса;
* Программное обеспечение для расчёта стоимости потреблённой электроэнергии (если предприятие закупает электроэнергию на розничном рынке) или для автоматизации закупки электроэнергии на оптовом рынке (если предприятие выведено на ОРЭМ);
* Программное обеспечение по осуществлению расчетов за электроэнергию с субабонентами;
* Программы сбора и обработки данных автоматизированных систем коммерческого учёта электроэнергии.

# 2. Алгоритм работы программного инструмента

Немаловажным фактором качественного решения задачи определения достоверности учета электроэнергии, является точность расчетной модели, отражающей текущее состояние режима работы узла учета комплекса многопараметрического учета распределенного энергопотребления в виде вектора измеряемых переменных учета .

Полагается, что измерения  содержат аддитивные случайные погрешности 



имеющие нормальный закон распределения и нулевое математическое ожидание.

Кроме этого, при многопараметрическом измерении электрической энергии, не исключено возникновение грубых ошибок, существенно превышающих Δe. Обнаружить «плохие данные», являющиеся маркерами неисправных режимов работы узлов учета комплекса многопараметрического учета распределенного энергопотребления, можно за счет обеспечения избыточности измерений текущего состояния режима работы узла учета энергопотребления с дальнейшей статистической обработкой измерительной информации. Стоит отметить некоторые современные и более ранние публикации, в которых рассматривалось применение искусственных нейронных сетей для обнаружения «плохих данных» в измерениях [5].

 Очевидными преимуществами нейронных сетей в данном случае являются [6]: слабая чувствительность к шуму и пропускам в данных, параллельная обработка данных высокой размерности, использование «обучения» взамен трудоемких алгоритмов. Искусственные нейронные сети могут эффективно идентифицировать ошибки в группах сомнительных данных, где численные методы могут давать неоднозначные результаты.

На первом этапе производится выбор архитектуры сети, определяется число нейронов на входе и выходе сети, задаются передаточные функции. На данном этапе немаловажная роль отводится формированию обучающей выборки. Состав, полнота и качество обучающей выборки влияет на время обучения искусственной нейронной сети и в конечном итоге на качество модели ИНС. На втором этапе осуществляется обучение сети. Процесс обучения ИНС представляет собой подбор значений синапсов таким образом, чтобы после подачи в сеть определенных входных сигналов получить желаемые выходные сигналы. Если между входными параметрами и ответом сети имеются существенные отличия, то можно говорить о наличии грубой ошибки в предъявляемом многопараметрическом векторе данных, полученной, возможно, в результате влияющих воздействий. В рамках процесса обучения, ИНС может выявлять сложные зависимости между данными на входе и выходе, производить обобщение. Сказанное означает, если обучение было успешно, то сеть может выдать верный результат даже на основании данных, которые могли не участвовать в процессе обучения.

Используемые данные для обучения ИНС изначально получены в виде двух статистик, первая – с действующего оборудования комплекса учета энергопотребления, вторая – в рамках лабораторного эксперимента, проводимого в ФГБОУ ВО «ЧГУ им. ИН.Ульянова». Считывание параметров с приборов учета электроэнергии производилось разработанным автором программным обеспечением. Каждый из считанных векторов состояний приборов учета электроэнергии характеризован одним из трех возможных вариантов режимов работы узлов учета энергопотребления: «НОРМА», «НЕИСПРАВНОСТЬ» и «НЕ ОПРЕДЕЛЕНО» и представляет собой некоторый взаимосвязанный многопараметрический набор.

# 3. Программная реализация

В качестве языка программирования для создания программного инструмента решено использовать С, позволяющий формировать искусственные нейронные сети разной конфигурации. Каждая нейронная сеть обучалась на одних и тех же задачниках. Для анализа распределения векторов входных данных ИНС в пространстве признаков, применим построение диаграммы рассеяния с перекрытием данных. Программный инструмент имеет главную форму, изображенную на рис. 1

Для этого отберем самые информативные параметры: по оси X – абсолютная величина разности токов по фазе B и С, по оси Y – абсолютная величина разности значений фазового угла сдвига между током и напряжением фазы B и фазового угла сдвига между током и напряжением фазы С.



Рис. 1. –Главное окно программы

Выходная переменная несет информацию по полю целевой функции «Заключение», которое показывает состояние режима работы узла учета энергопотребления (рисунок 2).



Рисунок 2. –Диаграмма рассеяния режимов работы узлов учета энергопотребления

Внутри отмеченной кругом области на рисунке 2.3 расположены состояния режимов работы «НОРМА», «НЕИСПРАВНОСТЬ» и «НЕ ОПРЕДЕЛЕНО» в виде круглых, квадратных и крестовых маркеров соответственно. Отсутствие возможности отделить квадратные маркеры, соответствующие режиму работы «НЕИСПРАВНОСТЬ» от круглых и крестовых, указывают на невозможность решения вопроса отделить линейным образом классы друг от друга. Следует указать, что классы состояний режимов работы узлов учета энергопотребления пересекаются, поэтому отсутствует возможность решения задачи верификации классическим линейным способом.

#

# Заключение

В исследовательской работе были рассмотрены вопросы, связанные с обнаружением и борьбой с хищениями электроэнергии. Отмечена необходимость повышения эффективности борьбы с такими хищениями.

Был проведен анализ существующей организации учета потребления и потерь электроэнергии и сделаны выводы о ее неудовлетворительном состоянии. Особое внимание было уделено учету потерь электроэнергии.

Рассмотрены пути устранения недостатков существующей организации учета электроэнергии. Подробно изучены вопросы внедрения автоматизированных систем и применения системы предварительной оплаты за электроэнергию.

Указана возможность использования ИНС как эффективного средства для обнаружения мест хищения электроэнергии.

Предложены расчетные методы повышения достоверности показаний счетчиков электроэнергии, позволяющие обнаружить места несоответствий коммерческих данных показаний электросчетчиков, что позволит уменьшить коммерческую составляющую потерь электроэнергии. Выполнен проверочный расчет искусственной нейронной сети на предмет возможных хищений электроэнергии.

Изучены основные способы хищений электроэнергии и высказаны соображения по противодействию им.

# Библиографический список

1. Шаров В.В, Фатыхов Р.И. Система автоматического контроля и учета электроэнергии на основе web-интерфейсов // Датчики и системы. Изд-во: Сенсидат-Плюс. Москва. 2015. №9-10. С. 62-64.
2. Савельева Е.В., Шунина А.А., Папанцева Е.И. Пути повышения точности измерений и достоверности учёта электроэнергии // Международный студенческий научный вестник. Издательство: ООО «Информационно-технический отдел Академии Естествознания». Пенза. 2015. №3-1. С. 74-75
3. Кочнева Е.С., Паздерин А.В. Выявление недостоверных измерений электрической энергии с помощью апостериорного анализа // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. Изд-во: Самарский государственный технический университет (Самара). 2014. №2. С. 32-39.
4. Кочнева Е.С., Паздерин А.В. Модификация метода контрольных уравнений для достоверизации измерений электроэнергии // Электрические станции. Изд-во: Научно-техническая фирма «Энергопрогресс». Москва. 2016. №10. С. 20-25.
5. Солдатов А.А. О критерии достоверности учета электроэнергии для информационно-измерительных комплексов // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. 2015. № 3. С. 126-131.
6. Солдатов А.А. Евдокимов Ю.К. Построение многофункциональной автоматизированной системы и алгоритмов контроля и диагностики режимов работы систем учета электроэнергии электросетевых подстанций // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 3. С. 1–10.
7. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». Утверждено Советом Директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.07.2017 №252). Москва 2017. с. 195.
8. «Стандарт организации ПАО «Россети» СТО 34.01-3.1-002-2016 «Типовые технические решения подстанций 6-110 кВ» Стандарт организации Дата введения: 19.09.2016. c. 343.
9. СТО 34.01-5.1-002-2014 «Техническая политика. Системы учета электрической энергии с удаленным сбором данных оптового и розничных рынков электрической энергии на объектах дочерних и зависимых обществ ПАО «Россети». с. 62.
10. СТО 34.01-5.1-004-2015 «Автоматизированные информационно- измерительные системы коммерческого и технического учета электроэнергии и системы учета электроэнергии с удаленным сбором данных. Организация эксплуатации и технического обслуживания». с. 64.