АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ НЕИНТРУЗИВНОГО МОНИТОРИНГА НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ

Буевич В.А.,
магистрант ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научный руководитель – Галузо И.В., канд. пед. наук, доцент

Ключевые слова. Электрическая энергия, интеллектуальные системы учета, методы неинтрузивного мониторинга, цифровая модель, информационная безопасность.

Keywords. Electric energy, intelligent metering systems, non-intrusive monitoring methods, digital model, information security.

Актуальность развития и внедрения интеллектуальных систем учета электрической энергии (ИСУ) обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности, снижения коммерческих и технических потерь в электроэнергетике, а также перехода к цифровой модели управления энергопотреблением.

Внедрение интеллектуального учета является первым этапом перехода к построению «умной» электрической сети. Процесс внедрения интеллектуальных систем учета электрической энергии включает три этапа: I этап – подготовительный, предусматривающий меры по стимулированию рынка и тестирование технологий; II этап – переходный, в течение которого вводятся изменения в законодательстве; III этап – масштабное тиражирование технологий интеллектуального учета.

Практическая эффективность внедрения ИСУ подтверждается статистическими данными. Для примера, в Ногайском районе Республики Дагестан удалось снизить коммерческие потери с 32,8% до 9,5% [1]. Это свидетельствует о значительном экономическом эффекте от внедрения современных систем учета.

Цель исследования – разработка научно-обоснованной методологии интеграции неинтрузивного мониторинга нагрузки (NILM) в интеллектуальные системы учета электрической энергии с комплексным обеспечением информационной безопасности, позволяющей сохранить аналитическую ценность данных при соблюдении требований к защите персональной информации.

Материалы и методы. Работа основана на результатах анализа научно-технической информации по устройству и принципам действия интеллектуальных приборов учета электроэнергии (ИПУЭ) серии РиМ; методов неинтрузивного мониторинга нагрузки; требований нормативно-технических документов; особенностей построения коммуникационной инфраструктуры интеллектуальных систем учета; анализа уязвимостей и методов обеспечения информационной безопасности; изучения журналов событий с объемом не менее 1024 записей по каждому типу, предусмотренных в руководствах по эксплуатации современных счетчиков [2]. Методологическая основа исследования включает системный анализ архитектурных решений, математическое моделирование процессов дезагрегации нагрузки и оценку эффективности криптографической защиты с учетом энергоограниченности встраиваемых устройств.

Результаты и их обсуждение. В результате проведенного исследования разработана и теоретически обоснована методология интеграции неинтрузивного мониторинга нагрузки в интеллектуальные системы учета электрической энергии с комплексным обеспечением информационной безопасности. В работе выполнен анализ архитектурных решений приборов учета электроэнергии; исследованы уязвимости коммуникационных протоколов; изучены методы анонимизации данных и подходы к интеллектуальному учету электроэнергии.

Анализ архитектурных решений показал, что современные интеллектуальные приборы учета электроэнергии серии РиМ обладают расширенными функциональными возможностями, включающими несколько журналов событий с объемом не менее 1024 записей по каждому типу. Например, журнал «Качество сети», журнал «Внешние воздействия», журнал «tg φ» и другие, что подтверждается данными из руководства по эксплуа-

тации РиМ 389. Эти журналы предоставляют необходимую информацию для реализации NILM-алгоритмов и систем обнаружения аномалий.

Исследование уязвимостей коммуникационных протоколов выявило критические проблемы в обеспечении информационной безопасности существующих систем. Анализ показал, что влияние уровня безопасности на принятие решения об использовании системы характеризуется коэффициентом $\beta = 0.323^{*}$ («*» обозначает уровень статистической значимости коэффициента регрессии), что свидетельствует о высокой значимости данного фактора.

Анализ методов анонимизации данных позволил выделить сохраняющие полезную информацию для анализа потребления при соблюдении требований к защите персональных данных:

$$\min_{\phi} \left\{ \mathcal{L}_{пол}(\phi) + \lambda \cdot \mathcal{L}_{конф}(\phi) \right\},$$

где $\mathcal{L}_{пол}$ – функция потерь полезности данных, $\mathcal{L}_{конф}$ – функция потерь конфиденциальности, λ – весовой коэффициент, определяющий баланс между полезностью и конфиденциальностью.

На основании проведенных исследований предложена архитектура безопасной NILM-системы, интегрирующая механизмы криптографической защиты с учетом энергоограниченности встраиваемых устройств:

$$E_{\text{ш}} = \sum_{i=1}^{n} \left(E_{пр}(i) + E_{пер}(i) \right) \le E_{доп},$$

где $E_{пр}(i)$ – энергозатраты на процесс шифрования, $E_{пер}(i)$ – на передачу данных, $E_{доп}$ – допустимые энергозатраты.

Разработаны метрики оценки эффективности интеграции, включающие показатель устойчивости системы к атакам:

$$\eta_{уст} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} \left(1 - \frac{\Delta P_{дез}(k)}{P_{общ}} \right),$$

где $\Delta P_{дез}(k)$ – ошибка дезагрегации при k-м испытании, $P_{общ}$ – общая потребляемая мощность.

При анализе подходов к интеллектуальному учету электроэнергии сравнение выполнено по трем критериям: точность измерений, журналы событий, уровень защиты данных.

Точность измерений в традиционных системах учета составляет $\gamma = 0.5 - 2.0\%$, тогда как в современных ИСУ этот показатель улучшен до $\gamma = 0.2 - 0.5\%$. Системы с интеграцией NILM сохраняют такую же точность измерений базовых параметров, но дополнительно обеспечивают дезагрегацию потребления с точностью до 90%. В системах с интеграцией NILM и обеспечением информационной безопасности точность базовых измерений остается на том же уровне, но точность дезагрегации снижается до 85% в результате применения процедур анонимизации данных.

Журналы событий отсутствуют в традиционных системах учета, тогда как современные ИСУ предусматривают ведение от 1-го до 3-х журналов с объемом до 1024 записей по каждому типу событий. Системы с интеграцией NILM расширяют функционал до 6-и журналов с аналогичным объемом записей.

Уровень защиты данных в традиционных системах учета отсутствует. В современных ИСУ и системах с интеграцией NILM реализован базовый уровень защиты в соответствии с международными стандартами серии IEC 62443 «Сети промышленной коммуникации. Безопасность сетей и систем».

Заключение. Проведенный анализ современных интеллектуальных систем учета электрической энергии подтверждает их ключевую роль в переходе к цифровой модели управления энергопотреблением. Результаты исследования демонстрируют, что внедрение ИСУ позволяет не только снизить коммерческие потери. Особую значимость имеет интеграция методов неинтрузивного мониторинга нагрузки (NILM) с комплексными мерами информационной безопасности, что позволяет достичь оптимального баланса между детализацией анализа энергопотребления и защитой персональных данных. Результаты исследования показали значение интеллектуальных систем учета электрической энергии при переходе от «умного учета» к «умной сети» и далее к «умному городу».

Перспективы дальнейших исследований связаны с развитием аналитики данных для прогнозирования и управления спросом, интеграцией ИСУ в системы управления распределенными сетями и совершенствованием методов анонимизации данных. Результаты данного исследования могут быть использованы энергетическими предприятиями при выборе и внедрении систем интеллектуального учета, а также при разработке нормативно-правовой базы, регулирующей их эксплуатацию в условиях цифровой трансформации электроэнергетики.

1. Осика, Л. К. Расчетные методы интеллектуальных измерений Smart Metering в задачах учета и сбережения электроэнергии: практическое пособие / Л. К. Осика. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2013. – 422 с.

2. Дробышевский, Н. П. Ревизия и аудит: учеб.-метод. пособие / Н. П. Дробышевский. – Минск: Амалфея: Мисанта, 2013. – 143 с.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ ДОЛИ ПРОТЕИНА С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ерощенко А.С., Огурцов В.Ю.,
студенты 2 курса ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь
Научные руководители – Буевич А.Э., канд. техн. наук, доцент,
Буевич Т.В., канд. техн. наук, доцент

Ключевые слова. Методика, компьютерная программа, метрологическая точность, массовая доля, входные данные, корреляция, суммарная неопределенность.

Keywords. Methodology, computer program, metrological accuracy, mass fraction, input data, correlation, total uncertainty.

Работа посвящена комплексному исследованию проблем метрологической точности и разработке защищённой компьютерной программы для автоматизированного определения массовой доли протеина в кормах, комбикормах и сырье.

Цель – разработать методику определения массовой доли протеина с учётом неопределённости измерений.

Материалы и методы. Методика определения массовой доли протеина с учётом неопределённости измерений согласно ГОСТ 13496.4-2019 п.8. Методика разработана по требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025–2001 согласно Руководству по выражению неопределенности и Руководству ЕВРАХИМ/СИТАК «Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях» [1].

Сущность метода заключается в минерализации органического вещества пробы кипящей серной кислотой в присутствии катализатора с образованием сернокислого аммония, добавлении к охлажденному минерализату избытка гидроокиси натрия для выделения аммония, отгонке и титровании выделенного аммиака, вычислении массовой доли азота в испытуемой пробе и пересчете на массовую долю сырого протеина [2].