

DOI: 10.5281/zenodo.15438045

Link: <https://zenodo.org/records/15438045>

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ – ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сапаев Маматкарим

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы энергообеспечения» Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий

Саттаров Хурийд Абдишукурович

*Кандидат технических наук, профессор кафедры «Электроника и радиотехника»
Ташкентского университета информационных технологий им. Мухаммада ал-Хоразмий
s.xurshid@tuit.uz*

Аннотация. *Цифровизация это новый формат управления работой электроэнергетических систем, обеспечивающий оптимизацию технологических процессов для достижения целевого состояния электроэнергетики. Вся система цифровизации энергетики основывается на принципах перехода на «умную» систему, в рамках которой целесообразно проводить не только организационно-управленческие, но и соответствующую технику технологическую мероприятия. Проблема цифровизации энергетики требует создание и запуск модульных интерфейсов на основе цифровых технологий для организации высокоэффективных систем и сетей в электроэнергетике и разработку интеллектуальных систем, способных аккумулировать и управлять новыми организационно-экономическими и технологическими решениями. В работе рассмотрены некоторые аспекты создания систем мониторинга и прогнозирования работы электрических сетей применением современных средств и технологий.*

Ключевые слова: *цифровая энергетика, интеллектуальные системы, Smart Grid, SCADA-системы, оптимизация, нейронные сети, электроснабжение.*

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия характеризуются бурным развитием техники, экономики и общества, в которых происходят кардинальные изменения (высокие технологии, рост численности населения планеты, глобальное изменение климата и т.п.), влияющие в том числе на энергетический бизнес, предъявляя к нему все новые и новые требования. К числу наиболее существенных изменений в развитии общества и экономики, влияющих в том числе на энергетическую отрасль, зарубежные ученые и исследователи относят следующие [1]: 1) дефицит источников электрической энергии; 2) постоянно растущие требования к надежности и качеству электроснабжения со стороны потребителей; 3) нарастающий дефицит квалифицированных кадров в энергетической отрасли; 4) рост требований заинтересованных сторон к результатам деятельности энергетических компаний; 5) постоянное повышение стоимости электрической энергии во всем мире; 6) требования экологической и промышленной безопасности функционирования энергетических объектов; 7) снижение общесистемных затрат.

В связи с этим последнее время в мире наблюдается растущий интерес к бурно развивающемуся в последнее десятилетие во всем мире направлению

преобразования электроэнергетики на базе новой концепции, получившей название Smart Grid. Smart Grid трактуется сегодня во всем мире как концепция инновационного преобразования электроэнергетики, поскольку именно пересмотр ряда существующих базовых принципов модернизации отрасли и вытекающие отсюда масштабы и характер задач обуславливают такое внимание к этому направлению.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основными задачами развития электроэнергетики на базе Smart Grid являются разработка:

- технологических принципов построения интегрированных систем в сочетании с интеллектуальными средствами управления ими;
- методических и технологических основ создания интеллектуальных систем управления потребителей и промышленных центров энергоснабжением;
- методов мониторинга состояния оборудования и режимов его работы;
- моделей и методов для анализа и расчета систем электро-, тепло-, холодо- и газоснабжения;
- методов и программных комплексов нового поколения для расчета и оптимизации интегрированных интеллектуальных систем и их элементов;
- универсальных информационно-вычислительных технологий для компьютерного моделирования, расчета и оптимизации интеллектуальных систем энергоснабжения.

Создание комплекса интеллектуальной интегрированной системы состоит из следующих этапов:

- разработка методов и моделей интеллектуальной интегрированной системы;
- разработка методов и моделей интеллектуальной интегрированной системы;
- решение подзадачи оптимизации режимов работы интеллектуальной интегрированной системы;
- решение подзадачи оптимизации режимов работы интеллектуальной интегрированной системы;
- разработка программных комплексов интеллектуальной интегрированной системы;
- разработка программных комплексов интеллектуальной интегрированной системы;
- апробация создания интеллектуальной интегрированной системы на типовых примерах.

Применением интеллектуальной энергосистемы могут быть решены следующие задачи:

- мониторинг состояния электрической сети, оценка неоднородности сети, анализ слабых мест в управлении, анализ и обеспечение допустимости режима по напряжениям, минимизация активных потерь в сети, оценивание состояния, прогнозирование параметров режима, прогнозирование поведения системы,

управление потокораспределением, оценка эффективности новых средств, анализ и обеспечение режимной надежности и другие.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В свете реализации этих требований и задач, а также в целях обеспечения различными источниками энергоснабжения бесперебойной работы средств информационных технологий и телекоммуникаций актуальным является разработка и внедрение систем мониторинга и контроля. В этом направлении особое внимание уделяется разработке алгоритмов и программных средств управления и контроля энергоснабжением, технических и информационно-измерительных средств, от которых зависят устойчивое и надежное функционирование всей системы в целом. Структура электроснабжения инфокоммуникационных систем требует, чтобы она была рассчитана на работу в штатном и аварийном режиме с учетом различных ситуаций. В штатном режиме работы оборудование инфокоммуникаций снабжается электроэнергией, качество которой соответствует установленным нормам, при котором оборудование систем энергоснабжения работает без участия обслуживающего лица. В аварийном режиме, поскольку электроэнергия требуемого качества для инфокоммуникационного оборудования не гарантируется, требуется участие обслуживающего персонала. При эксплуатации необходимо осуществлять автоматическое отключение устройств, склонных к непоправимым повреждениям или нарушению требований безопасности, устойчивости в энергоснабжении. Авторами данной работы проанализированы структуры организации энергоснабжения объектов инфокоммуникаций, виды источников энергии и показана необходимость мониторинга контроля энергоснабжения на основе широкого применения современных методов и технических средств и создана пилотная версия системы мониторинга. Как известно, везде, где в режиме реального времени требуется осуществлять оперативное управление каким-либо процессом SCADA-система в настоящее время является наиболее простым и доступным решением. В полноценной и продуманной SCADA-системе удобный функционал позволяет диспетчеру легче воспринимать информацию, отслеживать события, контролировать состояние объектов. При этом внедрение современных цифровых технологий в системы энергоснабжения позволяет достичь повышения энергоэффективности и снижения энергопотребления. Совместное использование Cloud технологий и SCADA-системы позволило охватить широкий круг задач при относительной простой конфигурация системы. Выбор и использование инструментальных программных средств разработки и эксплуатации комплекса на базе оборудования компании ОВЕН позволил обеспечить заданные технические характеристики и эффективность выполнения задач при эксплуатации системы. К примеру, на рис.1. приведено дерево системы в MASTERSCADA, где получение и запись данных с OPC-сервера в MASTERSCADA происходит при создании соответствующих переменных.

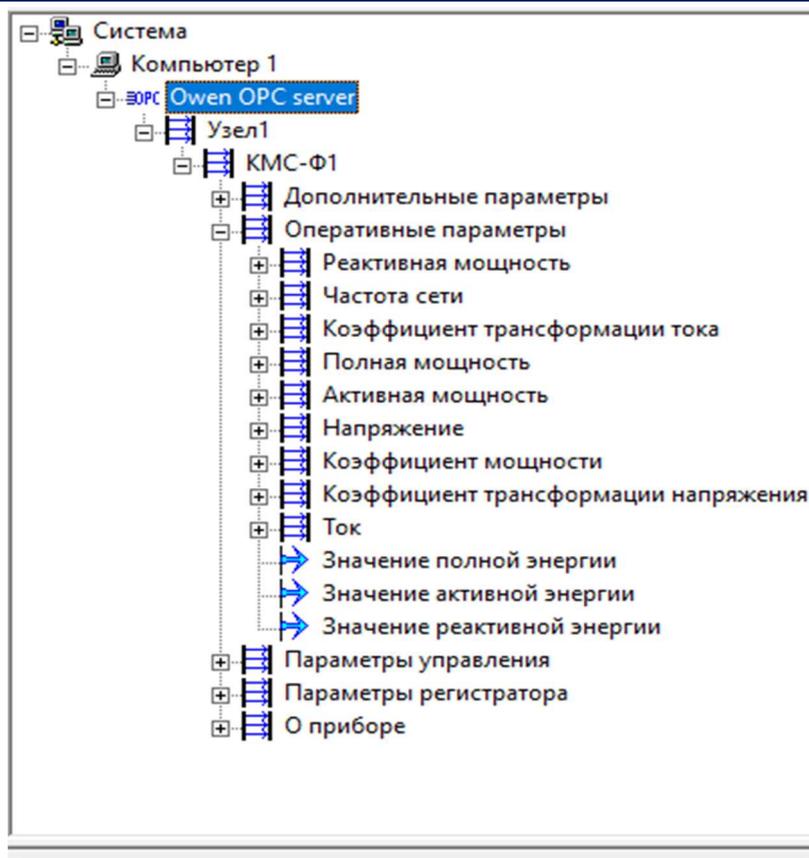


Рис.1. Дерево системы в MASTERSCADA.

Программирование в системе «MASTERSCADA» состоит из программных модулей отдельных функциональных блоков (ФБ). ФБ связываются между собой и образуют объекты проекта. Программирование может вестись в языках программирования FBD и SFC. Создание проекта начинается с создания объектов. Каждый объект настраивается независимо от других объектов, имеет свои параметры опроса, окна визуализации и архивы. Внутри объекта создаются ФБ: группы, события и расчёты. Исходя из программы мониторинга энергоснабжения инфокоммуникационных сетей разработана структура меню в системе «MASTERSCADA». В «MASTERSCADA» окна поделены по типам: мнемосхема, окно объекта, окно управления, рапорт, рецепт и изображение объекта. Между этими типами окон разницы нет, и все они создаются как мнемосхема. Создание окон визуализации в «MASTERSCADA» заключается в добавлении динамических объектов (кнопок, списков, геометрических фигур и т.д.) в мнемосхему объекта. Динамизация осуществляется установлением соответствия между значением переменной проекта и значением свойства элемента мнемосхемы. Мнемосхемы включают наборы элементов, каждый из которых позволяет управлять определенной функцией системы управления. Совокупность мнемосхем образует проект, который привязан к своему объекту. В процессе эксплуатации оператор может выполнить переход между окнами отображения данных, установить и изменить значение параметра и т.д. Данная система, основанная на комплексе Cloud технологий и SCADA-системы позволяет вести эффективное наблюдение за параметрами энергоснабжения в

реальном времени при одновременном просмотре предупреждающих или аварийных событий и повысить гибкость контроля и управления энергоснабжением.

Немаловажным для повышения эффективности как энергетических систем, так повышения эффективности энергопотребления необходимо его точное прогнозирование за определенный период. При определении показателей прогнозирования необходимо использование методов, основанных на применении интеллектуальных технологий. Одним из них является применение для прогнозирования потребления электроэнергии технологии нейронных сетей. Рациональный выбор типа нейронной сети главным образом зависит от условия задачи. Как известно, Основными преимуществами сети RBF перед сетями MLP являются то, чтобы смоделировать любую нелинейную функцию сетям RBF необходим всего лишь один промежуточный слой. Поэтому не приходится решать вопрос о числе слоев в разрабатываемой нейронной сети. Вторым основным преимуществом сети RBF является способность оптимизации параметров линейной комбинации в выходном слое. Это можно осуществить с помощью хорошо известных методов линейного моделирования, которые работают быстро и вследствие этого сеть RBF способна обучаться намного быстрее нежели сеть MLP.

Прежде чем использовать линейную оптимизацию в выходном слое сети RBF, необходимо определить число радиальных элементов, положение их центров и величины отклонений. Алгоритмы обучения сетей RBF работают быстрее алгоритмов обучения MLP, но их использование нецелесообразно для решения задачи краткосрочного прогнозирования.

Для корректного моделирования типичной функции сеть RBF, с ее более эксцентричной поверхностью отклика, требует несколько большего числа элементов. Следовательно, модель, основанная на RBF, будет работать медленнее и потребует больше памяти, чем соответствующий MLP.

Неумение сетей RBF экстраполировать свои выводы за область известных данных, приводит к повышению значения ошибки прогнозов и усложняет обработку информации и оценку результатов. Сеть MLP, напротив, выдает более определенные решения при обработке сильно отклоняющихся данных.

Таким образом, в программе ST Neural Networks целесообразно построить радиально-базисные нейронные сети и многослойный персептрон с помощью двух инструментов: автоматизированная нейронная сеть и пользовательская нейронная сеть, которые позволяют конструировать собственные сети и выбирать наиболее подходящие для решения необходимой задачи.

Для автоматизированной нейронной сети и пользовательской нейронной сети были построены нейронные сети: многослойный персептрон и радиально-базисная функция. Для реализации и выбора сетей с наименьшей ошибкой E, было выбрано минимальное и максимальное число скрытых нейронов в диапазоне от 1 до 10 и задействованы функции активации, такие как тождественная, логистическая и гиперболическая. Количество обучаемых и сохраняемых сетей выбраны соответственно 20 и 10.

Согласно методу наименьших квадратов ошибка функционирования сети определяется по следующему выражению:

$$\sum E_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (y_i - d_i)^2,$$

где y_i – выход сети,

d_i – фактические значения электропотребления,

p – индекс образца в обучающей выборке.

При построении автоматизированной нейронной сети программой была отобрана сеть многослойный персептрон с тремя скрытыми слоями – MLP 7-3-1. Процесс обучения продолжался до тех пор, пока выходящими значениями из нейронной сети не приблизились к эталонным значениям. Ошибка прогноза данной нейронной сети составила $E=1,3\%$. Данная архитектура сети оказалась с самой минимальной ошибкой прогноза из всех нейронных сетей данного типа, предоставленных программой (таблица 1).

Таблица.1

Сравнительный анализ архитектур нейронных сетей

Итоги моделей (Таблица sta.)										
№	Архитектура	Производительность обуч.	Контр. производительность	Тест. производительность	Ошибка обучения	Контрольная ошибка	Тестовая ошибка	Алгоритм обучения	Функция ошибки	Ф-я актив. скрытых нейр.
1	MLP7-9-1	0,958525	0,978728	0,964585	1,604535	2,291942	1,751534	BFG S37	Сум.кв адр.	Логическая
2	MLP7-6-1	0,947677	0,966995	0,972040	2,129221	3,235622	1,203005	BFG S35	Сум.кв адр.	Логическая
3	MLP7-3-1	0,948162	0,974141	0,971624	2,090602	3,080652	1,297699	BFG S33	Сум.кв адр.	Логическая
4	MLP7-10-1	0,960890	0,961639	0,961978	1,490347	3,066630	2,151921	BFG S42	Сум.кв адр.	Логическая
5	MLP7-4-1	0,945146	0,979160	0,965848	2,229170	2,530257	1,755438	BFG S28	Сум.кв адр.	Логическая
6	MLP7-6-1	0,948900	0,983358	0,968539	2,057324	2,020833	1,388310	BFG S36	Сум.кв адр.	Логическая
7	MLP7-3-1	0,953642	0,983455	0,135773	1,357733	1,918389	2,294974	BFG S39	Сум.кв адр.	Логическая
8	MLP7-9-1	0,961748	0,978157	0,959608	1,451299	2,322814	2,334534	BFG S52	Сум.кв адр.	Логическая
9	MLP7-9-1	0,873037	0,941583	0,955304	5,890414	4,170921	2,019176	BFG S5	Сум.кв адр.	Логическая
10	MLP7-8-1	0,943850	0,972523	0,960482	2,290558	2,823982	1,739968	BFG S29	Сум.кв адр.	Логическая

На рисунке 2. представлен график, который отображает фактическое и прогнозное значения электропотребление. В таблице 2 представлены фактические и прогнозные числовые значения активной мощности, расходуемой на собственные нужды предприятия, а также разность этих значений, указывающая на ошибку прогноза.

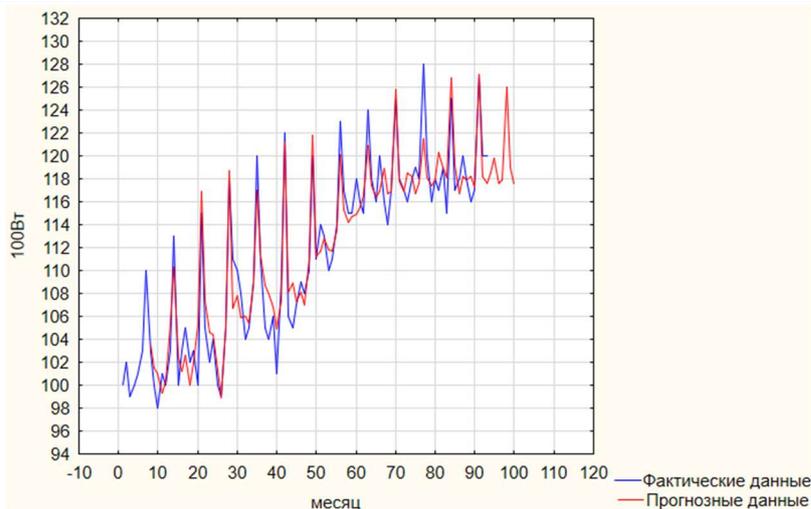


Рис. 2. Прогнозное и фактическое электропотребление на месяцы вперед на основе MLP

Таблица 2.

Фактические и прогнозные числовые значения активной мощности на предприятиях

	Фактические	Прогнозные	Ошибка	Средняя ошибка
0	117,0000	117,5853	0,00500219905	
1	127,0000	127,2021	0,00159143244	
2	120,0000	118,2317	0,0147359671	
3	120,0000	117,6018	0,0199850426	
4	119,0000	118,4703	0,00445129259	
5	120,0000	117,2352	0,0230401511	
6	121,0000	118,1561	0,0235033584	
7	118,0000	119,1809	0,0100072763	
8	129,0000	127,5205	0,0114690846	
9	117,0000	119,7464	0,0234732028	
10	118,0000	117,3978	0,00510313142	0,0139952373

На данной таблице видно что нейросеть прогнозировала последние 10 месяцев с минимальными отличиями от фактических, которые не участвовали в обучении, они были оставлены для конечной сверки прогноза нейросети.

ВЫВОДЫ

Мониторинговая система, основанная на комплексе Cloud технологий и SCADA-системы позволяет вести эффективное наблюдение за параметрами энергоснабжения в реальном времени при одновременном просмотре предупреждающих или аварийных событий и повысить гибкость контроля и управления энергоснабжением.

На основе применения построенных нейронных сетей для суточного прогноза можно сделать вывод о том, что в задачах прогнозирования электропотребления наиболее подходящей нейронной сетью с наименьшей ошибкой прогноза является пользовательская нейронная сеть многослойный персептрон MLP6-7-1. На основе проведенного анализа и полученных данных,

можно сделать вывод, что в отличии от других нейронных сетей, результаты на базе примененной нейронной сети имеют более точные показатели прогнозирования потребления электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1.Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. - М.: ИАЦ Энергия, 2010. - 208 с

2.Баширова, Э.М. Интеллектуальные системы управления и обеспечения безопасности в электроэнергетических комплексах: учеб. пособие/ Э.М. Баширова, И.Г. Хуснутдинова. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. – 48 с.

3.Porubay O., Siddikov I., Madina K. Algorithm for optimizing the mode of electric power systems by active power// 2022 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – IEEE, 2022. – pp. 1-4.

4.Сапаев М., Кодиров Ф. Системы мониторинга энергоснабжения инфокоммуникационных сетей на базе SCADA-системы// Материалы XI международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы системы электроснабжения». 2023. - с.171-173

5.Бурковский В.Л. Реализация концепции Smart Grid с применением искусственных нейронных (ИНС) и нейро-нечётких сетей (ННС)/ В.Л. Бурковский, В.Н. Крысанов, А.Л. Руцков// Энергия XXI век – 2015. - No 3(91). – С. 38-46.

6.Крысанов В.Н. Вопросы концептуального развития Smart Grid в электроэнергетике с применением искусственных нейронных и нейро-нечётких сетей/ В.Н. Крысанов, А.Л. Руцков// Электротехнические комплексы и системы управления - 2014.– No1. – С. 7 – 14.

7.Домышев А. В. Нейро-аналитические сети для оценивания состояния и прогнозирования параметров ЭЭС // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Международный научный семинар им. Ю.Н.Руденко, 91-е заседание семинара на тему «Методические и практические проблемы надежности систем энергетики», в 2-х книгах. Отв. ред. Н.И. Воропай. 2019. С. 295-304.

8.Марахимов А.Р., Игамбердиев Х.З., Юсупбеков А.Н., Сиддиков И.Х. Нечетко-множественные модели и интеллектуальное управление технологическими процессами. – Ташкент: ТашГТУ, 2014. - 240 с.

9.Руцков А.Л. Анализ применения нечётких нейронных сетей для прогнозирования энергопотребления промышленных предприятий/ А.Д. Данилов, Шукур О.М., А.Л. Руцков// Актуальные научные исследования XXI века: теория и практика. 2016.- т.4. - No6 (26). – С. 59-63.

10.Прогнозирование электропотребления с помощью нейронных сетей с LSTM / И.У. Рахмонов, В.Я. Ушаков, Н.Н. Ниёзов, Н.Н. Курбонов// Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 12. – С. 125–133.

11.Рахмонов И.У., Реймов К.М. Математические модели и алгоритмы оптимального управления нагрузкой электропотребителей// Известия высших

учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. – № 62 (6). – С. 528–535. URL: <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-6-528-535>.

12. Taslimov A.D., Rakhmonov I.U. Optimization of complex parameters of urban distribution electric networks // Journal of Physics: Conference Series. APITECH-2019. – 2019. DOI: 10.1088/1742-6596

13. Sattarov Kh., Sapayev M., Suyarov A., Turaev A. Improving efficiency in a distribution network with asymmetric load due to connected solar panels with a phase relationship. E3S Web of Conferences, 2023, 401, 04001, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340104001>