ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.А. Волошин, *канд. техн. наук*
Е.А. Волошин, *преподаватель*
С.С. Усачев, *студент*
А.Р. Энтентеев, *студент*
Б.Т. Максудов, *студент*
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(Россия, г. Москва)

Аннотация. *В условиях мониторинга систем низкого напряжения целесообразно использование новых технологий, основанных на работе математических алгоритмах с большими информационными потоками и базами данных. В ряде случаев имеется необходимость мониторинга систем низкого напряжения с последующей сохранностью и систематизацией измерений, что позволяет сократить расходы на обеспечение ремонтного обслуживания электрических сетей и энергораспределительных систем. Для осуществления мониторинга сети было спроектировано и разработано устройство. Основой разрабатываемого измерителя стал микроконтроллер ESP8266 и модуль датчика тока ACS712. В результате получено конструкторское решение портативного измерителя, позволяющего замерять значения тока в электрических сетях с последующей систематизацией приобретенной информации и отправкой её на сервер. Разработан алгоритм работы устройства на базе технологий Интернета вещей. Заявленный измеритель и выведенные алгоритмы работы устройства сети могут быть использованы для улучшения качества мониторинга в электрораспределительных системах, создания единой системы мониторинга энергетической сети, прогнозирования и оценки технического состояния оборудования и управлением надежности энергосистемы.*

Ключевые слова: *Интернет вещей, мониторинг состояния сети, электрические сети, микроконтроллеры, большие данные, мониторинг первичного оборудования.*

На сегодняшний день экономическое состояние энергетики России вынуждает принимать меры по увеличению сроков эксплуатации различного электротехнического оборудования. Решение задачи по оценке технического состояния электротехнического оборудования электрических сетей в значительной мере связано с внедрением эффективных методов инструментального контроля и технической диагностики. Кроме того, оно необходимо и обязательно для безопасной и надежной работы электрооборудования.

Основной задачей эксплуатации электрических сетей является – техническая диагностика (с греческого «распознавание») – заключение о техническом состоянии объекта, которое позволяет изучать и устанавливать признаки неисправности оборудования. Другими словами, техническая диагностика позволяет дать оценку внутренних причин неисправности оборудования до наступления отказа оборудования, ввиду того, что отказ часто создает опасность для жизни людей, приводит к значительным экономическим потерям.

Электрические сети должны надежно подавать потребителю электроэнергию надлежащего качества (при стабильном напряжении и частоте) и удовлетворять требованиям электрической и пожарной безопасности. Быстрый рост доли оборудования, отработавшего нормативный срок службы, определяет необходимость продления его работоспособности, повышения экономичности и поддержания надежности работы энергосистемы в целом. Во многих промышленно-развитых странах мира, в том числе и в России, к 2000 г. доля такого оборудования превысила по-

ловину. На данный момент в России большая часть сетей низкого потребления не подвергается детальному мониторингу, не всегда можно определить в какой части произошли обрыв или авария, и тем более это тяжело предугадать [1, 2]. Чтобы определить техническое состояние электрических сетей, необходимо, с одной стороны, установить, какие элементы сети и каким способом следует наблюдать, а с другой стороны – решить, какие средства для этого потребуются. Для оперативного выявления развивающегося дефекта в электрических сетях часто требуется системный анализ данных длительного мониторинга, который может быть выполнен только с использованием современных информационных технологий. Применение систем технического мониторинга обеспечивает эффективный контроль и управление электрических сетей при наличии интеллектуальных методов обработки информации. Для создания такой системы диагностики в энергетике применяется математическое моделирование и методы цифровой обработки.

«ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ»

Целью нашей работы является создание системы сбора и передачи информации (ССПИ) для сетей низкого напряжения. Наша задача – мониторинг дефектов электрических сетей энергораспределительных систем с последующей обработкой и анализом данных. Для дешёвого и наиболее эффективного наблюдения за состоянием сети. Цель достигается путем использования технологии «интернет вещей» (Internet of Things). В результате проделанной работы спроектировано, разработано и функционирует портативное устройство АСС-001.

Усиление тенденций технологизации различных сфер жизнедеятельности ведут к созданию информационных технологий, которые выводят уровень сбора, агрегации и обмена накопленной информацией на принципиально иной качественный уровень с минимальной ролью и степенью участия человека. Именно эти технологии становятся драйверами четвертой промышленной революции.

Одной из таких современных технологий, влияющих на изменение экономического, социального и культурного ландшафта современного общества, стала концепция Интернета вещей (The Internet of Things, IoT).

Согласно обзору, подготовленному к Международному экономическому форуму в Давосе, Интернет вещей входит в топ-5 технологических драйверов четвертой промышленной революции наряду с мобильным интернетом и облачными технологиями, Big Data, новыми материалами и технологиями в области возобновляемых источников энергии, краудсорсинговых и peer to peer платформ [3, p. 7].

Интернет вещей (TheInternet of Things (IoT) – сеть сетей, состоящая из уникально идентифицируемых объектов (вещей), способных взаимодействовать друг с другом без вмешательства человека, через IP-подключение. Технология Интернет вещей позволяет получить хорошую обратную связь от современного потребителя, значительно улучшить качество существующих продуктов и сервисов. Предпосылки для развития IoT были заложены еще в виде реализации отдельных технологических проектов (умный дом, автономные системы управления городским транспортом и т. д.), позволяющих связывать различные предметы друг с другом. Таким образом, Интернет вещей – это единая сеть, соединяющая окружающие нас объекты реального мира и виртуальные объекты. Ключевым в этом определении является автономность устройств и их способность передавать данные самостоятельно, без участия человека. Важнейшая задача использования технологии Интернета вещей – это создание комплекса, объединяющего информационные процессы с производственными, что делает генерацию, передачу и распределение энергии «умными» и снабжает сети усовершенствованными средствами диагностики [4]. Исходя из описания выше, мы считаем, что технологию интернета вещей в энергетике можно представить, как множество различных приборов и датчиков, объединенных между собой беспроводными каналами связи и подключенных к сети Ин-

тернет. Технологии концепции интернета вещей помогают при необходимости создания сети из множества устройств связанных друг с другом и центральным программным обеспечением посредством высокоскоростных беспроводных или проводных сетевых технологий. Одним из примеров использования интернета вещей в электроэнергетике является разработанное при участии компании «Солвера-Линкс» (Solveralynx) устройство мониторинга параметров защиты от импульсов напряжения «ProSMA» [5].

Для сбора информации нами было спроектировано собственное устройство – Анализатор Состояния Сети (АСС). АСС-001 был создан на базе микроконтроллера ESP8266. Выбор данной модели обусловлен наличием WI-FI интерфейса, низкого энергопотребления и сравнительной простоты формирования программного обеспечения, также ESP8266 является одним из самых популярных решений при работе с технологией интернета вещей, поэтому при работе с данным микроконтроллером не возникло проблем с поиском подходящих комплектующих.

Для удобства и увеличения функциональности ESP8266 была помещена на плату NodeMCU, следует заметить, что данная плата необходима только на этапе разработки и в дальнейшем использоваться не будет, по причине высокого энергопотребления (относительно работы ESP8266 без NodeMCU).

Для первой версии анализатора состояния сети (АСС-001) в качестве основного датчика, считывающего величину тока в сети, был выбран датчик тока ACS712, имеющий предел измерений 20 А, работающий на основе эффекта Холла. Для питания датчику требуется постоянное напряжение 5 В. Выбор именно этого датчика для АСС-001 обусловлен его хорошей совместимость с ESP8266 и дешевизной. В дальнейшем рассматривается возможность замены ACS712 на бесконтактный датчик тока MP563 с трансформаторным принципом измерения тока. Такая замена позволит упростить монтаж АСС.

Рис. 1. Датчик тока ACS712 и его контакты

На рисунке 1 представлена схема соединения элементов входящих в состав конструкции АСС-001. К плате NodeMCU, на которой находится ESP8266, подается питание (провод питающий платы не изображен на рисунке) с напряжением 5 В. В свою очередь микронтроллер ESP8266 питается с платы напряжением 3,3 В, также подается питание на датчик тока ACS712 с контакта «1» платы (напряжение 5 В). Значения величины измеряемого тока приходят на контакт «2» платы. Для получения корректных значений между контактом датчика и контактом «2» платы необходимо расположить делитель напряжения, который понижает значение напряжения с 5 В до 3,3 В. Необходимость такого технического решения обусловлена разницей между напряжением, которое подается с датчика тока ACS712 (5 В) и рабочим напряжением (3,3 В) микроконтроллера ESP8266. Контакт «3» – земля.

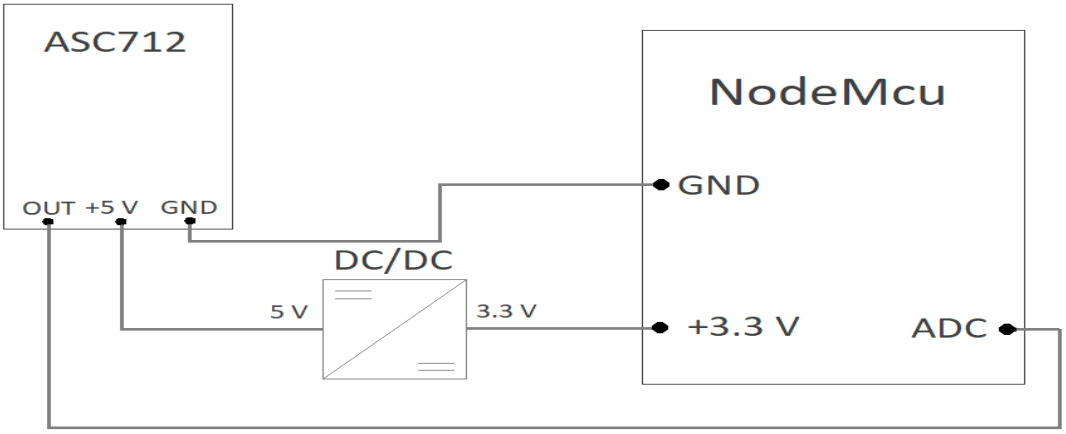

Рис. 2. Схема соединения составных элементов АСС-001

Общий алгоритм работы АСС-001 можно представить следующими шагами:

1. Датчик ACS712 считывает величину тока в проводнике, передает полученные значения на микроконтроллер.

2. ESP8266, используя аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) обрабатывает данные полученные с датчика в виде аналогового сигнала пропорционального току в проводнике, и рассчитывает действующее значение тока в цепи.

3. Полученные величины тока отправляются на сервер по протоколу TCP/IP [6], с использованием протокола прикладного уровня передачи данных «HTTP» [7].

4. Сервер осуществляет запись полученных значений в базу данных (БД)

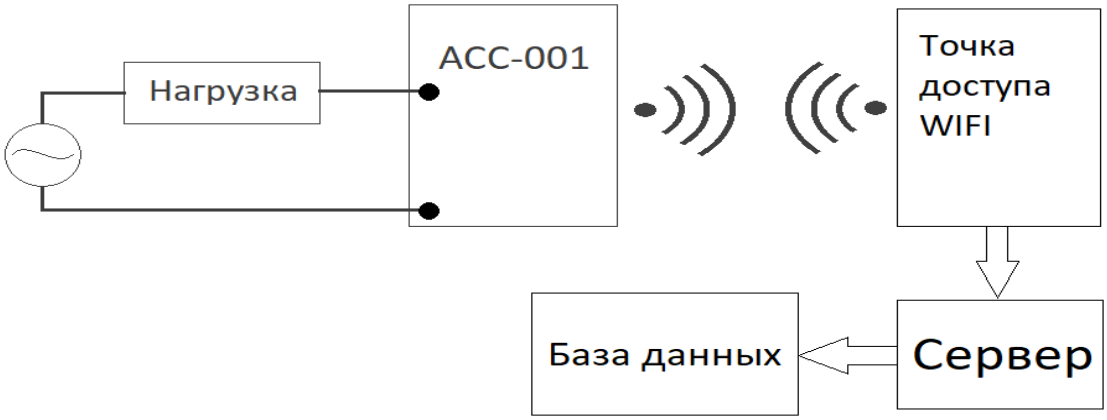

Рис. 3. Упрощенный принцип работы АСС-001

Данный принцип работы уже прошел первые испытания, прототип устройства сконструирован, рассматриваются дальнейшие возможные улучшения его работы. Портативное устройство АСС-001 в перспективе может быть принципиально усовершенствовано через расширение характеристик мониторинга, которые могут включать: измерение температуры и влажности, уровень напряжения в цепи, дискретные сигналы. Кроме того, рассматривается использование технологии сбора энергии из окружающей среды или магнитного поля проводника (Energy Harvesting) [8], на который установлен АСС для увеличения срока работы без подзарядки аккумуляторов. Также для упрощения создания инфраструктуры планируется переход на альтернативные спосо-

бы связи АСС друг другом и сервером [7; 8].

ОБРАБОТКА БОЛЬШИХ ДАННЫХ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Система, состоящая из необходимого программного обеспечения, общего сервера и совокупности устройств АСС-001 находящихся в электрораспределительной сети благодаря одновременному анализу и отправке данных о состоянии участков этой сети даёт возможность максимально быстро и со сравнительно большой точностью локализовать точки аварий и устранить их. Большой объем информации, беспрерывно получаемой с некоторого количества АСС-001, даёт возможность составления некоторой базы статистических данных, что в будущем может помочь в глубоком анализе причин аварии. Анализ причин аварии заключается в создании моделей, которые смогут предречь возможные аварии на основе статистических данных.

Общая концепция работы системы схожа с концепцией «интернет вещей» и заключается в постоянном сборе информации о состоянии основных участков энергораспределительной цепи. Характеристикой состояния цепи может считаться: совокупность: температуры, влажности помещения, наличие или отсутствие тока на участке, его величина. Также с датчиков, установленных на участках цепи, будет собираться большое количество данных, образующих общий массив, состоящий из времени, условий и местоположений произошедших аварий и не желаемых режимах работы цепи. Данный массив информации в дальнейшем будет обрабатываться методами математического анализа (Bigdata), что может быть использовано для прогнозирования и предотвращения аварий [9; 10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сформулирован и получен алгоритм работы устройств концепции «Интернет вещей». Создан беспроводной портативный измеритель тока Анализатор Состояния Сети – АСС-001, работающий на базе микроконтроллера ESP8266 с датчиком тока ACS712 и программным обеспечением необходимым для работы и передачи данных в отсутствии непосредственного участия оператора (человека). Анализатор АСС-001 является системой состоящей из средств вычисления, хранения данных и средств соединения с сетью, что дает возможность для сбора данных о параметрах функционирования электроэнергетического оборудования.

Область применения портативного измерителя АСС-001 – мониторинг в электрораспределительных системах, формирование единой системы мониторинга энергетической сети. В условиях низкого уровня развития мониторинга энергораспределительных систем ССПИ позволяет сократить расходы на обеспечение ремонтного обслуживания электрических сетей энергораспределительных систем за счет прогнозирования аварийных ситуаций. На данный момент подготовлена фундаментальная база для создания единой ССПИ на основе множества устройств АСС. Работа ССПИ нацелена на реализацию постоянного сбора больших объемов информации и их дальнейшего анализа. Применяемый подход может быть расширен для сбора информации и анализа технического состояния силового оборудования подстанций. На основании собираемых данных, возможно, осуществить прогнозирование отказов оборудования и комплексную оценку состояния оборудования как в рамках одной подстанции, так и в масштабах энергосистемы.

Библиографический список

1. *Шалыт Г.М.* Определение мест повреждения в электрических сетях. – М.: Энергоиздат, 1982. – 312 с.

2. *Фокин Ю.А.,* Туфанов В.А. Оценка надѐжности систем электроснабжения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 224 с.

3. *The Future of Jobs.* Employment, Skills and Workforce strategy for The Fourth Industrial Revolution: report [Электронный ресурс]. 2016. January. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf (дата обращения: 27.10.2017).

4. *Открытая лекция* Роба ван Краненбурга, основателя Европейского совета по «Интернет вещей» [Электронный ресурс] http://internetofthings.ru/85-blog/events/70-iot-krasota-i-koevolyutsiya-v tekhnosredakh-novogo-urovnya (дата обращения: 25.05.2017).

5. *Статья* «Что такое интернет вещей» Internet of Things, IoT [Электронный ресурс] http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:%D0%A7%D1%82%D0%BE_%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D0%B9_(Internet_of_Things,_IoT) (дата обращения: 25.05.2017).

6. *Крэйг Хант*. TCP/IP. Сетевое администрирование, 3-еиздание. Пер. с англ. СПб: Символ-Плюс, 2007. – 816 с.

7. *Статья «Простым* языком о HTTP» [Электронный ресурс] https://habrahabr.ru/post/215117 (дата обращения 25.05.2017).

8. *Статья «Устройства* обеспечения качества электрической энергии серии ProGRID» [Электронный ресурс] https://e-ks.ru/info/articles/ustroystva-obespecheniya-kachestva-elektricheskoy-energii-serii-progrid/ (дата обращения 25.05.2017).

9. *Bradley J., Barbier J.,* Handler D. Embracing the Internet of Everything To Capture Your Share of $14.4 Trillion [Электронный ресурс] : White Paper. 2013. 18 p. URL: https://www.cisco.com/web/about/ac79/docs/innov/IoE_Economy.pdf (дата обращения: 25.10.2017).

10. *Статья «Индустриальный интернет вещей.* Перспективы российского рынка» [Электронный ресурс] http://www.rostelecom.ru/projects/IIoT/study_IDC2016.pdf (дата обращения: 25.05.2017).

FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF THE EQUIPMENT AND MANAGING THE STABILITY OF THE ENERGY SYSTEM THROUGH TECHNOLOGY OF THE INTERNET OF THINGS FOR MONITORING IN ELECTRIC NETWORKS OF LOW VOLTAGE

A.A. Voloshin, *candidate of technical sciences*
E.A. Voloshin, *lecturer*
S.S. Usachev, *student*
A.R. Ententeev, *student*
B.T. Maksudov, *student*
National research university "MPEI"
(Russia, Moscow)

Abstract. *Under low voltage monitoring conditions, it is advisable to use new technologies based on mathematical algorithms with large information flows and databases. In a number of cases, there is a need to monitor low voltage systems with subsequent safety and systematization of measurements, which reduces the costs of maintenance of electrical networks and power distribution systems. A device was designed and developed to monitor the network. The basis of the developed meter was the microcontroller ESP8266 and the current sensor module ACS712. As a result, the design solution of the portable meter was obtained, which allows measuring the current values in electrical networks with subsequent systematization of the acquired information and sending it to the server. The algorithm of operation of the device based on Internet technologies of things is developed. The declared meter and derived algorithms of the network device operation can be used to improve the quality of monitoring in electricity distribution systems, the creation of a unified monitoring system for the power grid, the prediction and assessment of the technical condition of equipment and the management of the reliability of the power system.*

Keywords: *Internet of things, network status monitoring, electrical networks, microcontrollers, large data, monitoring of primary equipment.*