

УДК 620.93

А.Н. Лыков, А.Б. Селедкова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия;

ПЕРЕУПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКОЙ В СИСТЕМЕ SMART GRID

Развитие ветровой энергетики позволило создать новое поколение ветряных турбин с более длинными лопастями, более высокими башнями, более высокой эффективностью и низкими затратами на техническое обслуживание за счет совершенствования связанных с ними технологий. Тем не менее, ветряные турбины все еще работают вслепую, потому что центр управления отвечает за управление и контроль отдельных ветровых турбин, которые включаются или выключаются в зависимости от спроса на электроэнергию.

В статье рассматриваются вопросы применения системы умных сетей (Smart Grid) в ветрогенерации и основные направления применения. Анализируется типовая структура связи ветровой турбины, построенная на архитектуре, на основе выключателей. Рассматриваются основные недостатки применения подобной системы, а также был произведен анализ основных стандартов, на основе которых производится передача данных внутри системы, определяются требования к сети и конструкции.

Предлагается внедрение модели умной ветрогенерации за счет связи машина–машина, которая позволят машинам совершать распределение и обмен данными и измерениями зондирований. Это достигается внедрением иерархических сетевых архитектур. Предлагаемая архитектура сетей связи для ветрогенерации состоит из трех сетей: сеть управления турбиной, сеть управления станцией и сеть контроля управлением. В целях реализации иерархических сетевых архитектур оптимальным видится гибридное решение системы связи.

За сбор и управление всей информацией в системе ветрогенерации отвечает SCADA-система с интервальным методом опроса данных, что позволит сократить интервал задержки между опросами. Применение данной модели предназначено для обмена данными зондирования внутри системы в целях максимизации выработки электроэнергии и повышения КПД турбины.

Ключевые слова: ветровая турбина, ветроэнергетика, ветроэлектростанции, мониторинг ветропарка, генерация, гибридная система связи, иерархическая сетевая архитектура, интервальный метод, топология сети, сети связи, умные ветровые генераторы, Ethernet, EPON, SCADA, Smart Grid.

A.N. Lykov, A.B. Seledkova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

RE MANAGEMENT OF DISTRIBUTED WIND POWER IN THE SMART GRID SYSTEM

The development of wind energy has created a new generation of wind turbines with longer blades, towers higher, higher efficiency and lower maintenance costs by improving the technologies associated with them. However, wind turbines are still working in the blind, because the control center is responsible for the management and control of the individual wind turbines, which are switched on or off depending on the demand for electricity.

This article discusses the use of smart grid system (Smart Grid) in wind power generation, the main directions of use. We analyze the structure of a typical connection of the wind turbine, built on an architecture based on circuit breakers. The main disadvantages of such a system.

The second section was made analysis of the basic standards, based on which the transmission of data within the system, defines the requirements for the network and the design.

It proposed the introduction of wind power generation intelligent model by linking machine-a machine that will allow machines to perform the distribution and exchange of data and measurement probes. This is achieved by the introduction of hierarchical network architectures. The proposed architecture of communication networks for wind power generation is composed of three networks: turbine control network, network management station and network management control. In order to implement hierarchical network architectures, optimal hybrid solution seems the communication system.

For the collection and management of all information in the wind power generation system meets the SCADA system with interval by survey data, which will reduce the interval between polling delay. The use of this model is designed for sharing sensing data within the system in order to maximize power generation and improve the efficiency of the turbine.

Keywords: Wind turbine, wind power, wind farm, wind farm monitoring, generation, hybrid connection system, hierarchical network architecture, interval method, the network topology, communication network, smart wind generators, Ethernet, EPON, SCADA, Smart Grid.

Введение. Одним из самых важных требований для ветрогенерации является создание надежной сети связи для мониторинга ветропарка. Центр управления несет ответственность за автономный мониторинг, управление и контроль работы станций, и вмешательство человека требуется только в случае изменения конфигурации, технического обслуживания, ремонта или разрушения объекта [1]. Большая часть систем диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) работает с собственными протоколами с ограниченной пропускной способностью и низким возможностями, которые не могут поддерживать будущие потребности связи. Надежная коммуникационная инфраструктура необходима, так как она играет основную часть в обеспечении эффективного мониторинга, эксплуатации и защиты как для ветрогенераторов, так и для энергетических систем. Существует потребность в интеллектуальных сетях связи без вмешательства человека между системой, связывающей ветровые турбины и центром управления. Как только ветровые турбины

станут интеллектуальными машинами в системе умной ветрогенерации, турбины будут иметь возможность взаимодействовать и обмениваться данными зондирования. Данное направление считается прогрессивным в инфраструктуре пассивных оптических сетей (PON) для следующего поколения крупномасштабных ветровых электростанций [2].

1. Smart Grid в ветрогенерации. Система электропитания состоит из семи интегрированных областей: рынок, эксплуатация, поставщики услуг, производство, передача, распределение и потребление. Данная работа фокусируется на электроэнергии, вырабатываемой системой ветрогенерации. Сфера генерации в системе электроснабжения электрически связана с передачей энергии и участием интерфейсов в эксплуатации, связи с рынками и областями передачи энергии [3]. Особое внимание должно быть уделено коммуникационной инфраструктуре, поскольку сети связи также важны, как и сама электросетевая инфраструктура, а сбои в сети связи будут способствовать очень высокому проценту крупных аварий для системы питания [4]. Есть три направления для применения умной ветрогенерации (рис. 1):



Рис. 1. Умные ветровые электростанции. SCADA-системы диспетчерского управления и сбора данных

– направление, связанное с турбиной, основывается на том, что ветряные турбины напрямую взаимодействуют и обмениваются данными с другими ветровыми турбинами для максимального производства электроэнергии, пригодности и срока службы;

– сеть системы ветрогенерации поддерживает надежное соединение между ветропарком и основной сетью. Она должна быть надежной, масштабируемой и быстрой, а также должна удовлетворять диапазону качества для различных приложений;

– помогает контролировать центр управления, улучшая основные функции мониторинга, анализа и контроля.

Обычная инфраструктура связи ветрогенерации является архитектурой, построенной на основе выключателей, где каждый ветродвигатель оснащен промышленным коммутатором Ethernet в основании башни, и волоконно-оптические кабели используются для соединения между ветряными установками. Передаваемые данные из ветровых турбин, чтобы достичь центра управления, могут пройти путь через множество коммутаторов Ethernet, основываясь на расположения турбины и топологии коммутаторов Ethernet [5, 6].

Ограничениями традиционных архитектур для коммутаторов Ethernet являются:

- низкая надежность, отказ в ветровой турбине коммутаторов Ethernet может повлиять на работу оставшихся турбин, не допуская их соединения с центром управления;
- высокая стоимость, цена коммутаторов Ethernet слишком высока, и множество независимых переключателей и каналов связи еще более увеличивают стоимость [7];
- сложность в обеспечении мониторинга и контроля в режиме реального времени, в случае обмена общей физической связью со всеми потоками ветровой турбины.

Чтобы решить вышеупомянутые проблемы, преимущества современных технологий и услуг должны быть рассмотрены для текущих электроэнергетических систем, с упором на повышение эффективности электрических сетей, надежности, масштабируемости, расширяемости, и безопасности. Кроме того, должны быть рассмотрены недавние исследования, сделанные в области коммуникационных технологий и протоколов [8, 9].

2. Передача данных в ветроустановке и требования к сети.

С учетом стандарта IEC 61400-25 была классифицирована ветровая турбина, генерирующая данные в трех различных категориях: аналоговые измерения, статус информации и защита, контроль информации. Аналоговые измерения и статус информации представляют различные датчики и измерительные приборы, периодически передавая данные зондирования в центр управления в различных временных интервалах. Контроль информации используется для целей автоматизации подстанций и удаленного мониторинга и управления. Для того чтобы справиться и сохранить сгенерированные данные из узлов датчиков, ветряные турбины оснащены главным ПК. Он подключен через линии связи к контроллеру ветряных турбин, который периодически передает данные в центр управления, как показано на рис. 2. Кроме того, контроллер ветряных

турбин позволяет центру удаленно управлять ветряной турбиной и контролировать ее [10]. На основании данных производителя турбины собственный протокол используется для передачи сгенерированного трафика через различные промежутки времени *

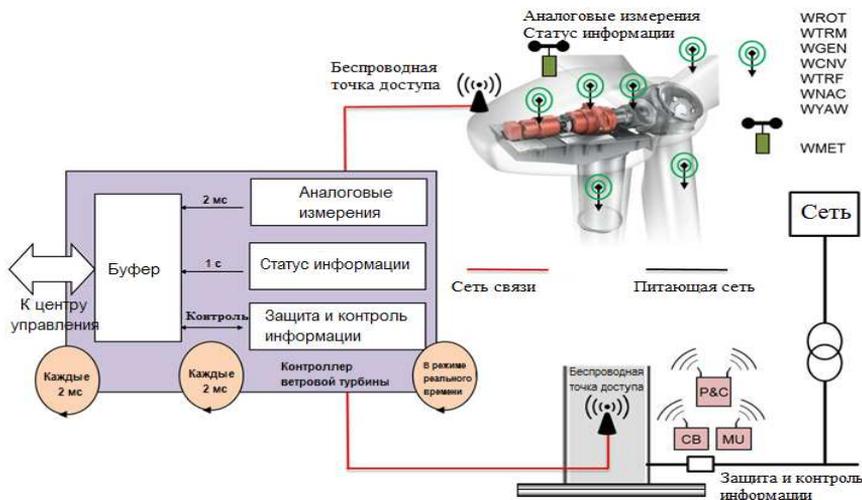


Рис. 2. Сгенерированные данные из сенсорных узлов со стороны ветровых турбин; AP: точка доступа

Конструкции ветроэлектростанции системы SCADA и коммуникационной инфраструктуры должны быть выполнены с учетом общей системы устойчивости, чтобы обеспечить высокий уровень доступности для системы SCADA и связанного управления и защиты оборудования [5, 6]. Основными требованиями к конструкции являются:

– вопросы окружающей среды: ветровые турбины подвергаются экстремальным условиям окружающей среды, включая высокий уровень загрязнения, соли, влажности и резких изменений температуры. Устройства, работающие в морских условиях, должны иметь специальную конструкцию для предотвращения коррозии и высокой влажности;

– резервирование: сеть связи ветряной электростанции всегда гарантирует надлежащее функционирование против единой точки отказа. Все критические сетевые устройства, такие как коммутаторы или маршрутизаторы, должны быть продублированы;

– самовосстановление сети: сети связи ветряной электростанции должны быть устойчивы к неудачам и характеризоваться быстрым временем восстановления [11].

* Международный стандарт IEC 61400-25. Ветряные турбины.

Учитывая, что стандарт IEC 61400-25 не предусматривает каких-либо конкретных требований к сети связи для ветряных электростанций, тем не менее, критические характеристики связи, такие как безопасность и диапазон качества, должны рассматриваться в целях разработки коммуникационной сети для ветряных электростанций. Диапазон качества является одним из важных параметров для оценки сети связи ветряной электростанции. Он определяет сетевые характеристики, такие как полоса пропускания, задержки, потери пакетов и т.д. Требования к временным связям для разных типов сообщений приведены в стандарте IEC 61850 [8, 12].

Две различные технологии связи, т.е. проводные и беспроводные, могут быть использованы для местной передачи данных ветровой турбины, а также для связи между ветровой турбиной и центром управления [13, 14].

3. Предлагаемая система умной ветрогенерации. В этом подразделе предлагаются сети связи для архитектуры умной ветрогенерации. Они состоят из TAN, FAN и CAN. Гибридные архитектуры связи используются как для беспроводных, так и проводных решений, чтобы реализовать предлагаемую архитектуру связи. Проводные решения на основе архитектуры связи EPON используются для связи между ветровыми турбинами и центром управления. Это структура датчика данных для структуризации данных зондирования из разных частей ветряных турбин внутри ветровой турбины.

Иерархические сетевые архитектуры. Последние достижения в технологии датчиков и коммуникационных сетей рассматриваются в качестве основных драйверов для достижения системы умной ветрогенерации. Кроме того, связи машина–машина (M2M) в промышленных сетях позволят машинам совершать распределение и обмен данными с небольшим вмешательством человека или без него. В предлагаемой системе генерации ветряные турбины – интеллектуальные машины, которые позволяют турбинам взаимодействовать и обмениваться данными и измерениями зондирования. Основные особенности будущих умных ветряных станций:

- ветровые турбины взаимодействуют с другими ветровыми турбинами;
- ветровые турбины имеют много узлов с датчиками, которые помогают реагировать на различные условия;

- ветровые турбины с неисправностью могут использовать данные мониторинга соседних ветровых турбин;
- ветровые турбины включают в себя системы хранения энергии и прогнозирования алгоритмов;
- ветрогенераторы выбирают оптимальное время для снабжения энергосистемы, основываясь на графиках нагрузок;
- каждая турбина может оценить количество мощности, которую она генерирует по сравнению с другими турбинами.

Предлагаемая архитектура сетей связи для ветрогенерации состоит из трех сетей: сеть управления турбиной (TAN), сеть управления станцией (FAN) и сеть контроля управлением (CAN). Архитектура сетей связи состоит из иерархических архитектур, где уровень 1 – это узлы с датчиками турбины, уровень 2 – взаимодействие ветровых турбин и ветра, уровень 3 является местным центром управления взаимодействиями ветровой турбины и уровень 4 – это взаимодействие между ветроустановками для оптимизации работы сети. В целях реализации иерархических сетевых архитектур оптимальным видится гибридное решение системы связи. Архитектура на основе EPON представляет собой проводную систему, в то время как ZigBee-Pro применяется для беспроводного решения [5].

Для того чтобы контролировать работу ветровой турбины, многие узловые датчики и измерительные приборы устанавливаются внутри самой турбины. Контроллер турбины расположен со стороны ветровой турбины, поскольку он представляет собой промежуточную стадию между системой мониторинга датчиков и сетью связи интерфейса (оптический сетевой блок или беспроводная точка доступа). Соединение между центром управления и ветровой турбиной может быть установлено напрямую через проводное соединение или через беспроводную систему, или напрямую через систему передатчиков.

Проводная архитектура настраивается на основе топологии электроэнергетики, где оптическое волокно встроено в силовую кабель. Инфраструктура беспроводной системы не зависит от конфигурации сети. Архитектура сети, основанная на сети EPON, состоит из оптического сетевого блока на стороне ветровых турбин и терминала оптической линии в центре управления. Это исключает использование активных устройств (Ethernet-коммутаторов) на пути сигнала от ветровой турбины к центру управления, который представляет собой надежное и экономически эффективное решение. Беспроводная сеть или радиоканал

могут быть включены для повышения надежности сети в качестве резервного или вторичного звена.

Основными функциями центра управления являются мониторинг, анализ и контроль [15]. Есть различные устройства в центре управления, в том числе метеорологического сервера, системы мониторинга состояния, интерфейса человек-машина, контроля автоматического отключения и серверы учета [6].

Передача информации в сети EPON. Система SCADA отвечает за сбор и управление всей информацией между удаленным терминалом устройства на стороне ветровых турбин и на центре управления сервера SCADA с целью контроля и управления. На рис. 3 проиллюстрирована основная система SCADA, используемая с ветровыми генераторами, где данные из всех ветровых турбин собираются и отправляются через оптоволоконный кабель в центр управления. Следует отметить, что сервер SCADA в ветрогенераторах представляет собой устройство, которое действует в качестве ведущего в системе SCADA, а удаленный терминал устройства выступает в качестве подчиненного [16].

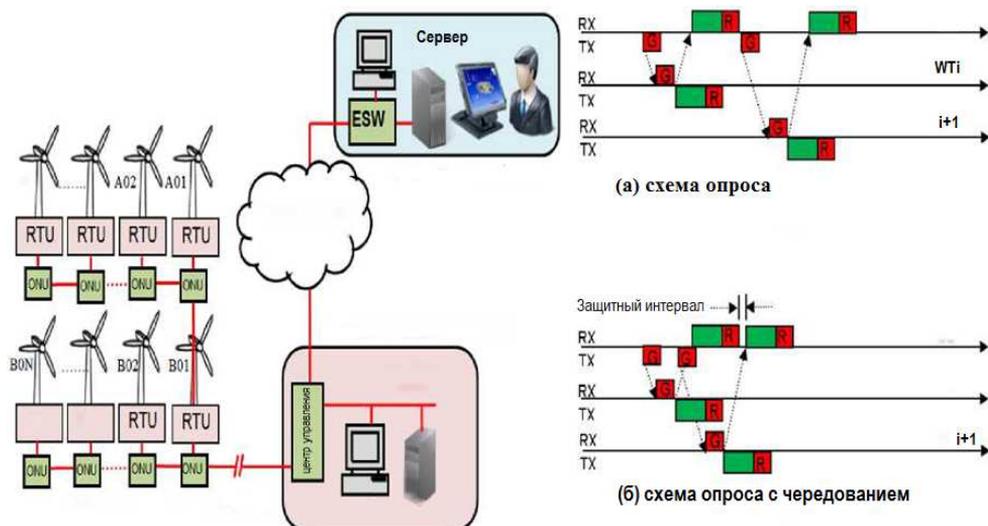


Рис. 3. SCADA-система для ветряной электростанции (WPF) и механизмом планирования: а – схема опроса; б – схема опроса с чередованием. ESW: Ethernet коммутатор; RTU: удаленный терминальный блок

Функции блока терминала оптической линии и оптического сетевого блока, расположенных на стороне ветровой турбины, в архитектуре EPON аналогичны операции ведущий/ведомый между SCADA-сервером

и удаленным терминалом устройства в ветровой станции. Сервер SCADA удаленного терминала устройства опрашивает турбину с целью получения данных в определенных временных интервалах и может посылать управляющие сигналы по мере необходимости [17].

Кроме того, в системе EPON терминал оптической линии опрашивает оптический сетевой блок каждые несколько миллисекунд. Чтобы проиллюстрировать эту концепцию, на рис. 3, а показана простая схема опроса. В этой схеме центр управления посылает сообщение GATE в турбину T_i , а затем останавливается в ожидании данных, прежде чем центр управления посылает его T_{i+1} . С точки зрения системы EPON минусом схемы опроса и остановки опроса является то, что большая часть пропускной способности на входе канала тратится впустую, и поэтому увеличивается задержка пакета [18]. На рис. 3, б показана интервальная схема опроса, что позволяет терминалу оптической линии, отправить сообщение GATE в T_{i+1} до того, как данные из предыдущей турбины T_i не поступят. В этой схеме достигнуто значительное улучшение производительности сети с точки зрения использования канала, и может быть достигнуто снижение средней задержки.

Выводы. В данной статье представлена методика применения системы Smart Grid в ветрогенерации. Внедрение системы Smart Grid на уровне генерации практически не исследовано. В статье представлена концепция системы связи для ветровых генераторов. Для этого рассмотрены стандарт IEC 61400-25 и требования, предъявляемые к сети. Были проанализированы существующие способы передачи данных, их достоинства и недостатки. Была предложена иерархическая структура управления системой, рассмотрены особенности каждого уровня. За сбор и управление всей информацией между удаленным терминалом устройства и центром управления отвечает SCADA-система. Система EPON позволяет терминалу оптической линии опрашивать оптический сетевой блок каждые несколько миллисекунд. Применение же интервальной схемы опроса позволит сократить задержку и повысить эффективность работы системы.

Библиографический список

1. Potter C.H., Hancke G.P., Silva B.J. Machine-to-Machine: Possible Applications in Industrial Networks // Proceedings of the International Conference on Industrial Technology. – 2013. – P. 1321–1326.

2. Ahmed M.A., Yang W.-H., Kim Y.-C. Performance Evaluation of EPON-Based Communication Network Architectures for Large-Scale Offshore Wind Power Farms // *Multimedia and Ubiquitous Engineering*; Springer. – 2013. – P. 841–848.

3. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0, NIST Special Publication 1108. – Gaithersburg, Maryland, 2010.

4. Shahraeini M., Javidi M.H.; Ghazizadeh M.S. Comparison between communication infrastructures of centralized and decentralized wide area measurement systems // *IEEE Trans. Smart Grid*. – 2011. – № 2. – P. 206–211.

5. Designing and Deploying Ethernet Networks for Offshore Wind Power Applications—A Case Study / M. Goraj, Y. Epassa, R. Midence, D. Meadows // *Managing the Change: 10th IET International Conference on Developments in Power System Protection*. – Manchester, 29 March – 1 April 2010. – P. 1–5.

6. Pettener A.L. SCADA and Communication Network for Large Scale Offshore Wind Power Systems // *IET Conference on Renewable Power Generation*. – Edinburgh, 6–8 September, 2011. – P. 1–6.

7. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЭЭС России // *Энергоэксперт*. – 2009. – № 4(15).

8. Khan R.H., Khan J.Y. A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network // *Computer Network*. – 2013. – P. 825–845.

9. Communication systems for grid integration of renewable energy resources / F.R. Yu, P. Zhange, W Xiao., P. Choudhury // *IEEE Netw*. – 2011. – P. 22–29.

10. Johnsson A., Svensson J. Wind Power Communication—Design and Implementation of Test Environment // for IEC61850/UCA2; Elforsk Rapport – 02:16; Elforsk AB: Stockholm, Sweden. – 2002.

11. Энергетика, Smart Grid, интеллектуальные транспортные сети. Практические возможности в России / А.В. Конев, В.П. Куприяновский, А.Ю. Бадалов, А.Г. Богданов, С.А. Волков, С.А. Синягов // *Информационные системы*. – 2014. – № 1.

12. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: Энергия, 2010.

13. Parikh P., Kanabar M.G., Sidhu T.S. Opportunities and Challenges of Wireless Communication Technologies for Smart Grid Applications // *IEEE Power and Energy Society Meeting*. – Minneapolis, 25–29 July 2010. – P. 1–7.

14. Smart grid technologies: Communication technologies and standards / V.C. Gungor, D. Sahin, T. Kocak, S. Ergut, C. Buccella, C. Cecati, G.P. Hancke // *IEEE Trans. Ind Inform.* – 2011. – P. 529–539.

15. Кычкин А.В., Микрюков Г.П. Организация системы мониторинга энергетических параметров на базе JEVIS-совместимых технологий // *В мире научных открытий.* – 2015. – № 10.2(70).

16. Kawady T.A., Mansour N.M., Taalab A.I. Wind Farm Protection Systems: State of the Art and Challenges // *Distributed Generation*; ed. Gaonkar D.N.; InTech – Rijeka, Croatia, 2010. – Chapter 12. – P. 265–288.

17. Кычкин А.В. Протокол беспроводного сбора энергоданных для систем мониторинга реального времени // *Вестник Южно-Урал. гос. ун-та. Сер. Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника.* – 2014. – Т. 14. – № 4.

18. Kramer G. *Ethernet Passive Optical Networks* // McGraw-Hill. – New York, 2005.

References

1. Potter C.H., Hancke G.P., Silva B.J. Machine-to-Machine: Possible Applications in Industrial Networks. *Proceedings of the International Conference on Industrial Technology*, 2013, pp. 1321-1326.

2. Ahmed M.A., Yang W.-H., Kim Y.-C. Performance Evaluation of EPON-Based Communication Network Architectures for Large-Scale Offshore Wind Power Farms. *Multimedia and Ubiquitous Engineering*; Springer, 2013, pp. 841-848.

3. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 1.0, NIST Special Publication 1108. Gaithersburg, Maryland, 2010.

4. Shahraeini M., Javidi M.H.; Ghazizadeh M.S. Comparison between communication infrastructures of centralized and decentralized wide area measurement systems. *IEEE Trans. Smart Grid*, 2011, no. 2, pp. 206-211.

5. Goraj M., Epassa Y., Midence R., Meadows D. Designing and Deploying Ethernet Networks for Offshore Wind Power Applications—A Case Study. *Managing the Change: 10th IET International Conference on Developments in Power System Protection*; Manchester, 29 March – 1 April 2010, pp. 1-5.

6. Pettener A.L. SCADA and Communication Network for Large Scale Offshore Wind Power Systems. *IET Conference on Renewable Power Generation*; Edinburgh, 6-8 September 2011, pp. 1-6.

7. Dorofeev V.V., Makarov A.A. Aktivno-adaptivnaia set' – novoe kachestvo EES Rossii [Active-adaptive network – a new quality of UES of Russia]. *Energoekspert*, 2009, no. 4(15).

8. Khan R.H., Khan J.Y. A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network. *Computer Network*, 2013, pp. 825-845.

9. Yu F.R., Zhange P., Xiao W., Choudhury P. Communication systems for grid integration of renewable energy resources. *IEEE Netw*, 2011, pp. 22-29.

10. Johnsson A., Svensson J. *Wind Power Communication–Design and Implementation of Test Environment. For IEC61850/UCA2*; Elforsk Rapport – 02:16; Elforsk AB: Stockholm, Sweden, 2002.

11. Konev A.V., Kupriianovskii V.P., Badalov A.Iu., Bogdanov A.G., Volkov S.A., Siniagov S.A. Energetika, Smart Grid, intellektual'nye transportnye seti. Prakticheskie vozmozhnosti v Rossii [Power industry, Smart Grid, intellectual transport networks. Capacities in Russia]. *Informatsionnye sistemy*, 2014, no. 1.

12. Kobets B.B., Volkova I.O. Innovatsionnoe razvitiye elektro-energetiki na baze kontseptsii Smart Grid [Innovation development of power industry on the base of Smart Grid strategy]. Moscow: Energiia, 2010.

13. Parikh P., Kanabar M.G., Sidhu T.S. Opportunities and Challenges of Wireless Communication Technologies for Smart Grid Applications. *IEEE Power and Energy Society Meeting. Minneapolis, 25-29 July 2010*, pp. 1-7.

14. Gungor V.C., Sahin D., Kocak T., Ergut S., Buccella C., Cecati C., Hancke G.P. Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Trans. Ind Inform*, 2011, pp. 529-539.

15. Kychkin A.V., Mikriukov G.P. Organizatsiia sistemy monitoringa energeticheskikh parametrov na baze JEVIS-sovmestimykh tekhnologii [Energy parameters monitoring system configuration on the base of JEVIS-compatible technologies]. *V mire nauchnykh otkrytii*, 2015, no. 10.2(70).

16. Kawady T.A., Mansour N.M., Taalab A.I. Wind Farm Protection Systems: State of the Art and Challenges. *Distributed Generation*; ed. Gaonkar D.N.; InTech – Rijeka, Croatia, 2010, Chapter 12, pp. 265-288.

17. Kychkin A.V. Protokol besprovodnogo sbora energodannykh dlia sistem monitoringa real'nogo vremeni [The report of the wireless power data collection for real time monitoring]. *Vestnik Iuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya. Komp'iuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*, 2014, vol. 14, no. 4.

18. Kramer G. *Ethernet Passive Optical Networks*. McGraw-Hill. New York, 2005.

Сведения об авторах

Лыков Анатолий Николаевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lykov45@yandex.ru).

Сеledkova Александра Борисовна (Пермь, Россия) – магистрант Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: aleksandrasedkova@yandex.ru).

About the authors

Lykov Anatoly Nikolaevich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Professor of the Department of Microprocessors Automation Means Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: lykov45@perm.ru).

Seledkova Aleksandra Borisovna (Perm, Russian Federation) is a Undergraduate Student Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: aleksandrasedkova@yandex.ru).

Получено 12.10.2016