



Развитие энергетических систем с применением информационно-коммуникационных технологий

^{1*}АЛИНА Гаухар Жуманжапаровна, докторант, diamond_gaxa@mail.ru,

¹ТАШАТОВ Нурлан Наркенович, к.ф.-м.н., доцент, tash.nur@mail.ru,

²ТАТКЕЕВА Галина Галимзяновна, д.т.н., зав. кафедрой, tatkeeva@mail.ru,

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Казахстан, 010008, Нур-Султан, ул. Сапиева, 2,

²Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Женис, 62,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель данной статьи – представить возможный путь к распределенной сети следующего поколения, которая будет простой, рентабельной и эффективной благодаря большей интеграции распределенных энергоресурсов. Рассматриваются вопросы перехода к интеллектуальным электрическим сетям, концепция развития возобновляемых источников энергии, распределенных энергоресурсов. Наглядно показана эволюция развития энергетических систем. Описана трансформация технических параметров: изменение стоимости, создаваемой программным обеспечением и быстрыми инновациями, операционные изменения: от ручного к автоматизированному и автономному режиму работы, перераспределение управления. Цель работы: провести анализ требований и критериев для разработки программного обеспечения. Методология исследования: конкретизация теоретической основы для нового знания. Изучены стадии и шаги перехода от ручного управления к автоматизированному и автономному.

Ключевые слова: электроэнергетика, интеллектуальные системы, управление, смарт-технологии, операция, транзактивная энергия.

Введение

В электроэнергетике происходит переходный период. Электрические сети развиваются, чтобы

стать интеллектуальными сетями. Эта тенденция ускоряется в нескольких регионах за счет дальнейшего развития возобновляемых источников энер-

гии, которые все больше проникают в сети в виде распределенных энергоресурсов (РЭР). Растущее число этих активов РЭР представляет собой крайне неустойчивые энергоресурсы.

В частности, ветряные турбины и солнечные батареи представляют проблему, когда дело доходит до прогнозирования и контроля поставок [1]. Благодаря эффекту порядка [2], такое прерывистое производство энергии из возобновляемых источников может снизить рыночную цену [3, 4] энергии. Однако растущее значение летучих возобновляемых источников в структуре энергетики приведет к возникновению критических ситуаций в энергосистеме [5, 6]. Рынки электроэнергии должны быть готовы к интеллектуальным сетям, чтобы они были способны справиться с общесетевой интеграцией активов РЭР и в то же время эффективно контролировать децентрализованные энергоблоки, когда они переходят в автономные режимы работы (рисунок 1). Для этого необходимо обновить существующие электрические сети, создав новую концепцию умных сетей [7, 8].

Эта новая концепция интеллектуальной сети с распределенными энергетическими системами о знаменует появление интеллектуальных сетей электроснабжения, которые позволяют использовать энергоресурсы эффективно и надежно.

Сдвиг концепции требует более активного взаимодействия рынка и сети [8], предлагает множество возможностей и требует быстрых инноваций и новых бизнес-моделей, ориентированных на клиента. Технические параметры изменятся, в результате чего в электроэнергетике произойдут следующие серьезные изменения:

1. Изменение стоимости, создаваемой программным обеспечением и быстрыми инновациями.
2. Операционные изменения: от ручного к автоматизированному и автономному режиму работы.
3. Перераспределение управления: от централизованного управления однонаправленными потоками электроэнергии на стороне питания до интеллектуального управления распределителя-

ми электроэнергии и двунаправленными потоками мощности.

И это далеко не полный перечень изменений, за этим следует много, так называемых, экономических изменений.

В этой статье основная мысль сосредоточена на концепции трансактивной энергии (ТЭ), предложенной Советом по сетевой архитектуре Министерства энергетики США (DOE) в 2015 году [9]. ТЭ в широком смысле определяется как «система экономических и контрольных механизмов, которая обеспечивает динамический баланс спроса и предложения во всей электрической инфраструктуре с использованием стоимости в качестве ключевого операционного параметра» [10]. Подход ТЭ способствует большему количеству взаимодействий и транзакций на всех уровнях производства и потребления и предлагает производителям и потребителям возможность более точно согласовывать и балансировать энергоснабжение и спрос на энергию в определенные моменты времени и места. Этот подход лучше подходит для сети с высокой долей РЭР, чем для традиционной иерархической сети. Он обеспечивает трансактивную связь между физической сетью и экономическим рынком, открывая путь для улучшенной совместимости.

1. Цифровизация как фактор ускорения темпов развития электрификации и автоматизации

Цифровизация является ключевым фактором ускорения темпов электрификации и автоматизации. Отражая повсеместную цифровизацию в электроэнергетике и коммунальном хозяйстве, в нашей стране необходимо инвестировать не только в аппаратные компоненты для автоматизации, защиты и управления сетью, но также в комплексные, инновационные и открытые программные решения для ускорения перехода к более экологически чистым источникам энергии.

Необходимо повышение эффективности и надежности по мере перехода к более интеллектуальной и интерактивной сети. Цель данной статьи



Рисунок 1 – Развитие энергетических систем

– представить возможный путь к распределенной сети следующего поколения, которая будет простой, рентабельной и эффективной благодаря большей интеграции РЭР.

Традиционно провайдеры РЭР владеют и предлагают все активы в распределенных энергоресурсах, в то время как агрегаторы объединяют распределенные энергоресурсы (генерация, хранение и гибкие нагрузки) и интегрируют их в сеть. Агрегаторы будут использовать информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) для более эффективного регулирования энергопотребления в соответствии с потребностями рынка и энергосистемы, а также наличием возобновляемых источников энергии (рисунок 2).

Трансактивная энергия – это развивающаяся рыночная концепция, направленная на балансировку сети и, следовательно, улучшающая взаимодействие между сетевыми операторами и операторами рынка [11].

Каждая проблема локальной оптимизации, с которой сталкивается отдельная распределительная подсеть, может быть решена с помощью модуля управления сетью, который имеет определенную степень автономности. Это позволяет принимать решения на основе информации от других модулей управления сетью в соответствующих распределительных подсетях, полученной через платформу. С другой стороны, совместный подход может быть продвинут путем обмена не только информацией между взаимосвязанными распределительными подсетями, но также путем обмена результатами управления отдельными сетями. Таким образом, проблема локальной опти-

мизации каждой отдельной распределительной подсети становится проблемой оптимизации, в которой физически взаимосвязанные распределительные подсети могут решать свои собственные проблемы динамической диспетчеризации путем совместного решения определенных ограничений. Услуга балансировки предоставляет операторам сети модуль управления сетью, который выполняет анализ потоков мощности в режиме реального времени, позволяя оптимизировать напряжение и переменную мощность, а также балансировку фаз и диспетчеризацию мощности, а также координировать операции распределения и передачи.

2. Разработка требований к программному обеспечению

С учетом вышеперечисленного, необходимо создать и внедрить такое программное обеспечение, чтобы оно соответствовало стандартам, упростило процессы учета энергии. Для этого разработаны необходимые требования и критерии. Программное обеспечение (ПО) коммерческого учета относится к системам локального уровня и предназначена для организации коммерческого учета выработанной, распределенной, отпущенной и потребленной электрической энергии.

Программное обеспечение надлежит проектировать как систему, которая позволит:

- вести учет электроэнергии и выполнять следующие функции:
- хранение;
- измерение;
- обработка;



Рисунок 2 – Пример использования торговли энергией на местном рынке более высокого уровня через распределительную сеть

- сбор;
- визуализация.

- предоставлять информацию по измерению и учету электроэнергии Системному оператору.

Целью разработки и работы программного обеспечения является измерение количества электроэнергии, позволяющее определить уровни учетных показателей, применяемых на оптовом рынке электроэнергии РК в финансовых расчетах.

При этом должно быть обеспечено:

- снабжение сотрудников информацией об отпуске, выработке и потреблении электрической энергии;
- увеличение скорости обработки и предоставления информации;
- увеличение полноты, достоверности, точности информации об отпуске, выработке и потреблении электрической энергии;
- снижение потерь электроэнергии;
- повышение оперативного управления и эффективности бизнес-процессов;
- техническое перевооружение системы учета электроэнергии (замена морально и физически устаревших приборов учета электроэнергии);
- внедрение современных технических и программно-технических средств, обеспечивающих:
 - минимальные сроки окупаемости;
 - защиту вложений;
- обладающих:
 - длительными сроками эксплуатации;
 - высокой надежностью;
- обмен информацией по учету электроэнергии с Системным оператором ОРЭ РК.

Под ПО понимается совокупность взаимосогласованных элементов информационного, программного, технического обеспечения, разрабатываемого и поставляемого с необходимой документацией для использования в качестве продукта производственно-технического назначения.

При разработке ПО разработчик должен руководствоваться принципами:

- системности;
- развития (открытости);
- совместимости;
- стандартизации (унификации);
- эффективности.

Принцип системности заключается в том, что при декомпозиции должны быть установлены такие связи между структурными элементами, которые обеспечивают целостность и ее взаимодействие с Системным оператором Оптового рынка электроэнергии РК (далее по тексту – СО ОРЭ РК).

Принцип развития (открытости) заключается в том, что, исходя из перспектив развития объекта автоматизации и надобности приспособления к текущим требованиям, ПО должно создаваться с учетом возможности обновления и пополнения функций и состава без нарушения ее функционирования.

Программное обеспечение должно позволять увеличивать количество:

- автоматизированных рабочих мест;
- технических средств телекоммуникаций;
- счетчиков электроэнергии.

Принцип совместимости заключается в том, что при создании ПО должны быть реализованы информационные интерфейсы, благодаря которым она может взаимодействовать с другими системами.

Принцип стандартизации (унификации) заключается в том, что при создании ПО должны быть рационально применены типовые, унифицированные и стандартизованные:

- проектные решения;
- пакеты программ;
- технические средства телекоммуникаций.

Принцип эффективности заключается в достижении рационального соотношения между затратами на создание и целевыми эффектами, включая конечные результаты, получаемые в результате автоматизации.

Основными показателями, характеризующими высокую эффективность применения техники измерения информации в системе учета, являются:

- высокая точность представления информации;
- синхронность представления измерительной информации (синхронизация выполнения измерений в точках учета);
- достоверность представления информации (автоматизированный процесс регистрации данных от счетчиков).

ПО должно быть защищено:

- от разрушения информации и программ;
- несанкционированного доступа к базам данных.

ПО должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) источником информации должны быть данные, получаемые от счетчиков электрической энергии;
- 2) в схему учета электроэнергии должны входить точки коммерческого учета активной и реактивной электроэнергии;
- 3) в схему учета электроэнергии должны входить точки технического учета электроэнергии;
- 4) данные учета электрической энергии на этапах сбора, обработки, хранения и предоставления должны быть защищены от несанкционированного доступа;
- 5) учетная информация должна быть привязана к единому астрономическому времени;
- 6) система учета электроэнергии должна обеспечивать обмен информацией с СО ОРЭ РК.

ПО учета электроэнергии должно состоять из четырех модулей:

- модуль телекоммуникаций;
- модуль отображения, хранения и управления данными;
- модуль сбора данных;
- модуль измерений электроэнергии.

ПО строится по двухуровневой структуре:

- нижний уровень (далее по тексту – НУ);
- верхний уровень (далее по тексту – ВУ).

В состав НУ входят:

- оборудование комплексов коммерческого учета, включающее в свой состав измерительные трансформаторы тока и напряжения (ТТ и ТН), вторичные цепи ТТ и ТН, счетчики электроэнергии;

- оборудование, обеспечивающее передачу информации НУ на ВУ (шкаф коммуникационный).

ВУ формирует:

- модуль отображения, хранения и управления данными;

- модуль телекоммуникаций;

- модуль сбора данных.

ВУ представляет собой информационно-вычислительный комплекс (ИВК), включающий:

- стойку серверную;

- автоматизированные рабочие места (АРМ).

Модуль сбора данных должен обеспечивать:

- ввод информации с клавиатуры;

- автоматический сбор данных учета электрической энергии со счетчиков;

- подготовку информационного пакета;

- передачу информационного пакета в подсистему телекоммуникаций в соответствии с регламентом.

Подсистема отображения, хранения и управления данными должна обеспечивать:

- передачу данных в необходимом объеме информации;

- формирование базы данных;

- обработку технических данных;

- хранение, сбор и архивирование данных;

- графическое отражение данных;

- табличное отображение данных.

Надежность в целом и каждой ее автоматизированной функции должна быть достаточна для достижения установленных целей функционирования ПО при заданных условиях применения.

В качестве математического обеспечения ПО должны использоваться типовые математические методы и алгоритмы расчета:

- параметров учета электроэнергии в различных режимах организации;

- электропитания собственных нужд;

- связи с электрическими сетями потребителей электрической энергии;

- технико-экономических показателей.

ПО должно обладать следующими свойствами:

- функциональная достаточность (полнота);

- надежность (в том числе восстанавливаемость, наличие средств выявления ошибок);

- адаптируемость;

- модифицируемость;

- модульность построения;

- удобство эксплуатации (в том числе для простых пользователей).

Требования к серверной части:

- регламентированный опрос счетчиков электроэнергии;

- ручной ввод данных счетчиков электроэнергии;

- формирование базы данных (накопление и хранение информации по каждой контролируемой точке, группе учета и по текущей конфигурации системы);

- автоматический контроль и коррекцию системного времени;

- автоматический контроль, коррекцию и синхронизацию хода внутреннего таймера счетчиков электроэнергии с системным временем;

- диагностирование системы и ее перенастройку при изменении конфигурации;

- разграничение доступа со стороны пользователей согласно полномочиям пользователей;

- накопление и хранение информации по функционированию системы;

- предоставление диалогового режима;

- обеспечение доступа АРМ к БД сервера;

- информационное взаимодействие СО ОРЭ РК.

Заключение

В данной статье приведен далеко не полный перечень требований и критериев по разработке ПО. Представлено потенциальное решение для разработки ПО и для реализации концепции распределенных энергоресурсов. ПО в первую очередь ориентировано на распределительную сеть. Для осуществления данной концепции участникам рынка энергетики предлагается взять на себя новые роли и предъявить новые требования. Представленные здесь требования подчеркивают необходимость разгрузки энергосистемы непосредственно на уровне распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. S. Knab, K. Strunz, and H. Lehmann. Smart grid: The central nervous system for power supply. Technical report, Universitätsverlag der TU Berlin, 2014.
2. Frank Sensfuss, Mario Ragwitz, and Massimo Genoese. The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. Energy Policy, 36(8):3086 – 3094, 2018. ISSN 0301-4215.
3. Sven Bode and Helmuth-M. Groscurth. The impact of PV on the German power market. Zeitschrift fuer Energiewirtschaft, 35(2):105–115, 2011. ISSN 0343-5377.
4. Janina C. Ketterer. The impact of wind power generation on the electricity price in Germany. Energy Economics, 44(0):270-280, 2014. ISSN 0140-9883.

5. P.N. Vovos, A.E. Kiprakis, A.R. Wallace, and G.P. Harrison. Centralized and distributed voltage control: Impact on distributed generation penetration. Power Systems, IEEE Transactions on, 22(1):476-483, Feb 2017.
6. E.J. Coster, J.M.A. Myrzik, B. Kruimer, and W.L. Kling. Integration issues of distributed generation in distribution grids. Proceedings of the IEEE, 99(1): 28-39, Jan 2011.
7. H. Farhangi. The path of the smart grid. Power and Energy Magazine, IEEE, 8(1): 18–28, January 2011.
8. Yong Ding. Distributed Market-Grid Coupling Using Model Predictive Control. Dissertation. Faculty of Informatics, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), June 2016.
9. The GridWise Architecture Council. GridWise Transactive Energy Framework. PNNL-22946 Ver1.0. January 2015.
10. Телегина Е.А., Еремин С.В., Тиртышова Д.О. Смена парадигмы мирового энергоснабжения: эволюция бизнес-моделей европейских энергетических компаний // Известия. № 3. 2018.
11. Frieder Borggrefe and Karsten Neuhoff. Balancing and intraday market design: Options for wind integration. 2011.

Ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолдана отырып, энергетикалық жүйелерді дамыту

¹*АЛИНА Гауһар Жұманжапарқызы, докторант, diamond_gaxa@mail.ru,

¹ТАШАТОВ Нұрлан Наркенұлы, ф.-м.ф.к., доцент, tash.nur@mail.ru,

²ТАТКЕЕВА Галина Галимзяновна, т.ф.д., кафедра меңгерушісі, tatkeeva@mail.ru,

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан, 010008, Нұр-Сұлтан, Сәтпаев көш., 2,

²С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан, 010011, Нұр-Сұлтан, Жеңіс даңғылы, 62,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Осы мақаланың мақсаты – таратылған энергия ресурстары интеграциясының арқасында қарапайым, үнемді және тиімді келесі таралған желілерге жол ұсыну. Зияткерлік электр желілеріне көшу мәселелері, жаңартылатын энергия көздерін, таратылған энергия ресурстарын дамыту тұжырымдамасы қарастырылады. Энергетикалық жүйелердің даму эволюциясы көрнекі түрде көрсетілген. Техникалық параметрлердің өзгеруі сипатталған: бағдарламалық жасақтама мен жылдам инновациялар жасаған құнның өзгеруі, операциялық өзгерістер: қолмен жұмыс істеуден автоматтандырылған және автономды жұмыс режиміне дейін, басқаруды қайта бөлу. Жұмыстың мақсаты: бағдарламалық жасақтаманы әзірлеудің талаптары мен критерийлеріне талдау жасау. Зерттеу әдістемесі: жаңа білімнің теориялық негізін нақтылау. Автоматтандырылған және автономды қолмен басқарудан ауысудың кезеңдері мен қадамдары зерттелді.

Кілт сөздер: электр энергетикасы, зияткерлік жүйелер, басқару, смарт-технологиялар, операция, трансактивтік энергия.

Developing Power Systems Using Information and Communication Technologies

¹*ALINA Gaukhar, doctoral student, diamond_gaxa@mail.ru,

¹TASHATOV Nurlan, Cand. Phys. and Math. Sci., Associate Professor, tash.nur@mail.ru,

²TATKEYEVA Galina, Dr. Tech. Sci., Head Department, tatkeeva@mail.ru,

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan, 010008, Nur-Sultan, Satpayev str., 2,

²Kazakh Agrotechnical University n.a. S. Seifullina, Kazakhstan, 010011, Nur-Sultan, Zhenis ave., 62,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of this article is to present a possible path to a next generation distributed network that is simple, cost-effective and efficient through greater integration of distributed energy resources. The issues of transition to smart power networks, the concept of developing renewable energy sources, distributed energy resources are considered. The evolution of the development of energy systems is clearly shown. The transformation of technical parameters is described: changing the value created by software and rapid innovations, operational changes: from manual to automated and autonomous operation, redistribution of control. The purpose of work is to analyze the requirements and criteria for software development. The research methodology includes concretization of the theoretical basis for new knowledge. The stages and steps of the transition from manual control to automated and autonomous are studied.

Keywords: electric power industry, intelligent systems, control, smart technologies, operation, transactive energy.

REFERENCES

1. S. Knab, K. Strunz, and H. Lehmann. Smart grid: The central nervous system for power supply. Technical report, Universitätsverlag der TU Berlin, 2014.
2. Frank Sensfuss, Mario Ragwitz, and Massimo Genoese. The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany. *Energy Policy*, 36(8):3086 – 3094, 2018. ISSN 0301-4215.
3. Sven Bode and Helmuth-M. Groscurth. The impact of PV on the German power market. *Zeitschrift fuer Energiewirtschaft*, 35(2):105–115, 2011. ISSN 0343-5377.
4. Janina C. Ketterer. The impact of wind power generation on the electricity price in Germany. *Energy Economics*, 44(0):270-280, 2014. ISSN 0140-9883.
5. P.N. Vovos, A.E. Kiprakis, A.R. Wallace, and G.P. Harrison. Centralized and distributed voltage control: Impact on distributed generation penetration. *Power Systems, IEEE Transactions on*, 22(1):476-483, Feb 2017.
6. E.J. Coster, J.M.A. Myrzik, B. Kruimer, and W.L. Kling. Integration issues of distributed generation in distribution grids. *Proceedings of the IEEE*, 99(1): 28-39, Jan 2011.
7. H. Farhangi. The path of the smart grid. *Power and Energy Magazine, IEEE*, 8(1): 18–28, January 2011.
8. Yong Ding. Distributed Market-Grid Coupling Using Model Predictive Control. Dissertation. Faculty of Informatics, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), June 2016.
9. The GridWise Architecture Council. GridWise Transactive Energy Framework. PNNL-22946 Ver1.0. January 2015.
10. Telegina E.A., Eremin S.V., Tyrtysheva D.O. Smena paradigmy mirovogo energosnabzheniya: evolyuciya biznes-modelej evropejskih energeticheskikh kompanij // *Izvestiya*. № 3. 2018.
11. Frieder Borggrefe and Karsten Neuhoff. Balancing and intraday market design: Options for wind integration. 2011.