

## ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСЕТЕЙ SMART GRID

*Д. С. Гришин, Д. В. Пащенко, М. П. Синева,  
Д. А. Трокоз, М. В. Яровая*

## IMPLEMENTATION FEATURES OF SMART GRIDS

*D. S. Grishin, D. V. Pashchenko, M. P. Sinev,  
D. A. Trokoz, M. V. Yarovaya*

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Развитие интеллектуальных сетей является актуальной в настоящее время задачей. Проводящаяся сейчас модернизация энергосистемы невозможна без применения информационных и цифровых технологий. Использование принципиально новых методов реализации в энергетике и объединение ее в целостную, взаимосвязанную и самостоятельную инфраструктуру позволит решить многие назревшие на сегодняшний день вопросы. Целью данной работы является рассмотрение различных аспектов возможной реализации интеллектуальной энергосети Smart Grid. *Материалы и методы.* Поставленная задача была достигнута за счет использования следующих методов теоретического исследования: системный анализ и синтез. *Результаты.* В работе изложены преимущества интеллектуальной энергосети над традиционной энергосистемой. Приведены обоснованные доводы в пользу развития энергетики будущего. Описана основная архитектура Smart Grid. *Выводы.* Внедрение концепции Smart Grid в нашей стране реально уже сегодня без глобальных затрат на модернизацию существующей энергосети. Не прибегая к масштабным реновациям и имея огромный энергетический потенциал, Россия имеет все шансы в короткие сроки создать новую энергосистему.

**Ключевые слова:** энергетика, интеллектуальные сети Smart Grid.

**Abstract.** *Background.* The development of smart grids is an urgent task at present. The ongoing modernization of the energy system is now possible without the use of information and digital technologies. The use of innovative methods of implementation in the energy sector and the unification it in a coherent, interconnected and independent infrastructure will help to solve many of the pressing issues of today. The purpose of this paper is to examine the various aspects of the possible implementation of Smart Grid. *Materials and methods.* The object was achieved by using the following methods in theory research: systematic analysis and synthesis. *Results.* The paper describes the benefits of Smart Grid on the traditional power grid. Results-based arguments in the development of future energy grid. It describes the basic architecture of Smart Grid. *Conclusions.* The introduction of Smart Grid concept in our country really today without major costs for upgrading the existing power grid. Without resorting to large-scale renovation and having a huge energy potential, Russia has every chance in the short term to create a new grid.

**Key words:** energy, smart grids.

### **Введение**

Мировая энергосистема, существующая сейчас, строилась на принципах, сформированных еще в начале прошлого века, но за последние десятиле-

тия во всех странах мира значительно увеличились объемы потребления электроэнергии за счет развития техники, что заставляет поставщиков максимально нагружать электросети и генерирующие источники, а также искать иные способы решения сложившихся проблем. Использование радикально новых методов с применением инновационных технологий позволит вывести мировую энергетику на принципиально новый этап развития.

Сегодня на западе широкое распространение получила технология Smart Grid. По сути, Smart Grid представляет собой сложную энергосистему, объединяющую поставщиков электроэнергии, энергообъекты и потребителей в единую «интеллектуальную» энергосеть. Она предполагает использование новых цифровых технологий, многотарифных счетчиков и приборов распределения электроэнергии, обеспечивающих надежность и прозрачность процессов производства, передачи, распределения и потребления энергии.

Использование интеллектуальной сети даст возможность создания дискретной энергетической системы, позволяющей эффективнее устранять утечки электроэнергии и бороться с неплательщиками. Переход на работу по принципу технологии Smart Grid, основанной на усовершенствованной сетевой аналитике и использовании современных автоматизированных систем управления приборами сбора и обработки информации (SCADA), а также возможность удаленного мониторинга и контроля над оборудованием позволит энергокомпаниям продлить срок эксплуатации оборудования, снизить расходы на модернизацию сети и предотвратить сетевые сбои. В широком понимании технология Smart Grid должна решить ряд основных задач:

- уменьшить затраты на производство электроэнергии и обеспечить ее надежную передачу;
- обеспечить потребителя требуемым количеством доступной энергии;
- оперативно реагировать на нарушения работы сети;
- сделать систему экологичной, сократив выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу, применяя при этом современные технологии и возобновляемые источники энергии;
- обеспечить автоматизированный учет энергоресурсов;
- защитить сеть от физического и кибернетического вмешательства злоумышленников.

### ***Предпосылки создания интеллектуальной сети в России***

Единая энергетическая сеть России представлена в виде централизованной системы, в которой основная часть электроэнергии вырабатывается крупными электростанциями, после чего по электросети поставляется потребителям. Преимущество такой системы (рис. 1) заключается в том, что благодаря малому числу электростанций удастся поддерживать баланс между производством и потреблением электроэнергии. Однако при нарушении баланса происходят значительные колебания частоты электрического тока и сеть становится неустойчивой, что приводит к авариям.

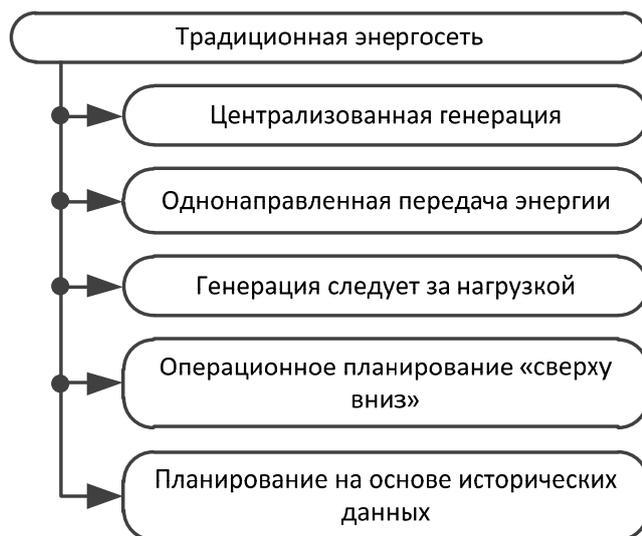


Рис. 1. Традиционная сеть

Снижение финансирования энергосистемы в 1990-е гг. привело к износу оборудования до 80 %. Согласно результатам исследования Федеральной сетевой компании (ОАО «ФСК ЕЭС») 15 % подстанций 6-10/0,4 кВ находятся в предаварийном состоянии [1]. В результате изношенности электросетей потери энергии достигают 20–30 % вместо обычных для Европы 6–8 %. Порядка 60 % электросетей нуждаются в полной перекладке, а поскольку регулирующие органы неохотно утверждают повышение тарифов, позволяющих осуществлять полномасштабную модернизацию системы, энергокомпании вынуждены продолжать работать с оборудованием, которое уже выработало свой срок эксплуатации, что представляет определенную угрозу безопасности сети.

Износ оборудования, растущие пиковые нагрузки, утечки и хищение остро ставят проблему создания интеллектуальных энергосетей в нашей стране. Однако решить вопрос энергетики изнутри нельзя, и наиболее оптимальным решением будет полная смена ее парадигмы. Только объединение энергетической и информационной инфраструктур в одну даст возможность приблизиться к решению возникшей задачи. С точки зрения экономики существующую в России энергосистему выгоднее будет не модернизировать, а полностью создать заново. Новая система позволит решить проблему ценообразования и рационально распределить мощности.

Такие структуры, как РДУ (региональное диспетчерское управление), МРСК (межрегиональная распределительная сетевая компания) перестанут функционировать, так как в интеллектуальной сети будет использована распределительная генерация пульсирующих режимов, управлять которыми современная система просто не в состоянии. Распределенная генерация в разы эффективней по КПД, так как произойдет приближение генерации к потребителю, будет возможен отбор тепла, что также повысит КПД генерации.

К 2020 г. в России планируется заменить устаревшие энергосети на интеллектуальные энергосистемы Smart Grid (рис. 2). «Умная» сеть должна обеспечить потребителям надежную и выгодную поставку энергии, а также предоставить поставщикам электроэнергии свободный от государственной монополизации рынок сбыта.

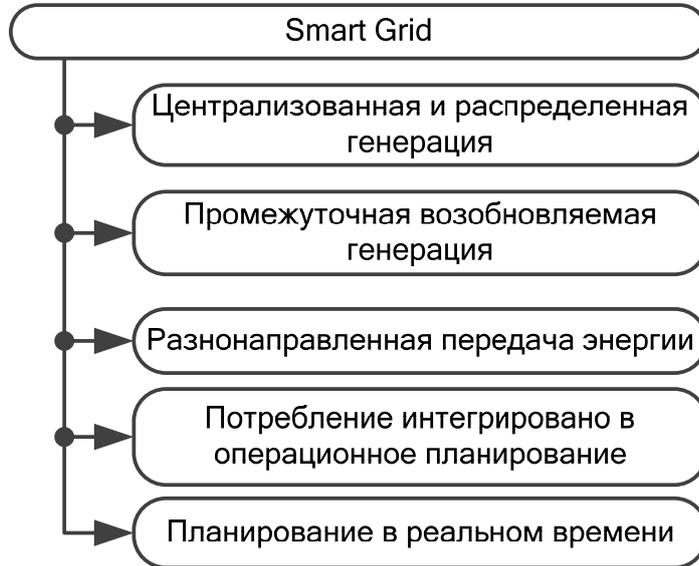


Рис. 2. Интеллектуальная энергосеть

Суть проекта заключается в установке на все узлы энергосистемы интеллектуальных устройств управления, которые будут интегрированы через коммуникационную магистраль с центрами обработки данных и автоматизированными системами управления (АСУ), объединяющими на технологическом уровне электрические сети, потребителей и поставщиков электроэнергии в целостную автоматизированную систему.

Система с активно-адаптивной сетью позволит в автоматическом режиме выявить обрывы сети и изменить ее работу с предотвращением возникших неисправностей и аварий [2]. Также «умная» энергосистема позволит интегрировать любые источники электроэнергии, в том числе и пульсирующие (газопоршневые установки, ветряные станции). Реализация проекта Smart Grid также должна создать комфортные условия для пользователей электроэнергии. Потребителю будут предоставлены новые возможности самому взаимодействовать с энергосистемой. Появится возможность выбора тарифа, возможность планировать свое энергопотребление за счет многотарифных счетчиков, но, кроме того, при выполнении некоторых условий потребитель сможет сам продавать энергию, которая будет вырабатываться его солнечной батареей или ветряком.

Также стоит отметить большой энергетический потенциал нашей страны в возможности использовать регенеративные источники энергии. Неоспо-

римое преимущество возобновляемой энергетики сегодня можно выразить с помощью коэффициента энергетической эффективности. Для любой электростанции следует соотносить общее количество энергии, выработанное за весь ее эксплуатационный период, с затратами, связанными с ее эксплуатацией, обслуживанием, а также топливом, потребляемым электростанцией. Отношение выработанной энергии к затраченной можно выразить с помощью коэффициента энергетической эффективности

$$K_{\text{эн.эф}} = \frac{(\mathcal{E}_\Gamma - \mathcal{E}_{\text{сн}}) \times T_{\text{сл}}}{\mathcal{E}_{\text{св}} + \mathcal{E}_{\text{тек}} + \mathcal{E}_{\text{топ}}}, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_\Gamma$  – годовая выработка электроэнергии установкой (электростанцией);  $\mathcal{E}_{\text{сн}}$  – расходы на собственные нужды;  $T_{\text{сл}}$  – срок службы установки;  $\mathcal{E}_{\text{св}}$  – энергия, затраченная на производство оборудования и материалы;  $\mathcal{E}_{\text{тек}}$  – энергия, затраченная на транспортировку, монтаж и утилизацию установки;  $\mathcal{E}_{\text{топ}}$  – энергия, заключенная в топливе.

При таком подходе обнаруживается преимущество возобновляемой энергетики перед топливной: поскольку в формуле (1)  $\mathcal{E}_{\text{топ}} = 0$ , то существует принципиальная возможность, проверенная неоднократно расчетами, иметь  $K_{\text{эн.эф}} > 1$ . Тогда как для тепловых электростанций принципиально невозможно иметь  $K_{\text{эн.эф}}$  больше, чем КПД или КПИ (КПИ – коэффициент полезного использования топлива) этой станции, т.е. заведомо меньше единицы. Поэтому для конденсационных и атомных электростанций на тепловых нейтронах  $K_{\text{эн.эф}} < \text{КПД} < 1$ , для теплоцентралей  $K_{\text{эн.эф}} < \text{КПИ} < 1$  [3].

### *Структура интеллектуальной энергосети*

Построение интеллектуальных сетей – весьма сложная задача, требующая определить фактические цели, основные требования к системе и возможности для их реализации. Это приводит к необходимости разработки основных концепций системы и созданию архитектуры сети [4]. В результате возникает потребность в детальной стратегии построения интеллектуальных электросетей, включая и ту их часть, которая относится к системе снабжения электроэнергией.

Рассмотрим условную архитектуру Smart Grid (рис. 3). Основным поставщиком электрической энергии интеллектуальной сети останутся электростанции, вырабатывающие более 100 МВт; к ним относятся АЭС, ГЭС, ТЭС (рис. 4). Вместе с ними появятся альтернативные источники энергии, работа которых будет иметь локальные колебания в зависимости от погодных и других условий. К ним можно отнести возобновляемые источники энергии с выработкой менее 100 МВт – это ветряные электростанции (ВЭС), солнечные батареи. Использование интеллектуальных сетей будет способствовать повышению эффективности производства и снижению энергозатрат. Заметно снизятся потери при передаче электроэнергии от производителя к потребителю, возрастет надежность электроснабжения, появится возможность снизить пиковые нагрузки.

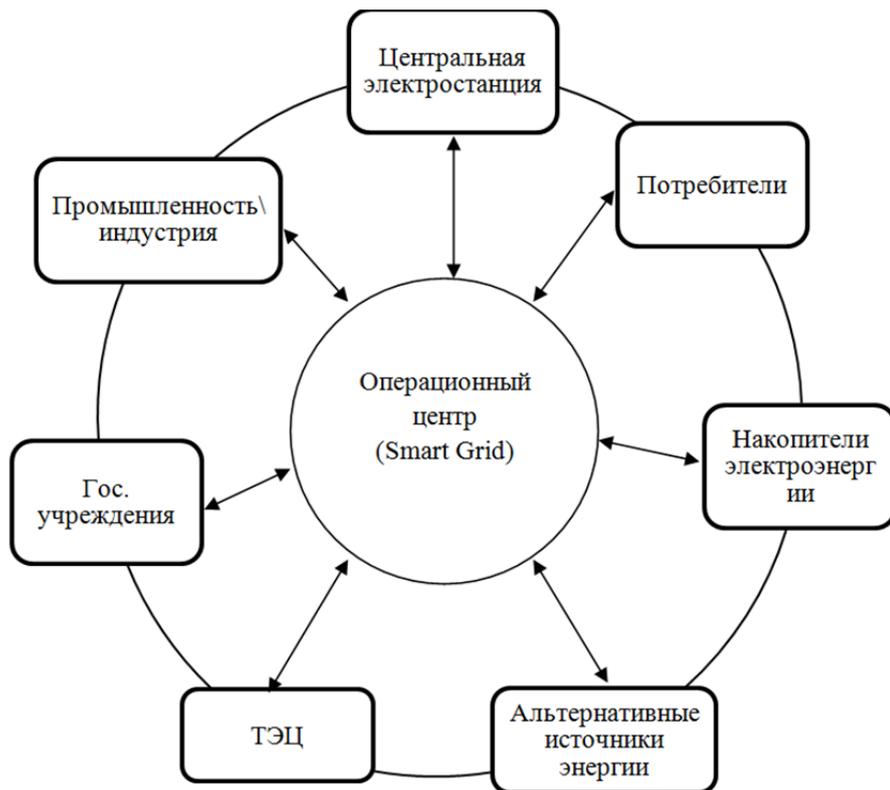


Рис. 3. Архитектура Smart Grid

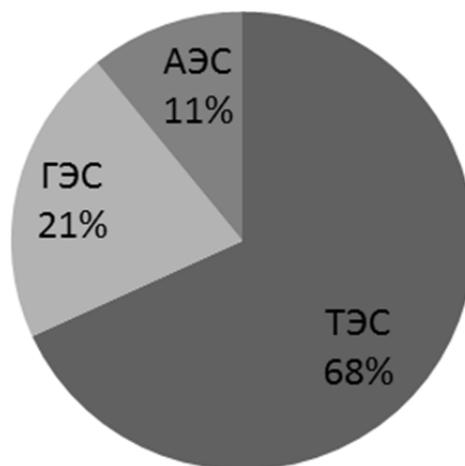


Рис. 4. Показатели работы энергетики России

Основное внимание операционного центра Smart Grid будет направлено на обеспечение надежности энергосети, на эффективное использование ресурсов и на снижение потерь во время передачи электроэнергии. Автоматизированная система управления должна обеспечить все это за счет анализа спроса системы передачи энергии, поставщиков и потребителей электроэнергии. Использование интеллектуальных систем обработки сигналов уменьшит

критическое время, требуемое для анализа отказа сети и выполнения соответствующих действий.

Анализ стабильности напряжения выполняется автоматически, и система самостоятельно предупреждает оператора до того, как возникнет пред-аварийная ситуация, способная нарушить стабильность статического напряжения сети. Увеличение надежности сети также обеспечивается с помощью средств автоматизации, которые непрерывно работают для удержания высокого уровня напряжения в системе и устранения сбоев напряжения.

### ***Заключение***

Не вызывает сомнения, что будущее энергетики принадлежит интеллектуальным энергосистемам Smart Grid, и что производство электроэнергии значительно изменится к тому времени, когда такие сети станут реальностью. Решение таких задач, как снижение нагрузки на энергосети, уменьшение энергетического дефицита за счет введения возобновляемых источников энергии, повышение качества и надежности работы энергосети, в конечном счете приведет к новой ступени развития как отечественной, так и мировой энергетики. Реализация основных положений данной концепции будет подразумевать развитие инновационных технологий, расширение масштабов производства высокоинтеллектуальной продукции, более интенсивное применение электрической энергии, развитие новых, альтернативных источников энергии. Крупные электростанции продолжают обеспечивать основную поставку электрической энергии, но наряду с ними станут использоваться и возобновляемые источники электроэнергии, вызывая колебания в сети. Эти устройства будут автоматически включаться и выключаться при помощи датчиков и интеллектуальных счетчиков потребления энергии, обеспечивая эффективное управление нагрузкой.

### ***Библиографический список***

1. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе. – М., 2006. – URL: [http://www.cius-ees.ru/uploaded/document\\_files/25/Polozhenie\\_o\\_tekhnicheskoy\\_politike\\_v\\_raspredelitel\\_nom\\_setevom\\_komplekse.pdf](http://www.cius-ees.ru/uploaded/document_files/25/Polozhenie_o_tekhnicheskoy_politike_v_raspredelitel_nom_setevom_komplekse.pdf)
2. Умные сети и интеллектуальные энергетические системы. – URL: <http://venture-biz.ru/energetika-energoberezhnie/290-intellektualnye-seti> (дата обращения: 07.11.2016).
3. Портал по энергосбережению. – URL: <http://www.energsovet.ru/stat328.html> (дата обращения: 07.11.2016).
4. Умные сети и новая эпоха в энергетике. – URL: <http://forca.ru/stati/energetika/umnye-seti-i-novaya-epoha-v-energetike.html> (дата обращения: 07.11.2016).

---

***Гришин Дмитрий Сергеевич***

студент,  
Пензенский государственный  
университет  
E-mail: gds\_91@mail.ru

***Grishin Dmitry Sergeyevich***

student,  
Penza State University

**Пащенко Дмитрий Владимирович**  
доктор технических наук, профессор,  
кафедра вычислительной техники,  
Пензенский государственный  
университет  
E-mail: dmitry.pashchenko@gmail.com

**Pashchenko Dmitry Vladimirovich**  
doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of computer science,  
Penza State University

**Синев Михаил Петрович**  
кандидат технических наук, доцент,  
кафедра вычислительной техники,  
Пензенский государственный  
университет  
E-mail: mix.sinev@gmail.com

**Sinev Mihail Petrovich**  
candidate of technical sciences,  
associate professor,  
sub-department of computer science,  
Penza State University

**Трокоз Дмитрий Анатольевич**  
кандидат технических наук, доцент,  
кафедра вычислительной техники,  
Пензенский государственный  
университет  
E-mail: dmitriy.trokoz@gmail.com

**Trokoz Dmitry Anatolyevich**  
candidate of technical sciences,  
associate professor,  
sub-department of computer science,  
Penza State University

**Яровая Мария Владимировна**  
аспирант,  
Пензенский государственный  
университет  
E-mail: mariay@yandex.ru

**Yarovaya Maria Vladimirovna**  
postgraduate student,  
Penza State University

---

УДК 004.77

**Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей SMART GRID /**  
Д. С. Гришин, Д. В. Пащенко, М. П. Синев, Д. А. Трокоз, М. В. Яровая // Модели, систе-  
мы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 109–116.