

# Интеллектуальные сети: новые перспективы или новые проблемы?



Вашему вниманию предлагается статья кандидата технических наук, эксперта комитета ТС-94 Международной электротехнической комиссии (МЭК) В. И. Гуревича. Автор 5 книг и более 140 научных статей рассуждает о том, что же такое интеллектуальные сети — термин, ставший сегодня, таким популярным. В этом номере мы предлагаем вам ознакомиться с первой частью статьи.

## Часть I

### Smart Grid по-русски

На сайте Правительства РФ (<http://premier.gov.ru/events/news/9429/>) приведен текст беседы Председателя Правительства В. В. Путина с председателем правления ОАО «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы» («ФСК ЕЭС») Олегом Бударгиным.

«Просил бы обратить внимание на идею создания так называемых интеллектуальных сетей», — сказал В. Путин на встрече.

Работа уже ведется — отрапортовал О. Бударгин — «Мы будем не просто видеть все и управлять всем. Это борьба с потерями, это энергоэффективность, это надежное электроснабжение. Мы уйдем от рисков», — заявил О. Бударгин.

Сколько конкретно денег необходимо будет на создание «интеллектуальной сети» и каким будет экономический эффект в масштабе всей энергосистемы, представитель ФСК не уточнил. Но сообщил, что **деньги на эти цели компания уже заложила в инвестпрограмму 2010–2012 гг. (общий объем программы — 519 млрд руб.)**.

Что же такое «интеллектуальная сеть» или Smart Grid, экономический эффект от которой не известен, но инвестиции уже заложены и, по-видимому, немалые?

Попытка отыскать четкое определение для объекта инвестиций под названием «интеллектуальная сеть» (Smart Grid) привела к удивительным результатам. Оказалось, что никто толком в России не знает, что это такое и на что, собственно, выделены эти немалые средства. Не может быть — вскрикнет недоверчивый читатель! Подтверждаем: может. В доказательство приведем несколько цитат специалистов:

*«Технология Smart Grid имеет в России несколько альтернативных названий — малопонятное с точки зрения русского языка «Смарт Грид», более осмысленные — «Интел-*

*лектуальная сеть энергетики», «Интеллектуальная электроэнергетическая система», «Активно-адаптивная сеть энергетики». В настоящее время имеется множество определений Smart Grid, при этом каждая из сторон-участниц процесса (энергокомпания, энергопотребитель, компании решающие вопросы автоматизации энергообъектов, системные интеграторы и т.п.) видит в Smart Grid свои функции и задачи, и понимает по-своему». [1].*

*«Термин Smart Grid в различных источниках не имеет единого определения. В России его трактуют как «интеллектуальную сеть энергетики», «интеллектуальную электроэнергетическую систему», «активно-адаптивную сеть энергетики» [2].*

*«Для начала следует определиться с понятием «интеллектуальные сети». Я неоднократно убеждался, что и среди специалистов-электриков, и в публичном пространстве существуют по этому поводу серьезные разногласия, прямо-таки полярные мнения — что такое «интеллект» применительно к линии электропередачи, электрической сети» [3].*

Обратимся к истории. Впервые этот термин встретился в тексте статьи одного из западных специалистов в 1998 г. [4]. В названии статьи этот термин был впервые использован Массудом Амином и Брюсом Волленбергом в их публикации «К интеллектуальной сети» [5]. Первые применения этого термина на Западе были связаны с чисто рекламными названиями специальных контроллеров, предназначенных для управления режимом работы и синхронизации автономных ветрогенераторов (отличающихся нестабильным напряжением и частотой) с электрической сетью. Потом этот термин стал применяться, опять-таки, как чисто рекламный ход, для обозначения микропроцессорных счетчиков электроэнергии, способных самостоятельно накапливать, обрабатывать, оценивать информацию и передавать ее по специальным каналам связи и даже через Интернет. Причем, сами по себе контроллеры синхронизации ветрогенераторов и микропроцессорные счетчики электроэнергии были разработаны и выпускались различными фирмами еще до появления термина Smart Grid. Это название возникло намного позже, как чисто рекламный трюк для привлечения

покупателей и вначале использовалось лишь в этих областях техники. В последние годы его использование расширилось на системы сбора и обработки информации, мониторинга оборудования в электроэнергетике [6]:

*«В целом, интеллектуальная сеть (Smart Grid, «умная», или активно-адаптивная сеть) представляет собой распределительную сеть, которая сочетает комплексные инструменты контроля и мониторинга, информационные технологии и средства коммуникации, обеспечивающие значительно более высокую ее производительность и позволяющие генерирующим, сбытовым и коммунальным компаниям предоставлять населению энергию более высокого качества.»*

*Новая распределительная сеть будет базироваться на следующих решениях:*

- SCADA-система для реализации комплексного управления распределительной сетью;
- канал передачи данных (в том числе, путем передачи информации по кабельными линиям на основе PLC-технологии второго поколения);
- семейство цифровых устройств телемеханики и телеуправления для управления и контроля оборудования 6–20 кВ, устанавливаемое внутри ячеек среднего напряжения непосредственно в процессе производства.»

Именно в таком смысле сегодня используется термин Smart Grid и на Западе [7]. Но, Россия, как всегда, идет своим путем, даже в области использования устоявшейся терминологии, расширяя ее до бескрайних просторов:

*«Зарубежные Умные сети (Smart Grid) — это реализация двусторонних коммуникативных обменов в цифровом формате всех участников производства, распределения, накопления и потребления электроэнергии.»*

**Российские Умные сети** — это комплексная модернизация и инновационное развитие **всех субъектов электроэнергетики** на основе передовых технологий и сбалансированных проектных решений глобально на всей территории страны» [8].

По сути, под этим Западным термином сейчас в России подразумевают всю электроэнергетику в комплексе. Возникает вполне закономерный вопрос: зачем Российским чиновникам от энергетики потребовалось придавать Западному термину столь широкое толкование, при котором использование этого термина напроцех теряет всякий смысл? Ответ на этот вопрос приведен в следующей цитате:

*«Основная проблема, на мой взгляд, заключается в том, что у нас борьба людей всегда начинается раньше борьбы идей. В государственных сетевых организациях вопрос развития интеллектуальных сетей связан с выделением существенных объемов госфинансирования, при этом каждая структура старается «перетянуть одеяло» на себя. Есть много схожих, но «параллельно-перпендикулярных» инициатив, которые в конечном счете невозможно полностью связать и сбалансировать» [9].*

Так вот, оказывается, что такое Smart Grid в России: это борьба различных промышленных и энергетических структур за госфинансирование.

Этот вывод косвенно подтверждает также и Министр энергетики РФ Сергей Шматко который, приветствуя участников круглого стола «Умные сети – Умная энергетика – Умная экономика», заявил, что переход к умной энергетике позволит не только существенно преобразить сегодняшний энергетический ландшафт, но и **даст импульс к развитию электротехнической промышленности, освоению новых технологий и оборудования заводами и проектными институтами, наполнит практически смыслом разработки российских учеников** [10].

Вторят ему и другие руководители российской энергетики, подтверждающие, что Smart Grid — это и есть просто-напросто вся электроэнергетика России:

*«Интеллектуальная сеть представляет собой совокупность линий электропередачи всех классов напряжения, активных устройств электромагнитного преобразования электроэнергии, коммутационных аппаратов, устройств защиты и автоматики, информационно-технологических и адаптивных управляющих систем» [11].*

*«Построение интеллектуальной сети должно стать стратегическим курсом развития распределительного электросетевого комплекса, подразумевающим четыре основных сегмента совершенствования:*

- 1) силового оборудования и технологии передачи и распределения электроэнергии;
- 2) технологического управления;
- 3) специализированных коммуникационных и информационных устройств;
- 4) автоматизированных систем учета и управления электропотреблением» [2].

Конечно, нет ничего плохого в выделении государством средств на развитие электроэнергетики, которая действительно крайне нуждается в обновлении изношенных фондов и инновациях. Но при чем здесь Smart Grid? А вот причем: складывается впечатление, что этот модный термин стал «золотым ключиком», открывающим двери в государственную казну. Вот и пользуются им все жаждущие получить хоть кусочек от государственного пирога, причем каждый по-своему.

Другой автор [13] считает, что Smart Grid — это сверхпроводящие кабели и компенсаторы реактивной мощности:

*«Интеллектуальная сеть предполагает применение устройств регулирования реактивной мощности и напряжения, накопителей электроэнергии, сверхпроводящих кабельных линий, устройств ограничения токов короткого замыкания. Так, в этом году на подстанции 400 кВ «Выборгская» в Ленинградской области будет введено в эксплуатацию новейшее устройство регулирования реактивной мощности СТАТКОМ, что повысит надежность экспорта электроэнергии в Финляндию. На подстанции 500 кВ «Бескудниково» будет введен в работу асинхронизированный компенсатор реактивной мощности для поддержания оптимального уровня напряжения и увеличения пропускной способности сети. В результате будет повышена надежность электроснабжения потребителей северного и северо-восточного районов Москвы.»*

Можно еще долго продолжать перечисление того, кто и как пытается выбить государственное финансирование под свои проекты, причисляя их к Smart Grid.

Вопрос в том, хватит ли выделенных в инвестпрограмме средств и на электропечные трансформаторы, и на сверхпроводящие кабели, и на компенсаторы реактивной мощности, или, как обычно, эту немалую сумму раздадут «всем сестрам по серьгам» и на этом все эта широковещательная кампания и закончится. До появления следующего модного заморского словечка.

## Smart Grid: Западный вариант

В предыдущем разделе статьи мы анализировали порочную практику использования термина Smart Grid в России. Следует отметить, что на Западе в этом плане не далеко ушли от России.

За последние годы этот термин претерпел серьезную трансформацию и уже не отражает свою первоначальную сущность. Он распространяется сегодня практически на всю электроэнергетику: на системы генерации электроэнергии, структуру и конфигурацию электрических сетей, учет электроэнергии, информационно-измерительные системы, автоматические системы управления, связь между объектами электроэнергетики, релейную защиту. Таким образом, этот термин сегодня четко не определен и используется различными авторами по-разному, поэтому, обсуждая Smart Grid невозможно четко представить сущность предмета обсуждения. Одни авторы в статье с заголовком, использующим термин Smart Grid, обсуждают принципы построения и особенности конфигурации электрических сетей, другие — организацию каналов связи и принципы передачи информации, третьи — проблемы изменения климата на Земле и возможности его сохранения за счет перехода на альтернативные источники энергии. В такой ситуации использование этого термина теряет всякий смысл.

Использование этого термина в различных национальных программах по реконструкции и модернизации электроэнергетики также не имеет большого смысла, так как реализация столь грандиозных программ, во-первых, рассчитана на очень долгий период времени, исчисляемый десятками лет, в течение которых техника и технологии будут кардинально изменяться, во-вторых, связана с необходимостью огромных инвестиций, реально возможных лишь в виде отдельных порций под отдельные проекты. Таким образом, сегодня реально обсуждать можно лишь отдельные компоненты этой грандиозной концепции развития электроэнергетики под названием Smart Grid, используя при этом старую устоявшуюся общепринятую терминологию, имеющую однозначное толкование.

**1. Системы генерации электроэнергии.** Проблемы изменения климата на Земле и прогнозируемый дефицит органических видов топлива стимулирует развитие альтернативных источников электроэнергии, в первую очередь таких, как ветрогенераторы, солнечные фотоэлектрические системы, генераторы работающие на биотопливе, приливные и волновые генераторы, генераторы, использующие тепло недр планеты и т.д. Новое развитие получают и гидроаккумулирующие стан-

ции, позволяющие более эффективно использовать уже выработанную электроэнергию. Ожидается, что в будущем количество таких источников будет неуклонно расти и подключаться к общей электрической сети они будут в различных точках сети. То есть генерирующие мощности в будущей системе электроснабжения будут больше распределенными, чем концентрированными, как сейчас. Характерной особенностью таких источников является их относительно небольшая мощность и нестабильность параметров генерируемой мощности. Очевидно, что для стабилизации параметров таких источников и их автоматической синхронизации с сетью необходимо достаточно «интеллектуальное» управляющее устройство. Разработка принципиально новых и повышение технико-экономической эффективности уже существующих систем генерации электроэнергии, устройств автоматического управления ими, систем связи, обеспечивающих информационный обмен таких источников с другими элементами энергосистемы является одним из направлений концепции Smart Grid.

**2. Электрические сети.** Сегодня электрические сети строятся по иерархическому принципу (генератор, магистральные линии, далее распределительные сети, городские сети и т.д.) [14], рис. 1.

В большинстве случаев современные электрические сети состоят из радиальных линий с односторонним потоком энергии. Лишь в некоторых случаях электрические сети закольцованы. Согласно концепции Smart Grid будущая сеть уже не будет иметь иерархическую структуру и крупные потребители будут в ней перемешаны с большим количеством относительно маломощных источников энергии, а также и единичных мощных станций, регуляторов напряжения, компенсаторов реактивной мощности и т.д. Это будет настоящая весьма сложная, неструктурированная, разветвленная сеть.

Перетоки мощности по такой сети не будут строго детерминированными. Очевидно, что такая сложная неструктурированная сеть (которую даже сравнивают с сетью Интернет [14]) должна иметь мощную управляющую систему, согласовывающую между собой работу всех этих многочисленных компонентов сети. Для этого все компоненты сети должны «общаться» друг с другом и с управляющим центром по специальным сетям связи, которые предполагается выполнять беспроводными. Разработка мощных полностью управляемых компонентов сети, снабженных системами самодиагностики и мониторинга, а также надежными каналами передачи и приема информации — является одним из направлений концепции Smart Grid.

**3. Системы мониторинга и самодиагностики электрооборудования.** Резкое усложнение мощных компонентов энергосистемы, с одной стороны, и прогресс в области современных компьютеризированных систем, с другой, обуславливает необходимость дальнейшего интенсивного развития диагностических систем мониторинга электрооборудования, позволяющих заранее предотвратить выход из строя важных компонентов сети. Законы старения электрической изоляции, знание тенденций изменения химического состава масла силовых трансформаторов, известные особенности и свойства

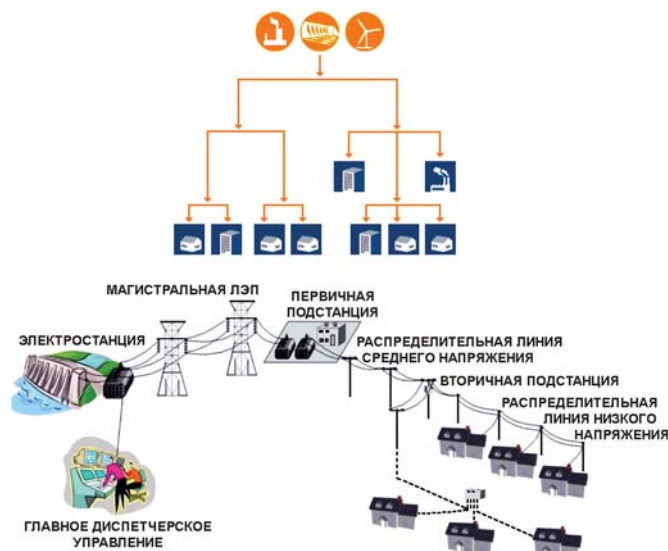
частичных разрядов в твердой, жидкой и газообразной изоляции, а также в вакууме, позволяют создать специальные датчики и надежные алгоритмы диагностики для постоянного мониторинга исправности важных компонентов будущей сети, что является еще одним направлением концепции Smart Grid.

**4. Системы связи и передачи данных между электроэнергетическими объектами.** Сегодня для связи и передачи информации между различными объектами используются различные каналы связи. Это и связь по низковольтным проводам (низкочастотным контрольным кабелям, коаксиальным высокочастотным кабелям), по оптическим кабелям, по проводам высоковольтных линий электропередач, по направленному защищенному радиоканалу и т.д.

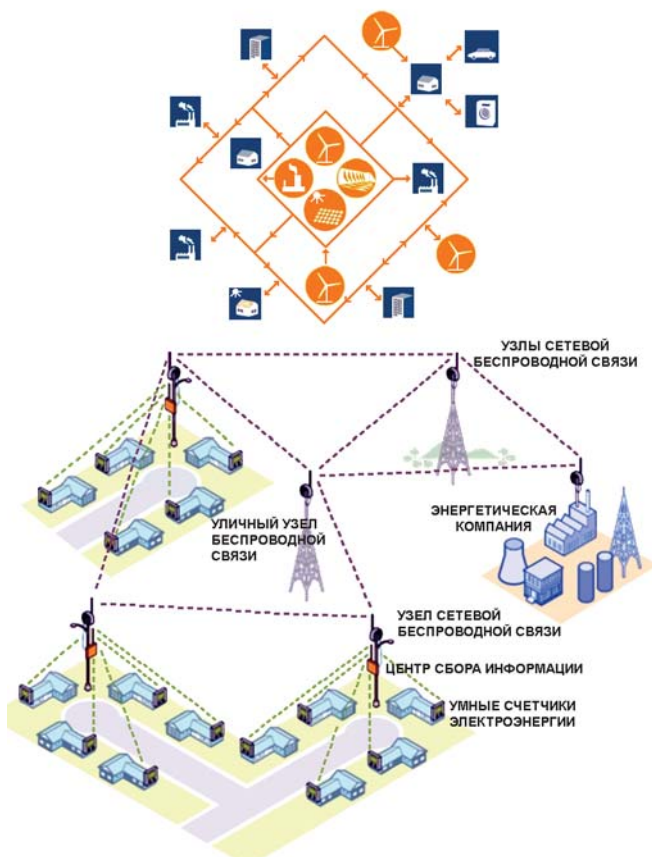
В последнее время все шире начинают применяться и сетевые технологии Ethernet/Internet. Это связано в первую очередь с дешевизной, с широкой распространенностью и повсеместной доступностью таких сетей, с хорошо отработанными технологией и протоколами связи, необходимостью в будущем обмениваться огромными массивами информации с многочисленных компонентов энергосистемы, разбросанных на большой территории. Уже сегодня на рынке присутствуют всевозможные электронные датчики, трансдюсеры, измерительные преобразователи, снабженные встроенным дешевым модемом, позволяющим подключать их к сети Ethernet/ Intranet. Что касается применяемой сегодня в релейной защите оптоволоконной связи, то она считается слишком дорогой для расширенного и повсеместного применения в будущей концепции Smart Grid [15].

Впрочем, в этом деле много спекуляций и различные компании, занимающие определенный сектор рынка систем связи и передачи пытаются обосновать целесообразность применения в концепции Smart Grid именно их принципов и систем передачи данных. Так, например, наряду с утверждениями о том, что будущее принадлежит исключительно стандартным сетевым приложениям Ethernet/Intranet, встречаются утверждения о том, что единственно правильным решением является широкополосная связь по проводам высоковольтных линий сети [16]. В литературе можно встретить также вполне серьезное обсуждение перспектив применения в Smart Grid технологий современной беспроводной связи, таких как сети сотовой связи, WiMAX, Wi-Fi и других, широко применяемых в быту [17], рис. 2.

**5. Системы учета электроэнергии.** Микропроцессорные счетчики электроэнергии появились на рынке уже давно и вне всякой связи с концепцией Smart Grid. Скорее наоборот, чисто рекламный термин Smart Grid, применявшийся вначале лишь для рекламы таких счетчиков, вырос в некую глобальную концепцию будущей электроэнергетики. Многотарифные микропроцессорные счетчики, способные выполнять расчеты, связываться с другими аналогичными счетчиками, способные накапливать информацию и передавать ее по сети практически применяются в электроэнергетике уже давно. В последние годы упрощенные варианты таких счетчиков начали применяться и в быту, рис. 3. Достигнутый в этой области уровень техники полностью соответствует концепции Smart Grid.



**Рисунок 1.** Структура традиционной электрической сети, построенной по иерархическому принципу



**Рисунок 2.** Структура Smart Grid с беспроводной информационной сетью управления



**Рисунок 3.** «Умные» счетчики электроэнергии

**6. Принцип функционирования Smart Grid.** В соответствии с [18] для надежного функционирования такой сложной системы, какой является Smart Grid, количество отдельных многофункциональных модулей, обрабатывающих информацию, должно быть сокращено до минимума (то есть будет иметь место тенденция дальнейшей концентрации функций в единичных модулях). Информация от многочисленных компонентов Smart Grid должна поступать по сети на мощные серверы, обрабатываться компьютерными центрами и пересылаться по сети на исполнительные элементы. По мнению [18] вся основная функциональность Smart Grid должна обеспечиваться на программном уровне.

**7. Релейная защита.** В новой концепции Smart Grid релейная защита (РЗ) должна быть совмещена с функциями информационно-измерительной системы. Причиной этого является то, что, во-первых, микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) производят измерения токов, напряжений в векторной форме. Во-вторых, они записывают и накапливают информацию об аварийных режимах и собственных срабатываниях. Эта информация может быть напрямую использована в будущих контрольно-информационно-измерительных системах Smart Grid, в которых релейной защите будут приданы дополнительные функции измерений, мониторинга и диагностики электрооборудования энергосистем [19, 20]. По прогнозам апологетов Smart Grid, МУРЗ должны превратиться в некие центры по обработке информации, не имеющих никаких других присоединений, кроме подключения к сети Ethernet [21]. Ни традиционных входных, ни выходных цепей у таких МУРЗ не будет, поскольку все компоненты Smart Grid будут снабжены сетевым подключением (включая и высоковольтные выключатели) и все команды, включая и команды на отключение выключателей, будут передаваться в виде GOOSE сообщений по стандарту IEC 61850 [22]. Что касается входных цепей тока и напряжения, то, по прогнозам [23], их в МУРЗ вообще не будет в связи с переходом на неконвенциональные трансформаторы тока и напряжения с цифровым выходом. Предполагается, что МУРЗ будет получать с таких трансформаторов готовую информацию о токах и напряжениях в цифровой форме по сети. Что касается алгоритмов релейной защиты, то они, по-видимому, претерпят значительные изменения в связи с изменением принципов построения электрических сетей, появлением в этой сети значительного числа полностью управляемых компонентов, влияющих на режимы работы сети, например, таких, как быстродействующие компенсаторы реактивной мощности, быстродействующих токоограничивающих устройств и т.д. Впрочем, все это лишь первые шаги в области реорганизации релейной защиты. Уже сегодня в технической литературе вполне серьезно обсуждаются вопросы адаптивной релейной защиты, защиты с упреждающими функциями, многомерной релейной защиты, защиты с нечеткой логикой, защиты с искусственным интеллектом, защиты на основе нейронных сетей и т.д.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волобуев В. В. Что такое Smart Grid? Каковы перспективы развития технологий Смарт Грид в России? – <http://www.rsci.ru/sti/3755/208683.php>.
2. Егоров В., Кужеков С. Интеллектуальные технологии в распределительном электросетевом комплексе. – «ЭнергоРынок», 2010, № 6.
3. Осика Л. Smart Grid: мнение экспертов. – «Энерго-Рынок», 2010, № 6.

4. Janssen M. C. The Smart Grid Drivers. – PAC, June 2010, p. 77.
5. Amin S. M., Wollenberg B. F. Toward a Smart Grid. – IEEE P&E Magazine, September/October, 2005.
6. В центре Санкт-Петербурга будет построена интеллектуальная сеть. – Репортер, 6 мая 2010 (<http://newsdesk.pcmag.ru/node/24272>).
7. Gellings C. W. The Smart Grid. Enabling Energy Efficiency and Demand Response. – CRC Press, 2010.
8. Бударгин О. «Умная сеть – платформа развития инновационной экономики». – Круглый стол «Умные сети – Умная энергетика – Умная экономика», Петербургский международный экономический форум, 17 июня 2010 г., ([http://www.fsk-ees.ru/evolution\\_technology\\_seminars\\_forum\\_conf.html](http://www.fsk-ees.ru/evolution_technology_seminars_forum_conf.html)).
9. Осорин М. Smart Grid: мнение экспертов. – «ЭнергоРынок», 2010, № 6.
10. Приветственное слово Министра энергетики РФ. Круглый стол «Умные сети – Умная энергетика – Умная экономика», Петербургский международный экономический форум, 17 июня 2010 г. ([http://www.fsk-ees.ru/evolution\\_technology\\_seminars\\_forum\\_conf.html](http://www.fsk-ees.ru/evolution_technology_seminars_forum_conf.html)).
11. ОАО «ФСК ЕЭС» обсудило с учеными Российской академии наук концепцию создания интеллектуальной сети. – NT-Inforf, (<http://www.rsci.ru/sti/news/208892.php>).
12. Макаревич Л. В. Высоковольтное электротехническое оборудование для развития «интеллектуальной» Единой энергосистемы России – Круглый стол «Умные сети – Умная энергетика – Умная экономика», Петербургский международный экономический форум, 17 июня 2010 г., ([http://www.fsk-ees.ru/evolution\\_technology\\_seminars\\_forum\\_conf.html](http://www.fsk-ees.ru/evolution_technology_seminars_forum_conf.html)).
13. Николаев Б. Будущее сетей за интеллектом. Инновационные системы приходят на электрические магистрали. – Независимая Газета, 23.03.2010.
14. The Smart Grid Reliability Bulletin. – ABB White Paper, North American Corporate Headquarters, 2009, 14 p.
15. Shono T., Fukushima K., Kase T., Sugiura H., Katayama S., Tanaka T., Beaumont P., Baber G. P., Serizawa Y., Fujikawa F. Next generation protection system over Ethernet. Developments in Power System Protection, the 10th IET International Conference (DPSP 2010), 29 March – 1 April 2010, Manchester, UK.
16. Renz B. Broadband over power lines (BPL) could accelerate the transmission Smart Grid. – DOE/NETL-2010/1418, National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy, 2010.
17. Why the Smart Grid must be based on IP standards. – <http://blog.ds2.es/ds2blog/2009/05/why-smart-grid-must-use-ip-standards.html>.
18. Baldinger F., Jansen T., Riet M., Volberda F. Nobody knows the future of Smart Grid, therefore separate the essential in the secondary system. – Developments in Power System Protection, the 10th IET International Conference (DPSP 2010), 29 March – 1 April 2010, Manchester, UK.
19. Kawano F., Baber G. P., Beaumont P. G., Fukushima K., Miyoshi T., Shono T., Ookubo M., Tanaka T., Abe K., Umeda S. Intelligent protection relay system for smart grid. – Developments in Power System Protection, the 10th IET International Conference (DPSP 2010), 29 March – 1 April 2010, Manchester, UK.
20. The guru Dr. Mohindar Sachdev. – PAC, September 2010, pp. 60–66.
21. Apostolov A. Are we ready for the 21st century? – PAC, 2010, September, p. 4.
22. Aguilar R., Ariza J. Experience with testing and configuration of IEC 61850 multivendor protection schemes. – PAC, September 2010, pp. 28–32.
23. Su B., Li Y. Trends of smarter protection for Smart Grid. – AESIEAP-2009, CEO Conference, 15–16 October, 2009, Taiwan.

**В. И. ГУРЕВИЧ,**  
канд. техн. наук

*Окончание в следующем номере.*