

# Микрогриды – энергетика, экономика, экология и ИТС в умных городах

В.П.Куприяновский, Ф.Ю.Фокин, С.А. Буланча, Ю.В. Куприяновская, Д.Е. Намиот

**Аннотация**—В настоящей статье рассматриваются проблемы энергетики в разрезе Умных городов. В работе представлено описание микрогрида - решения по энергетике в умных городах, которое наиболее полно удовлетворяет потребности различных составляющих цифровой экономики. Отдельно описывается вклад микрогридов в тематику снижения вредных выбросов. Мы полагаем, что было бы целесообразным экстренно включить эту тематику в круг работ по Умному дому, Умному городу и Интернету вещей, проводимых в России.

**Ключевые слова**—энергетика, микрогрид, Интернет Вещей.

## I. ВВЕДЕНИЕ

История современной энергетики началась именно с городов, когда в 19 веке возникла коммерческая задача освещения улиц Нью Йорка, и был объявлен тендер на реализацию этой инновации городскими властями, руководствующимися тогда, естественно, (как и сейчас) чисто экономическими задачами. На тендере сошлись компании от Эдисона (с решением по переменному току) и Теслы (с решением по постоянному току). Победил – Эдисон, компания которого построила в пригородах города электростанцию для генерации, электрические линии или Grid и установила собственно приборы освещения. Новшество быстро привилось и стало локомотивом развития человечества и остается им до сих пор. А энергетическая система США до сих пор носит родимые черты ориентации на города. Таким образом, в самом начале своего развития это было частью городского хозяйства. Сегодня – « Надежная, соответствующая экономике по расходам на нее и устойчивая система энергоснабжения это ключ к длительному успеху и процветанию города. До появления национальных энергосетей, многие муниципалитеты производили энергию для локальных потребителей, и сегодня опять местная энергетика начинает снова играть значительную роль» [1].

Так человечество уже в 21 веке вернулось на новом

витке к автономным энергосистемам или частично автономным системам энергетики как к инновации. Мы решили исследовать это явление, как часть цифровой экономики и ключевой аспект в построении сервисов умного города, поскольку трудно себе представить жизнь в аналоговой экономике без электричества и просто невозможно в цифровой. В 2016 году Всемирный банк выпустил на многих языках, включая русский большую работу, интегрирующую труд сотен лучших специалистов мира «Цифровые дивиденды» [2], где ввел понятие аналоговая экономика (термин цифровая экономика вошел в научный оборот гораздо раньше). С нашей точки зрения это очень своевременно, так как объемы цифровой экономики во многих странах очень быстро растут и стали составлять десятки процентов в общих объемах ВВП [3], но очень важно понимать, что явления и законы цифровой экономики совсем не такие, как в аналоговой экономике. Доклад [2] представляет собой суммарное знание, и мы процитируем ту его часть, которая относится к нашей теме:

«Цифровые технологии быстро распространились в большинстве стран мира. А вот цифровые дивиденды – более широкие выгоды для развития от использования этих технологий – запаздывают. Во многих случаях цифровые технологии стимулировали экономический рост, создавали возможности и повышали эффективность оказания услуг. Однако совокупный эффект от их использования оказался слабее ожидаемого и распределяется неравномерно. Для того, чтобы от использования цифровых технологий в выигрыше оказались все и повсюду, необходимо преодолеть сохраняющийся «цифровой разрыв», особенно в области доступа к интернету. Однако более масштабное внедрение цифровых технологий – это ещё не всё. Чтобы максимально использовать потенциал цифровой революции, странам необходимо заниматься и «аналоговыми дополнениями»: совершенствовать законодательство, обеспечивающее конкуренцию между компаниями, приводить квалификацию работников в соответствие с требованиями новой экономики и обеспечивать подотчетность институтов».

По сути говоря, городская энергетика, являясь сама огромным сервисом в любом городе, обеспечивает и базу для развития всех остальных сервисов. В случае энергетики, именно совместное развитие и учет состояния аналоговых и цифровых активов, а также организация их совместной работы ведут к

Статья получена 9 марта 2016.

Куприяновский В.П., МГУ имени М.В. Ломоносова, (email: vkupriyanovsky@gmail.com).

Ф.Ю.Фокин Гео-инновационное Агентство ИННОТЕР (email: fokin.feliks@gmail.com).

Буланча С.А., Мерафон (email: sergey.bulancha@megafon.ru)

Куприяновская Ю.В., Университет Оксфорда, (email: piccola@yandex.ru)

Намиот Д.Е., МГУ имени М.В. Ломоносова, (email: dnamiot@gmail.com)

экономическому успеху.

## II. ЭНЕРГЕТИКА КАК СИСТЕМА В АНАЛОГОВОЙ ЭКОНОМИКЕ.

Собственно электроэнергетика с 19 века превратилась в огромную отрасль, в которой есть свои разделы. Собственно все начинается с генерации электроэнергии, которая достаточно традиционно делилась на тепловую энергетику, гидроэнергетику и ядерную энергетику. По причинам экономической рентабельности станции (так по-железнодорожному называются узлы генерации, видимо из-за того, что детали этих гигантов как возили, так и возят по железной дороге) - это огромные сооружения, где производится до сих пор значительная доля мировой электроэнергии. География их размещения диктовалась часто чисто геоэкономическими факторами наличия ресурса угля или воды и соответствующего построения транспортных энергетических систем высокого напряжения в места потребления. Так возникли национальные сети передачи электроэнергии высокого напряжения, которые позволяли эту задачу практически решить. Для доведения же произведенного товара до потребителя создавались распределительные сети, доводящие энергетический продукт до потребителя. Собственно два показателя, такие как суммарная генерация страны и длина линий электропередач, корректируемые уровнем потерь в этой цепочке, практически однозначно соответствуют уровню экономического развития конкретной страны или региона в аналоговой экономике.

Для получения представления читателя об этом мы взяли не самые свежие данные, но очень четко характеризующие энергетику до наступления преобразований аналоговой экономики в цифровую, которые практически показывают борьбу всего двух аналоговых экономик: США и КНР.

Рассмотрим общие показатели по энергетике КНР. Производство электроэнергии в КНР занимает 2-ое место в мире, установленная мощность в 2010 году достигла 962 ГВт, далее:

- среднегодовой темп роста установленной мощности с 2005 до 2010 года: > 10%
- свыше 50% генераторов от 600 до 1000 МВт
- наибольшая единичная мощность: 1000 МВт термальный генератор; 800 МВт гидрогенератор; 1000 МВт ядерный генератор.

Положение энергетики России, США и Китая в мире представлено на диаграмме (рис. 1). В аналоговой экономике Россия была третьей.

Вторым показателем, иллюстрирующим состояние энергетики, является размерность передающей сети:

- 442 700 км ЛЭП по данным 2010 г. (220 кВ и выше)
- Трансформаторная ёмкость 1974 GVA на 2010 г.
- Передача переменного тока: ЛЭП 1000 кВ – 2 линии; ЛЭП 750 кВ – более 30 линий; ЛЭП 500 кВ – более 1200 линий; ЛЭП 220 кВ – более 6500 линий

- Передача постоянного тока:  $\pm 800$  и  $\pm 500$  кВ ЛЭП, в эксплуатации 13 линий.

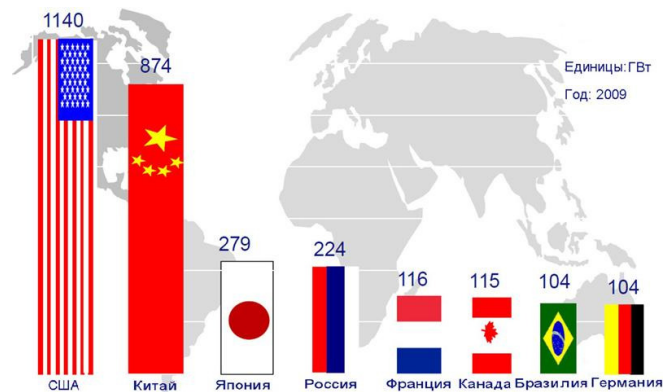


Рис. 1. Топ 8 стран по объёмам генерации.

Для сравнения, сеть ФСК – это 140 000 км ЛЭП (110кВт и выше). Иллюстрируя динамику роста протяжённости ЛЭП (220кВт и выше) в Китае, приведём соответствующую диаграмму (рис. 2).

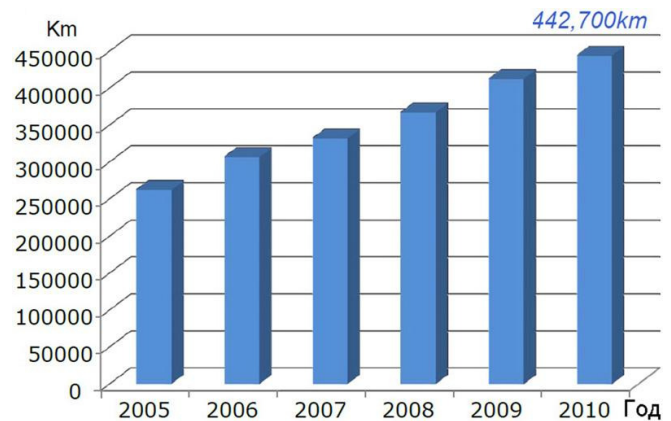


Рис. 2. Протяжённость ЛЭП переменного тока (220 кВ и выше).

Наиболее перспективным направлением линий переменного тока (по экономическим показателям) в КНР являются те, которые фактически соединяют Север и Юг страны. Кстати, в планах Европейских компаний, например, Италии стоит использование Китайского опыта по переменному току. Так возвращаются идеи Tesla, отвергнутые еще в 19 веке. Аналогичные проекты по использованию линий передач постоянного тока реализовывались и в СССР. Сегодня передача, например, в водной среде в кабелях по дну моря или рек и озер технически так же осуществляется только переменным током.

Для минимизации потерь разного рода еще в аналоговой экономике была разработана и реализована концепция Smart Grid или цифрового управления и оптимизации работы энергосистем на базе информационной модели CIM, фактически явившейся первой умной системой и явившейся прообразом систем цифровой экономики [4]. Упомянутые выше потери при передаче электроэнергии были сокращены с 20 – 40 % до 4-5%, и хоть в основу Smart Grid были положены

цифровые и сенсорные технологии (последние собственно и породили интернет вещей или IoT), это было бесспорно одно из лучших достижений аналоговой экономики в области цифровых технологий. Значительную часть удалось реализовать на уровне взаимодействия с пользователями, т.к. практически везде Smart Grid стартовал со Smart Metering или с умных счетчиков [5,6]. Это позволило накопить значительный потенциал практического опыта работы в условиях клиенто-центрических решений, ставших одним из ключевых принципов цифровой экономики. Необходимо понимать, что измерения произведенного продукта (счетчики) начинаются с момента выхода из точек генерации и происходят по всей энергетической цепи и являются исходными данными для построения справедливой системы взаимных расчетов между компаниями. Последнее, как, впрочем, и весь Smart Grid есть продукт ИТС.

В заключение этой части приведем данные из книги 2016 года [7], откуда мы воспроизводим таблицу рис 3. В ней приведены наглядные данные о том, какая из технологий генерации и в каком размере производит в граммах выбросы углерода на произведенную единицу (киловатт-час) электроэнергии. Эта таблица, как нам представляется, очень наглядно показывает итоги развития энергетики в аналоговой экономике.

Technology	g CO <sub>2</sub> e/kWh
Hydropower	7
Ocean power	8
Wind	10
Nuclear power	13
Concentrating solar power	20
Biopower	35
Solar photovoltaics	40
Geothermal	50
Natural gas combined cycle (NGCC)	450
Natural gas-fired combustion turbines (NGCT)	670
Coal	1000

*Approximations are based on either Published or Harmonized data. g=gram; CO<sub>2</sub>e = carbon dioxide equivalent; kWh=kilowatt hour*

Рис. 3 Технологии генерации и объемы выбросов, приведенные к одному показателю CO<sub>2</sub> на сгенерированный киловатт-час [7]

Состояние дел в Москве, мы полагаем, очень полно показывает работа [8]:

“Сохранение темпов роста выбросов на ближайшие 7-10 лет приведет к выходу на уровень эмиссии 1999 года уже к 2014-2017 гг. По уровню эмиссии парниковых газов Москва опережает Данию, Финляндию, Венгрию, Норвегию, Португалию, Словению, Швецию, Белоруссию, Нигерию, Чили и Сингапур. Основным

источником выбросов являются электростанции (53,2 %), за ними следует транспорт (28,4 %), котельные (12 %), прочие сектора (3,3 %), нефтепереработка (1,8 %), промышленность (0,7 %), технологические утечки и выбросы (0,6 %) “.

### III. ЭНЕРГЕТИКА, ЭКОЛОГИЯ И ИТС В КАК СИСТЕМА В ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ

В аналоговой экономике действовали законы, которые требовали для увеличения производства и наращивания объема производства исходного сырья для создания рыночного товара, и это был непреложный закон. Последствия этого выяснились довольно быстро – загрязнение окружающей среды и изменения климата. Это наложило на невиданную ранее урбанизацию [9] и сопровождается резким ростом типично городских заболеваний, уже свершившимся физическим перегревом городов и грядущими потерями источников воды и затоплениями. Процесс этот чисто физический и есть порог в +38 градусов по Цельсию, после которого атмосфера земли уже не служит защитным слоем от солнечных лучей и начинается процесс деградации земной поверхности в пустыню с соответствующим исчезновением водных ресурсов пригодных для потребления и другими малоприятными последствиями для жизни человека на Земле. Все это уже было в истории. Так образовались великие пустыни. Например – Сахара. И огромные по тем меркам массы людей бежали туда, где была вода. Первой попыткой решить эту проблему был Киотский протокол, на смену которому подписан (единогласно!) Парижский протокол, которым страны договорились сделать все, чтобы не перейти порог повышения температуры в 2 градуса. При этом проблемы с водой будут все равно у нескольких сотен миллионов жителей Земли. Однако если будет повышение в 3 градуса, то согласно прогнозу, 3,9 млрд. людей на планете (примерно 40% населения к тому времени) к 2050 году столкнутся с серьезными проблемами обеспечения водой [10]. Читатель может себе хорошо представить картину перемещения половины человечества по уже состоявшемуся исходу беженцев в Европу и проблем, которые будут этим вызваны. Это не считая других очень неприятных последствий, типа таянья вечной мерзлоты и освобождения огромных запасов горючих газов (метана), затопления островов и побережий и безусловных потерь сельского хозяйства, био-разнообразия и т.п. Вот это и есть то наследие в энергетике, которое переходит от аналоговой к цифровой экономике.

В 2015 году при подготовке парижской встречи были проведены массированные коллегиальные исследования об устойчивости городов оплаченные фондом Рокфеллера [11]. Особое внимание стоит обратить на коллегиальное исследование C40 Cities. В это объединение входят 40 мировых городов, и Россию в нем представляет г. Москва. Два из них посвящены действиям по компенсации изменений климата [12,13], а

одно прямо посвящено городской энергетике [14]. Не такие уж города и разные, пока еще в мире структура энергопотребления у них примерно одна и та же [14]. Собственно само Парижское соглашение было подписано [15] и теперь уже ратифицируется странами.

Мы уже не раз утверждали что строительство и информационное моделирование (BIM) присутствуют практически везде в цифровой экономике. Главными исполнителями исследований, о которых мы говорили выше, выступили всемирно известные компании и лидеры внедрения BIM технологий, такие как ATKINS, ARUP, VINCI, AECOM и другие, деятельность которых носит глобальный характер, включая Россию. С энергетикой, которая вовсе не виновата в бедах человеческих, мы решили показать это на последнем этапе жизненного цикла – ликвидации или точнее разборе объектов (Decommissioning), наиболее ярко отражающем процессы, происходящие в энергетической генерации. Человечество возлагало большие надежды на ядерную энергетику, полагая, что она наиболее чистый вид с точки зрения экологии и очень приемлема экономически. Единственный ее минус непрерывность производства и сложности замедления генерации компенсировался возможностями размещения рядом энергоемких производств. Однако две страшные аварии в Чернобыле и в Фукусиме разрушили эту иллюзию и вызвали необходимость ликвидации ядерных реакторов определенного поколения. Тема эта очень сложная и инновационная, в которой так же применяются технологии информационного моделирования и вообще почти весь спектр самых современных инноваций [16]. Разбирают ядерные реакторы все: США, Великобритания и Россия то же (это большое обременения, например, Росэнергоатома в 3 триллиона рублей). Как говорят специалисты, разобрать ядерный реактор стоит примерно столько же, как его построить. Однако приходится разбирать не только ядерные реакторы, но и морские платформы по добыче нефти [17] и особенно после не менее страшной катастрофы нефтяной платформы в Мексиканском заливе. Дело дошло до ликвидации обычных угольных тепловых станций [18]. Иногда им, впрочем, находят и другое применение [19]. Британцы сделали одну из таких станций памятником своей и мировой культуры, что есть большое признание этих тружеников электрогенерации.

Теперь попробуем понять суть проблем в гидрогенерации. Она единственная, по сути, природная и возобновляемая генерация из аналоговой экономики. Есть удивительный пример Норвегии – великой нефтегазовой страны Европы как минимум, но в самой Норвегии практически всю электроэнергию производят малые горные реки этой страны. Однако, как мы уже упоминали выше, проблемы с наличием этого ресурса в мире климатических изменений тесно связаны с глобальным потеплением. Мало того, что приходится бороться с перегревом городов, но еще и меняется структура водоснабжения городов. Так как 40 % расходов городских водных компаний составляют затраты на электроэнергию, то очень часто эти

проблемы рассматриваются как общие в структуре сервисов городского хозяйства и учитываются в совместных прогнозах и расчетах. Обратимся к ведущей мировой инженерно-архитектурной компании по этим направлениям в умных городах и практика по информационному моделированию (BIM) – ARUP. Сошлемся на два их исследования по водным системам городов, в связи с проблемами изменения климата и в этой части делающей более полной представление о проблемах энергетике городов [20,21].

Итак, по многим причинам города в решении своих энергетических проблем начали переход еще в аналоговой экономике на другие ранее мало используемые источники энергии: с угля и мазута на газ и биогаз. Невероятно большое развитие получили ветрогенераторы, солнечные панели и другие альтернативные источники энергии, которые, по своей природе, вообще имеют почти нулевые (минимальные) выбросы в атмосферу (гранулы из отходов древесины, торф и т.п.). Отметим только, что энергетика практически каждой страны имеет свои специфические особенности, сильно зависящие от природных условий и направлений экономического развития.

В цифровой экономике во главе всех экономических построений строит потребитель и многократное использование информации, как нефти 21 века – на этом строятся производства, медицина, образование, управление транспортом или объектами критических инфраструктур. Все это ведет к колоссальному увеличению использования электроники как потребителя электроэнергии. Это потребление имеет свои особенности с точки зрения качественных характеристик энергосетей. Каждый электронный прибор не является энергоемким, но при включении создает огромные пиковые нагрузки на электросеть и очень чувствителен к даже кратковременным перерывам энергоснабжения. Это хорошо известно даже на бытовом или офисном уровне. Конечно, с этим борются, монтируя специальные розетки с сетевыми кондиционерами и UPS. Тема энергетике современных дата-центров вообще отдельная наука (именно там и живут интернетовские данные, финансовые системы и много из того, что и составляет суть цифровой экономики, например - большие данные). Значит, для районов города нужны специфические решения, закрывающие эти проблемы. Причем в зависимости от того, какие части цифровой экономики в них работают, и какие требования с точки зрения энергетике предъявляются.

Так собственно и появилась концепция микрогрида – решения по энергетике в умных городах, наиболее полно удовлетворяющего потребности различных составляющих цифровой экономики [22]. Есть много определений микрогрида [23] и мы приведем самый простой это «локальная состоящая из трех ключевых компонент система: генерации, хранения и потребления. В него также входит объединяющая их электрическая сеть и объединенная система управления. Он (микрогрид) может быть автономным или подключенным к общей энергетической сети».

Формальное определение микрогрида приводится, например, в документе IEEE [24] и мы процитируем его для более искушенного энергетического читателя:

“В этом документе содержится информация о предустановленных автономиях в электроэнергетических системах (EPS), включающих в себя распределенные ресурсы (DR). Автономные системы DR иногда называют микросетями, и этот термин используется для предустановленных автономий. Автономные системы DR – это системы EPS, которые: (1) имеют ресурсы DR и нагрузку, (2) отключения от зональной EPS и параллельной работы с ней EPS, (3) включают локальную EPS и могут включать участки зональной EPS, и (4) предварительно планируются. К автономным системам DR могут относиться автономные области локальных, или зональных EPS”.

Мы привели цитату документа IEEE с одной целью - показать, что в той или иной мере эта часть энергетики по многим причинам нуждалась в стандартизации не только по причине цифровой экономики, которая собственно зарождалась уже в рамках аналоговой, а из чисто практических соображений.

Собственно новое в этой технологии тотальная ориентация на конкретных потребителей, что полностью соответствует положениям цифровой экономики. Когда микрогрид оперирует независимо от «большой сети» в режиме «острова» то он находится под своим управлением и сам управляет энергетикой «острова». Однако он так же может быть подсоединен к общей энергетической сети через точку взаимного обмена (PCC), позволяющей импортировать или экспортировать электричество. Последнее определяется коммерческими или техническими условиями.

Генерация в микрогриде может быть обеспечена в самой разнообразной форме распределенных энергетических ресурсов (DER`s) как от возобновляемых источников, так и от природных ископаемых ресурсов (уголь, нефть, газ, термальные источники и т.п.). Система хранения электроэнергии может включать различные типы батарей (позже мы на этом остановимся), электроавтомобили и т.п.

Собственно благодаря многим возможностям, внутри системы можно задавать разнообразные требования к энергетическим показателям и, в том числе, к времени ответа (DR), что позволяет каждому пользователю выстроить наиболее полно отражающие его индивидуальные характеристики снабжения, безопасности и контроля за «своей» частью системы. Заметим, что микрогрид - это преимущественно энергетическая система, но может так же включать и компоненту по теплоснабжению или водоснабжению. Например, если внутри микрогрида используется газогенерация (имеет очень сильное распространение в России), и в результате сжигания газа (природного или биогаза) получается помимо электричества так же и тепло, то это будет управляться одной ИТС системой. Огромные преимущества дают также возможности применения как постоянного тока (DC) так и переменного (AC) тока или их комбинаций.

Исходя из сказанного выше, микрогрид это тот инструмент цифровой экономики, который позволяет делать конкретные системы в ней максимально ориентированные на нужды конкретных ее частей с точки зрения их требований к энергетике и ее качественных характеристик. Это, помимо упомянутых условий работы электроники (в том числе, систем связи: сотовой мобильной связи в микрогриде работает, а вокруг нет), относится к цифровым производствам, инфраструктурам, медицине, системам безопасности и т.п. Свои требования могут быть у исследовательских центров и мест спорта и досуга.

Невероятно важно, что микрогрид это инструмент снижения, как объема, так и влияния вредных выбросов. Известно, например, что выбросы в атмосферу и их влияние очень сильно зависят от погодных условий и собственно природных географических условий. Понятно, что применение экологически чистых источников энергетики (например, малых рек как в Норвегии) позволяет добиться очень существенных экологических результатов в конкретном месте, но это далеко не всегда возможно. Существенно и то, что за счет известной автономности элементов его инфраструктуры микрогрид позволяет поддерживать критически важные элементы инфраструктуры, не переходя, к примеру, на крайне вредную, с точки зрения экологии, дизельгенерацию. Очень много возможностей в этой части дает и комбинация AC и DC токов.

Большое пространство микрогрид открывает и в экономической части его применения. Он позволяет выстроить наиболее эффективную с точки зрения цены политику в конкретных условиях применения, гибко сочетая покупку по выгодной цене, продажу по выгодной цене и хранения электроэнергии. Все сказанное выше просто невозможно без ИТС. Именно она управляет режимами работы, учета ресурсов и взаиморасчетов в режиме реального времени или CPS.

Широкое поле деятельности для специалистов в области ИТС открывают возможности зеленого ИТ в сочетании с микрогрид и иными технологиями. К сожалению, в России об этом практически не пишут так широко как в других странах. Отрадное впечатление от редкой публикации [25] не сглаживается отсутствием практических шагов в этом направлении. Практически все российские специалисты ИТС исповедуют в активной форме зеленые принципы жизни. Но в отличие от других стран, где это стало организованным движением со своими принципами и влиянием, в России это направление практически отсутствует, а реализация принципов зеленого ИТ имеет далеко не только идеологическое значение. К примеру, только в США за счет того, что персональные компьютеры не выключались пользователями на ночь, терялось электроэнергии на сумму в 3 млрд. долларов в год (соответствующим пересчетом по выбросам от типа генерации - см. рис. 3). Можно было бы привести огромный список монографий на эту тему, но мы решили что читателю важно и понять где сейчас находится развитие этого направления и ограничимся двумя книгами серии для начинающих (For Dummies).



Это широко известная в нашей стране серия книг от не менее известных в ИТС мире компаний IBM [26] и HP [27]. Обе эти книги впервые были изданы за счет компаний в 2009 году. С применением каких технологий программирования, как Big Data, IoT, SCADA, CPS, GIS или иных модных направлений эти системы строятся.

Мы, к сожалению, не ставили целью рассказать обо всем, и отсылаем читателя к огромной книге (433 странице) теории и практике применения зеленого IT [28], выпущенной совместно с упоминавшимся выше в 2012 году.



Рис. 4 Зеленая энергетика на марше

Понятно, что никакое ИТС не может решить чисто энергетические проблемы и инновации в емкости системы хранения электричества в системе микрогрида и стоимость хранения в них есть ключ к успеху, как, впрочем, и успешность применения технологий. Начнем с положительной практики. Формально сегодня уже функционирует огромное количество микрогридов, но они в большей своей части небольшой единичной энергетической мощности. В этих системах резко растет использование источников возобновляемой энергетики и по большей части солнечной и ветряной. В большом количестве стран установка солнечных батарей для домовладельцев осуществляется бесплатно и электроэнергия с них покупается электросетевыми компаниями по льготным тарифам, а, к примеру, в Испании установка солнечных батарей обязательна при новом строительстве домов. Крупнейшим в мире производителем солнечных элементов в мире стал Китай, да и в Москве вы их уже можете видеть на переходах через улицы и во дворах школ. От малых установок начался рост применений средних по мощности решений для дата и бизнес центров, и сильно увеличивается коллективное использование микрогридов несколькими владельцами. Более 40% мировых установок микрогрида работают в США, где они в совокупности составляют 940 MW. Размерность рынка США по микрогридам в 2015 году составляла 2,76 млрд. долл. США и быстро продолжает расти.

Однако совершенно понятно, что будущее расширение применение микрогридов напрямую зависит от систем хранения электроэнергии, стоимости хранения единицы электричества и длительности по времени. Влияние систем хранения электроэнергии уже оказало революционное действие на старый мир сенсоров, когда длительность работы элементов питания для них с

годового срока использования уже перешагнула десять лет, и это стало одной из реальных возможностей бурного развития IoT или интернета вещей. Огромную роль в этом сыграли nano-технологии и инновационные разделы химии и физики. Но при этом решалась другая задача стабильного энергопитания электронного устройства на длительный период и это скорее микроэнергетика. Вместе с тем часть наработок уже используется и «больших» системах хранения электроэнергии. Но тут есть очень большая принципиальная разница в том, что в IoT это только для одного устройства энергетика, а в микрогрид это для большого и по-разному комбинируемого их количества.

Наиболее полный отчет о возможностях хранения электроэнергии был подготовлен, насколько нам известно, в Австралии в прошлом году – Австралийским агентством по возобновляемым видам энергии и АЕСОМ (мы о нем уже говорили и эта компания работает успешно в России более 20 лет – [aecom.com/Russia](http://aecom.com/Russia)) был официальным исполнителем этого исследования [29]. Есть очень простой суммарный вариант по технологиям и их возможностям в энергетике. Предварительно только поясним, что сегодня в цифровой экономике энергетика уже состоит из:

- Генерация с низким выходом углерода и возобновляемая (Energy Supply – Low Carbon&Renewable),
- Системы хранения электроэнергии (Energy Storage),
- Умные энергетические сети и микросети (Smart Grids and Microgrid),
- Данные для Умных городов (Data in Smart Cities),
- Системы энергетике для домов или умных домов (Building System).

Эта система существует вместе с энергетическими системами аналоговой энергетики, и они работают совместно. Соответственно, системы хранения электроэнергии могут быть размещены в любых узлах как цифровой, так и аналоговых частей экономики. В отчете приводятся два показателя емкость хранения и КПД. На объемах хранения электроэнергии от 100mw до 1GW есть всего два решения: гидроаккумуляция (Pumping Hydro Storage) с КПД 70-85 % и метод сжатия воздуха (Comperessed Air E.S.) с КПД 45-70 %. В диапазоне хранения от 1 kw до 10 mw, который нас собственно и интересует, для микросетей с КПД 70-85 % используются: Flow Battaries, Sodium Sulphur, Fly Wheel. Однако самыми перспективными в этом диапазоне хранения, но с КПД 85-100% признаны Lithium Ion, Advanced Lead Acid и Super Capsitor методы хранения электричества. Заметим, что есть несколько соображений об удобстве именно Австралии для такого рода исследований. Их несколько: эта страна уже испытывает изменения в климате не одну сотню лет, и из цветущего материка превратилась, в значительной части, в полупустыню. Большая часть этой страны не охвачена единой энергетической сетью. Австралия страна с высоким уровнем развития и в цифровой экономике и в информационном моделировании. Наконец, исследование построено так, что оно носит

характер международного и дает представление о всех продвинутых решениях в этом направлении в мире. Так вот если в части микросетей лидерство у США, то в части систем хранения - у Японии. Т.е. нужен союз по технологиям этих стран.

И такой союз состоялся между TESLA Motors и Panasonic Corporation. Они сумели добиться снижения стоимости самого устройства хранения электричества с 1000\$/kWh в 2007 году до менее 300\$/kWh в 2015 (автомобиль ModelS) и произвести и сбыть в том же 2015 году более 35000 тысяч этих автомобилей. Так как сегодня примерно 83% домов в США уже имеют солнечные батареи и домовладельцы стремятся перейти к нулевым загрязнениям и экономии средств (аналогичное решение принято по всему Лондону), то с 2015 года TESLA начала продавать для таких потребителей устройство хранения электроэнергии PowerWall (Lithium-Ion) в двух исполнениях: 10kWh по стоимости 3500\$ и 7kWh по стоимости 3000\$. Оба устройства поставляются с 10 летней гарантией. Схема монтажа в доме приведена на рис 4. PowerWall могут монтироваться в стойки до 90kWh из 10kWh и 63kWh из 7kWh. Для гибкого управления поставляется Smart Inverter и контрольная панель. Домовладельцами, которые уже приобрели это решение, накоплена весьма позитивная статистика по экономике этого подхода.

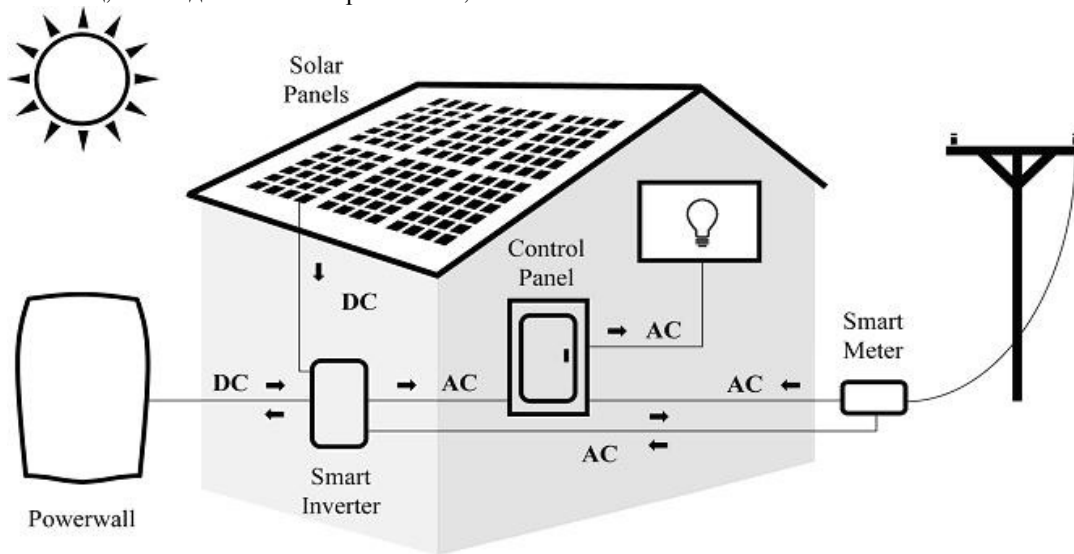


Рис 5. Схема монтажа PowerWall в доме с солнечными батареями и соединением в общую электросеть

На базе решения PowerWall разработано индустриальное решение PowerPack с мощностью хранения 500kWh и снижением стоимости ниже 250\$ за kWh. Эти решения так же могут монтироваться в стойки с мощностью стойки до 10MWh и рассчитаны уже на индустриальный сектор и микрогриды. Одним из первых о проведении пилота на 4,8 MWh заявил Amazon Web Services (AWS) с последующим тиражированием этого решения на всю систему 160 дата центров AWS по всему миру.

В 2014 году TESLA Motors и Panasonic Corporation заложили производство в штате Невада – Gigafactory с суммарной мощностью в 35GWh в год, инвестировав в

него 4,5 млрд \$. Пуск ожидается в 2017 году, а к 2020 году Gigafactory выйдет на проектную мощность и будет производить по мощности этих батарей больше чем весь мир в 2014 году (эти батареи стоят и на смартфонах и на многих других устройствах).

Как успешный проект (реализованный в схожих с Россией климатических условиях) можно упомянуть работу по активным домам в Финляндии [30]. Дом полностью обеспечивает себя энергией с помощью солнца, ветра и тепла из недр земли. И это возможно даже на севере Финляндии. Дом нулевой энергии (или, так называемый, активный дом), сам производит столько энергии, сколько потребляет. Годовой расход

энергии — круглый ноль. Выработанные летом излишки энергии продаются электросетям, через которые зимой покупается необходимое количество электричества.

### III ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня большая часть реализованных проектов микрогрид сделана в США. В 2014 году появился документ [31], который был выполнен по заказу Министерства энергетики США (DOE). Само министерство определило тему развития исследований в области микрогрида как имеющую наивысший приоритет. DOE установило, что коммерческие реализации микрогрида должны обеспечить снижение вредных выбросов по сравнению с текущими реализациями не менее чем на 20 % и увеличить

энергоэффективность не менее чем на 20%. Именно в этом документе была разработана дорожная карта исследований (рис 5) и состав привлекаемых по теме научно-исследовательских организаций (рис. 6). Трудно переоценить совершенно невероятный вклад в реальную экономику США при достижении этих показателей. В данном случае - это снижение затрат компаний на энергию и, соответственно, повышение конкурентоспособности товаров как цифровой так аналоговой экономики как минимум на 10-20 %. Но в данном случае это еще и снижение экологических потерь по многим направлениям и снижение затрат на медицину и многое другое. Вот такое влияние микрорешений!

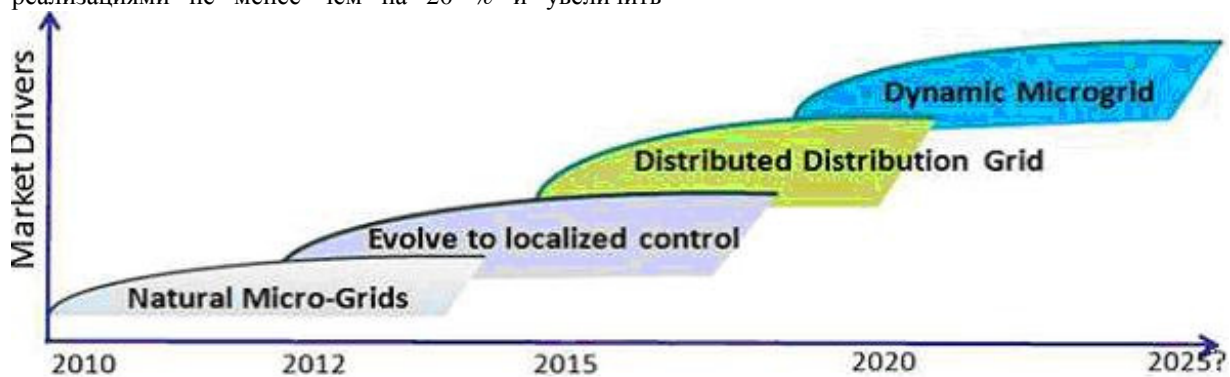


Рис. 6. Дорожная карта по созданию нормативной базы динамического микрогрида

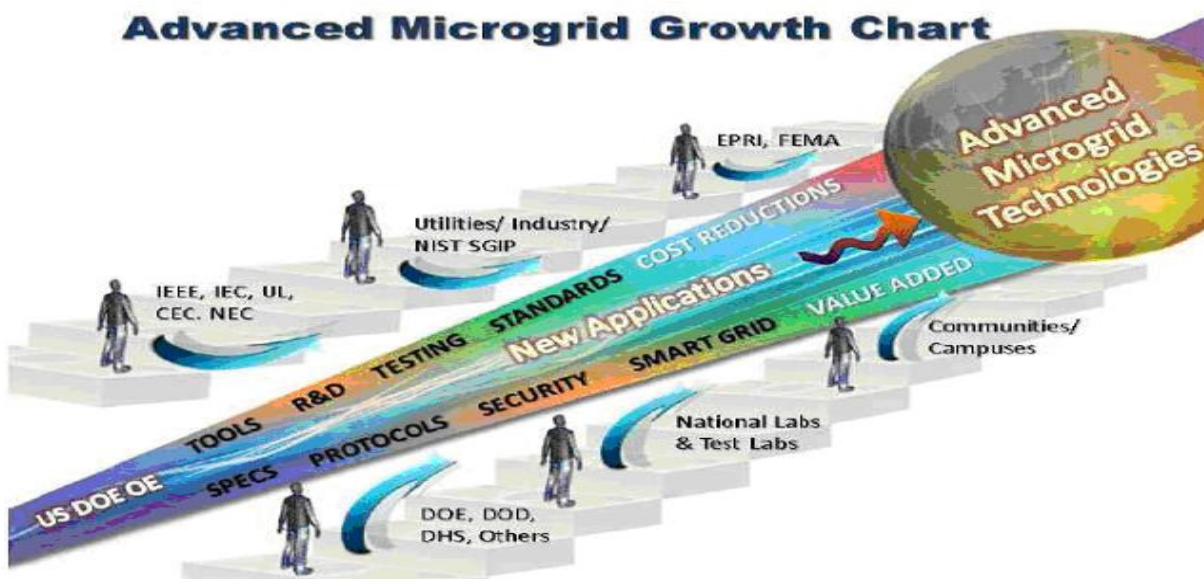


Рис. 7 Состав привлекаемых исследовательских организаций по теме Advanced microgrid

Техническая цель всех работ сделать возможным все режимы взаимодействия в системе реального времени или CPS [32]. Должны быть обеспечены все возможные режимы совместной работы типа микрогрид-микрогрид или микрогрид-грид. Для обеспечения этого оптимизирующего функционирования планируются опробовать и исследовать специальные контроллеры для микрогридов (образцы своих вариантов таких контроллеров представили все мировые производители оборудования для энергетики). Учитывая, что стандарты

на CPS разрабатывает NIST, а на энергосовместимость нового оборудования практически всех компаний производителей в мире тестирует EPRI (смотри Рис. 6), то нет сомнений в практической реализации этих планов. На сегодняшний день, например, уже существует выпущенная Британским институтом стандартов спецификация PAS 2030, ориентированная на измерения энергетической эффективности [33].

На международном уровне основные требования к таким контроллерам будет выпускать IEEE.



Приведем для нашего читателя наименования этих двух стандартов и сроки их выпуска:

IEEE P2030.7 Standard for the Specification of Microgrid Controllers. Будет полностью завершен к августу 2017 года

IEEE P2030.8 Standard for the Testing of Microgrid Controllers. Будет полностью завершен в мае 2018 года.

Заметим, что, как правило, стандарты IEEE становятся наднациональными и, следовательно, будут локализованы и в России. Однако учитывая, что ни в одном из источников мы не нашли каких либо серьезных отсылок на российские исследования на этот счет, а по теме Smart City уже планируется стандартизация в России, полагаем целесообразным экстренно включить эту тематику в круг работ по Умному дому, Умному городу и Интернету вещей. Учитывая чрезвычайно высокую экологическую значимость этих направлений, следует так же рассмотреть возможность привлечения этих подходов в состав дорожной карты по выполнению парижского соглашения 2015 года.

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Local energy in an age of austerity: preserving the value of local and community energy, NESTA, 2015, <http://www.nesta.org.uk/publications/local-energy-age-austerity-preserving-value-local-and-community-energy>
- [2] «Цифровые дивиденды. Обзор. Доклад о мировом развитии 2016» Международный банк реконструкции и развития/Всемирный банк 2016
- [3] Energy Storage Study. A storage market review and recommendations for funding and knowledge sharing priorities, AECOM, 2015 <http://arena.gov.au/files/2015/07/AECOM-Energy-Storage-Study.pdf>
- [4] Конев А.В., Куприяновский В.П., Бадалов А.Ю., Богданов А.Г., Волков С.А., Снягов С.А. Энергетика, Smart Grid, интеллектуальные транспортные сети. Практические возможности в России. ArcReview 2 (61), 2012.
- [5] Farhangi H. The path of the smart grid //Power and energy magazine, IEEE. – 2010. – Т. 8. – №. 1. – С. 18-28.
- [6] Schneps-Schneppe M. et al. Wired Smart Home: energy metering, security, and emergency issues //Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2012 4th International Congress on. – IEEE, 2012. – С. 405-410.
- [7] Darren Beck “Smart Energy The Future of Power Storage”, O’Reilly, 2015
- [8] Ю.А. Русакова «Климатическая политика Российской Федерации и решение проблем изменения глобального климата». Международные отношения и мировая политика 2015 г
- [9] Куприяновский В. П. и др. Умные города как «столицы» цифровой экономики //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 2. -С. 41-52.
- [10] O.Saritas, L. Proskuryakova, E.Kyzyngasheva " Water resources - An Analysis of Trends, weak signals and Wild Cards with Implications for Russia" National Research University Higher School of Economic 2015 WP BRP 35/STI/2015
- [11] Jo da Silva «City Resilience Index» ARUP , The Rockefeller Foundation July 2015
- [12] Potential for Climate Action. C40 Cities, ARUP (при поддержке UCL) December 2015
- [13] Climate Action in Megacities 3.0. C40 Cities, ARUP December 2015
- [14] Powering Climate Action in Cities as Global Challenge markets v.1.0 C40 Cities, ARUP June 2015
- [15] Рамочная конвенция об изменении климата. ООН FCCC/OP/2015/L.9/Rev 1 12 December 2015
- [16] R&D and Innovation Needs for Decommissioning Nuclear Facilities. Radioactive Waste Management. OECD, NEA 2014
- [17] Decommission in the North Sea. Decom NorthSea, Scottish Enterprise, ARUP October 2014
- [18] Power Plant Decommissioning Demolition and Remediation. ARUP 2015
- [19] 20th – Century Coal-and Oil – Fired Electric Power Generation. Introduction to Heritage Assets. Historical England June 2015
- [20] Water Research Review 2014/2015 ARUP 2015
- [21] The Future of Urban Water. Scenarios for Urban Water Utilities in 2040 ARUP, Sydney Water 2015
- [22] Morvaj B., Lugarc L., Krajcar S. Demonstrating smart buildings and smart grid features in a smart energy city //Energetics (IYCE), Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on. – IEEE, 2011. – С. 1-8.
- [23] LI Z., YUAN Y. Smart Microgrid: A Novel Organization Form of Smart Distribution Grid in the Future [J] //Automation of Electric Power Systems. – 2009. – Т. 17. – №. 008.
- [24] IEEE. Основы разработки, эксплуатации и интеграции автономных систем на базе распределенных ресурсов с электроэнергетическими системами. Утверждено 16 июня 2011 Ассоциацией стандартов IEEE-SA
- [25] С.Ф. Тюрин « Обзор технологий зеленого компьютеринга». Вестник ПНИПУ № 13, 2015
- [26] Green IT for Dummies. IBM limited Edition Wiley 2009
- [27] Green IT for Dummies. Wiley 2009
- [28] Harnessin Green IT. Principles and practices. Willey 2012
- [29] Energy Storage Study. Finding and Knowledge sharing Priorities. Australian Renewable Energy Agency, AECOM 13-Jyl-2015
- [30] Дом без счетов за электричество <http://finland.fi/ru/biznes-innovatsii/dom-bez-schetov-za-elektrichestvo/>
- [31] The Advanced Microgrid. Integration and Interoperability. SANDIA REPORT SAND 2014-1535 , March 2014
- [32] Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Снягов С. А. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 2. – С. 18-25.
- [33] PAS 2030 <http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030297314>

# Microgrids - energy, economy, ecology and IT-services in Smart Cities

Vasily Kupriyanovsky, Felix Fokin, Sergey Bulancha, Julia Kupriyanovsky, Dmitry Namiot

**Abstract—** This article discusses energy issues in the context of smart cities. The paper describes microgrid as an energy solution in smart cities that best meets the needs of the various components of the digital economy. Separately we describe microgrid's contribution to the theme of reducing emissions. We believe that it would be appropriate to include this extra subject in terms of work on the Smart home, the Smart City and the Internet of things, held in Russia.

**Keywords—** energy, microgrid, Internet of Things.