

Для цитирования: Гительман Л. Д., Кожевников М. В. Электрификация как драйвер развития «умных городов» // Экономика региона. — 2017. — Т. 13, вып. 4. — С. 1199-1210

doi 10.17059/2017-4-18

УДК 338.49

Л. Д. Гительман, М. В. Кожевников

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина  
(Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: ldgitelman@gmail.com)

## ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ «УМНЫХ ГОРОДОВ»<sup>1</sup>

*В статье рассматриваются организационно-экономические аспекты структурных изменений энергетики в «умном городе» при глубокой электрификации его транспортной инфраструктуры, бытового и коммерческого секторов. Научная новизна исследования заключается в выработке механизмов решения актуальной проблемы формирования региональной электроэнергетики, обслуживающей интеллектуальные технологии будущей городской среды с учетом национальных особенностей. Под электрификацией авторами понимается процесс насыщения народного хозяйства наиболее прогрессивным энергоносителем — электроэнергией, при котором электропотребляющая и электрогенерирующие сферы образуют целостную систему. Определены особенности и основные направления нового этапа электрификации в «умных городах». Показано, что в энергетике таких городов сочетаются централизованные и децентрализованные технологические решения, что требует определенной перестройки в распределительном и энергосбытовом секторах региональной энергетики, в частности модернизации распределительных низковольтных сетей, совершенствования тарифной политики, реализации программ управления спросом на энергию. Выявлены приоритетные направления электрификации умных городов, к которым относятся развитие электротранспорта, электромобилей и сопутствующей инфраструктуры, а также интеллектуализация домохозяйств на основе внедрения различных систем управления электроприборами. Продемонстрировано влияние роста электромобилей на рынок электроэнергии и нагрузки в региональной энергосистеме; в частности, проанализирован зарубежный опыт интеграции электромобилей в энергетическую сеть. В части электрификации умных домов представлены исходные энергетические условия их конструирования, требования к региональным подрядным организациям, производителям энергетического оборудования, энергосбытовым и электросетевым компаниям. Разработан комплекс технико-экономических решений для активизации соответствующих проектов, включающих широкое применение маневренного генерирующего оборудования, энергосберегающих приборов и аккумуляторных устройств, оптимизация структуры ТЭЦ, снижение радиуса электроснабжения и протяженности электросетей. Кроме того, предложены различные варианты дифференцированных тарифов на электроэнергию, стимулирующих электрификацию в умных городах.*

**Ключевые слова:** электрификация, умный город, энергосистема, интеллектуальные сети, электротранспорт, электромобиль, умный дом, малая энергетика, управление спросом, дифференцированные тарифы

### Введение

«Умный город» характеризуется высокоэффективной экономикой и управлением, высоким уровнем качества жизни, динамичностью делового климата и мобильностью кадров, бережным отношением к окружающей среде и населением, активно участвующим в жизни города [1]. В этом отношении «умный город» опирается на партнерство бизнеса, власти, научно-исследовательских организаций, которое создает площадку для обмена знаниями, со-

вместного обучения, реализации долгосрочных инновационных проектов. Создание нового «умного города» (или трансформация традиционного в «умный»), с одной стороны, предполагает его виртуальную гиперсвязанность, что выражается в высокой плотности информационных систем в городской инфраструктуре, которые позволяют осуществлять непрерывный дистанционный мониторинг, анализ и управление ее разнообразными параметрами; с другой стороны, большое значение имеет качество среды обитания — экология (чистая вода и воздух), доступность транспорта, удобство передвижения, безопасность [2–4].

<sup>1</sup> © Гительман Л. Д., Кожевников М. В. Текст. 2017.

Как показывает анализ зарубежных и отечественных исследований по проблематике развития «умных городов» [5–11], ключевую роль в эффективности столь масштабных проектов играет электроэнергетика, а именно степень ее адаптации к требованиям активных потребителей, что во многом зависит от глубины электрификации, позволяющей реализовывать широкий спектр сопутствующих энергетических услуг. В частности, в работе Мейера [11] отмечено, что подавляющее большинство публикаций 2000–2015 гг., посвященных устойчивости «умных городов» в технологическом контексте, сфокусированы именно на организации электроснабжения и *smart grid*. Это обусловлено тем, что электроэнергия — наиболее управляемый и экологически чистый энергоноситель.

В настоящей статье авторами обоснованы основные направления электрификации в «умных городах» и сформулированы рекомендации для создания механизма реализации данных направлений.

### Особенности электрификации умных городов

Электрификация — это процесс насыщения народного хозяйства наиболее прогрессивным энергоносителем — электроэнергией. В самом определении акцентируется целостность электропотребляющей и электрогенерирующей сфер.

Каждая из данных сфер в разной мере демонстрирует готовность (совокупность необходимых условий) к электрификации. Причем спрос на нее определяет электропотребляющая система. Ее готовность — это наличие мотивации к внедрению инновационных электротехнологий, доступ к ним и инвестициям. Кроме того, необходимы такие условия, как определенное соотношение цен на электроэнергию и альтернативные энергоносители, стремление параллельно реализовывать потенциал энергосбережения (для снижения объема электропотребления, а следовательно, платы за электричество), государственное стимулирование снижения издержек, адаптация рынка электроэнергии и мощности к электрификации, прежде всего, в части конкуренции в генерации.

Готовность электрогенерирующей системы предполагает наличие достаточных мощностей по объему, синхронизированных по времени и месту покрытия нагрузки, надежность и качество электроснабжения, энергоэффективные технологии, а также уровень цен, стимулирующих электрификацию.

В связи с рассматриваемой в статье проблематикой «умных городов», отметим, что в настоящее время разворачивается новый этап электрификации, включающий малоэлектромки направления в следующих областях:

- энергопотребляющие процессы в быту; здесь происходит значительное расширение круга электроприборов;

- электромобили и сопутствующая инновационная инфраструктура;

- инфокоммуникационное оборудование как электрифицируемый процесс.

В «умном городе» инфраструктура выстроена на новых технологиях, позволяющих рационально использовать источники энергии и минимизировать воздействие на окружающую среду<sup>1</sup>. К ним относятся новые решения в сфере электроэнергетики, водоснабжения, учета энергетических ресурсов, утилизации отходов, а также создание более эффективной транспортной системы и так называемых «умных зданий». Руководить энергетическим обменом в «умном городе» должна, по замыслу разработчиков, «умная сеть» — интеллектуальная, автоматически балансирующая и самоконтролируемая система, способная принимать электроэнергию и преобразовывать ее в конечный продукт при минимальном участии людей (рис. 1).

Таким образом, в умных городах происходит переход к интегрированным моделям энергоснабжения, когда отдельные схемы энерго-, тепло-, газо- и водоснабжения, а также телекоммуникационные структуры формируют общую «систему систем», требующую новых подходов к организации управления и диспетчеризации. В этих условиях на смену конкуренции владельцев отдельных звеньев энергопоставок должно прийти их согласованное поведение в интересах потребителя [12].

Для «умного города» характерно развитие зеленой энергетики с использованием ВИЭ, пассивных жилых и коммерческих объектов с практически нулевым электропотреблением или активных домов, самостоятельно генерирующих и накапливающих электроэнергию за счет солнечных панелей и автономных топливно-энергетических элементов. У частных потребителей происходит переход от «розеточного» питания к питанию через аккумуляторы-накопители, что, в конечном счете, позволяет снижать пиковые нагрузки.

<sup>1</sup> Orchestrating infrastructure for sustainable Smart Cities. White Paper, 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iec.ch/whitepaper/pdf/iecWP-smartcities-LR-en.pdf> (дата обращения: 18.05.2017).



Рис. 1. Интегрированная энергосистема «умного города»

Поскольку в крупных городах сконцентрировано огромное, по сравнению с другими территориями, количество инновационных и исследовательских центров, наукоемких производств, наукоградов, отличающихся непрерывным режимом работы, спрос на энергию и нагрузка на региональную энергосистему резко увеличиваются, а следовательно, предъявляются особые требования к надежности и бесперебойности энергоснабжения. Повышение уровня электрификации «умного города» сопровождается внедрением мультиагентного управления энергоинформационными системами [13–14]. В этой связи в энергетике региона расширяется спектр внутренних и внешних наукоемких сервисов:

— удаленный мониторинг состояния оборудования и инженерных сетей, совмещенный с системами управления активами энергокомпаний;

— индивидуальное регулирование нагрузкой потребителей;

— управление уровнем освещения и климат-контролем зданий;

— прогнозный ремонт оборудования, основанный на оценке рисков;

— организация закупочных процедур и логистики энергокомпаний на основе прогнозирования потребительского спроса.

Примеры таких мегаполисов, как Барселона, Сан-Франциско и Сингапур, демонстрируют, что конфигурация электроэнергетики является

определяющей при достижении ключевых целей устойчивого развития города — от минимизации вредных выбросов до онлайн-управления городскими системами. Электрификация основных технологических процессов в быту, в производстве и на транспорте, основанная на сочетании централизованной и малой энергетики, является необходимым условием реализации подавляющего большинства проектов развития умных городов. В частности, в Сан-Франциско проекты RecycleWhere, SF Energy Map, SFpark или ChargePoint были бы невозможны без инициатив по электрификации автомобильной инфраструктуры и замещения тепла электроэнергией при отоплении и приготовлении пищи в частном секторе [15–17].

### Электромобили — приоритетное направление электрификации

Мировой рынок электромобилей продолжает неуклонно расти, позволяя предположить, что в будущем электродвигатели не только будут успешно конкурировать с системами двигателей внутреннего сгорания, но и в значительной степени вытеснят их из широкой эксплуатации<sup>1</sup>. Так, в 2011 г. количество эксплуатируемых в мире электромобилей оценивалось на уровне в 50 тысяч единиц, а в 2016 г. рынок до-

<sup>1</sup> Global EV Outlook 2016. Beyond one million electric cars [Электронный ресурс]. URL: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global\\_EV\\_Outlook\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf) (дата обращения: 18.05.2017).

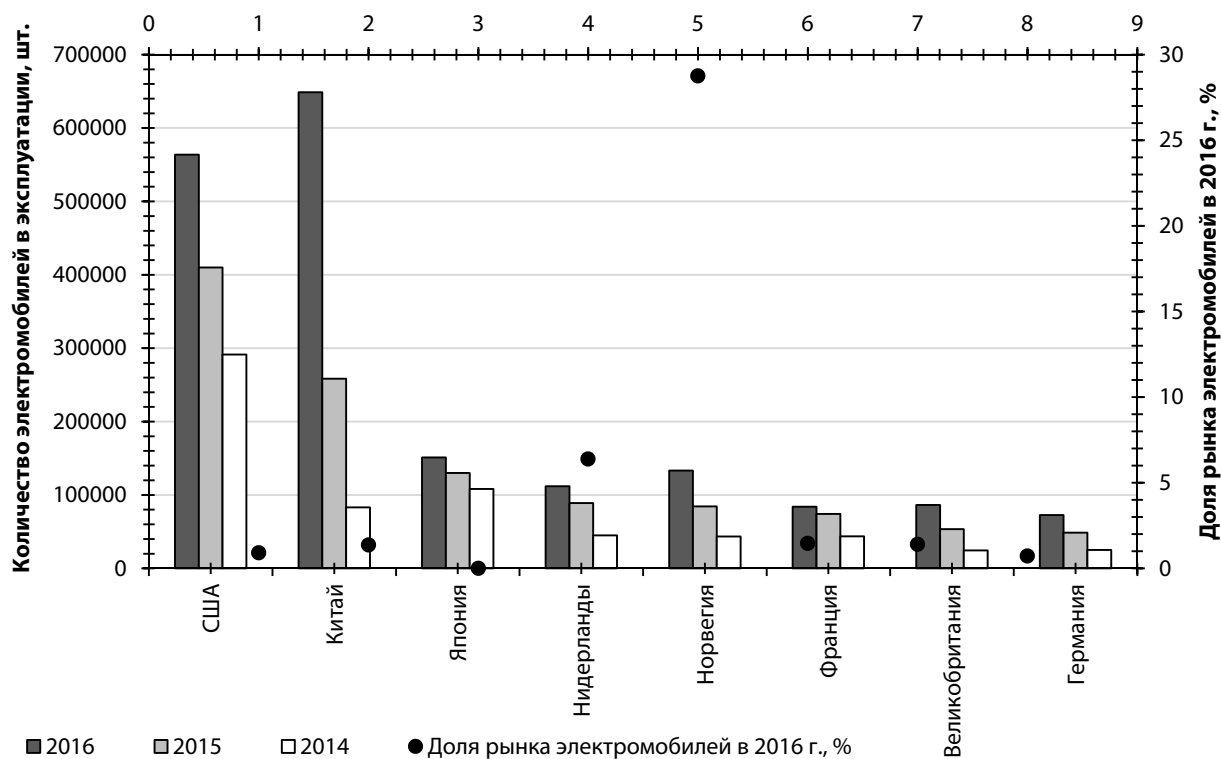


Рис. 2. Количество эксплуатируемых заряжаемых электромобилей в мире

стиг отметки в 2 млн (рис. 2). В ряде стран, например, в Норвегии и Нидерландах, на уровне государств приняты законы о полном переходе на электромобили в долгосрочной перспективе (до 2030–2040 гг.).

Основными направлениями развития данной отрасли являются электрозаправки и сопутствующая инфраструктура (например, «умные парковки»), производство деталей и элементов для электромобилей, а также непосредственное производство электромобилей и легких электротранспортных средств передвижения, в том числе скутеров и электровелосипедов [18, 19].

Электротранспорт уже оказывает влияние на рынок электроэнергии. Например, в Англии владельцы электромобилей получили возможность с 2016 г. продавать энергию, накопленную в аккумуляторе автомобиля, обратно в единую энергосистему, что делает их полноправными и активными участниками энергетического рынка. Это стало возможным благодаря подписанию соглашения между автомобильным концерном Nissan и международной энергетической корпорацией Enel<sup>1</sup>. Зарядные устройства и электромобили с технологией V2G

<sup>1</sup> The Smart City Market: Opportunities for the UK. Research Paper, 2013. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/249423/bis-13-1217-smart-city-market-opportunities-uk.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/249423/bis-13-1217-smart-city-market-opportunities-uk.pdf) (дата обращения: 18.05.2017).

(Vehicle-to-Grid, «от автомобиля в сеть») предоставляют их владельцам возможность создавать мобильные энергоцентры, соединяющие их автомобили с энергосетью. Обладатели одной из самых продаваемых моделей электромобилей Nissan Leaf могут подсоединяться к общей энергосети в период низкого спроса, когда тарифы на электричество минимальны, а впоследствии использовать запасы электроэнергии для нужд домохозяйств в периоды высоких тарифов или отдавать энергию обратно в сеть, получая дополнительный доход. Таким образом, электрические транспортные средства способны обеспечить надежный резерв мощности для энергосистемы с малым временем отклика. Аналогичный эксперимент, проведенный группой Volkswagen, компаниями Lichtblick и SMA Solar Technology, а также Институтом электроэнергетики Фраунгофера, успешно завершился в 2016 г. в Германии<sup>2</sup>.

В РФ проекты развития электромобилей присутствуют в основном в Москве, Подмосковье и Санкт-Петербурге. Пилотные проекты запущены в Екатеринбурге, Белгороде, Приморском, Хабаровском и Краснодарском крае. Согласно прогнозу Московской объединенной электросетевой компании, ожидается,

<sup>2</sup> The Future of the German Automotive Industry. Structural Change in the Automotive Industry: Challenges and Perspectives [Электронный ресурс]. URL: <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/12165.pdf> (дата обращения: 18.05.2017).

что к 2020 г. по Москве и Московской области будут эксплуатироваться от 50 до 110 тыс. электромобилей<sup>1</sup>. Очевидно, что этот прогноз излишне оптимистичный, учитывая, что на 1 июля 2017 г. в нашей стране насчитывалось всего 1,1 тыс. электромобилей, что составляет 2 % от нижней границы приведенного прогнозного значения<sup>2</sup>. Однако по мере удешевления инженерно-технических решений, применяемых в электромобилях, спрос на них резко возрастет, что и наблюдается в мире уже сейчас. Например, в период с 2009 г. по 2016 г. стоимость аккумуляторных батарей, используемых в электромобилях Tesla и General Motors, снизилась в 3,5 раза, а их мощность выросла почти в 7 раз<sup>3</sup>. При этом следует иметь в виду, что насыщение рынка электротранспорта в крупных городах способствует решению экологической проблемы региона, поэтому Россия будет вынуждена активизировать использование этих технологий.

Опыт мировой электромобильной индустрии показывает, что это крайне капиталоемкое направление, требующее институциональной поддержки и специальных административно-фискальных мер поддержки на уровне государства или конкретных регионов<sup>4</sup>. В таблице 1 приведено обобщение практик разных стран в области стимулирования электромобилей.

Однако в РФ с точки зрения большой энергетики для активного внедрения и использования электромобилей на сегодняшний день нет серьезной необходимости вводить дополнительные генерирующие и распределительные

мощности — так, например, резерв московской энергосистемы между дневным и ночным электропотреблением составляет не менее 4 ГВт на протяжении 7 ночных часов. В целом для запуска процесса в РФ сегодня наблюдается благоприятная ситуация — благодаря падению электропотребления в силу кризисных явлений имеется достаточный резерв мощностей. Но, конечно, в дальнейшем по мере экономического роста появятся проблемы, которые необходимо учитывать в перспективных планах развития электроэнергетики.

### Особенности электрификации «умных домов»

Исходными условиями конструирования «умного дома» являются:

- электрификация всех процессов от создания микроклимата до операций по обслуживанию квартиры (дома);

- оснащение электроприборов, бытовой техники и процессов климат-контроля устройствами автоматического регулирования с элементами режимной интеллектуализации (пуск, отключение, регулирование параметров, перенастройка программы работы, заданной данному устройству); таким образом, функции человека сводятся к введению программ операций и наблюдению за выполнением работы, в том числе с помощью смартфонов и других портативных устройств;

- в полностью электрифицированном доме максимально используются энергосберегающие приборы и устройства (например, светодиодное освещение).

Набор электробытовой техники, приборов и устройств в таком доме составляет, по некоторым оценкам, несколько сотен наименований. В развитых столицах мира в быту населения используется более 300 электроприборов, в то время как в РФ это количество в 1,5–2 раза меньше [20–22]. При этом основными потребителями мощностей являются установки электроотопления, водонагрева, приготовления пищи и кондиционирования воздуха. Главным образом за счет этих процессов максимальная потребляемая мощность в средней городской квартире (с газовыми плитами) возрастает, по оценке авторов, примерно от 3 кВт до 10–15–20 кВт. Остальные хозяйственные процессы используют, как правило, малоточную энергосберегающую аппаратуру и заметного вклада в увеличение мощности квартирных вводов не дают.

На данный момент примерно 10 % домохозяйств в США и 3 % домохозяйств в Европе имеют установленные системы умного дома,

<sup>1</sup> Цыплев Д. К 2020 году в Москве должно быть порядка 100–110 тысяч электромобилей. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/15632-k-2020-godu-v-moskve-dolzno-byt-poryadka-100-110-tysyach-elektromobiley/> (дата обращения: 18.05.2017).

<sup>2</sup> Число электромобилей в России превысило 1000 единиц. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autostat.ru/news/31533/> (дата обращения: 18.05.2017).

<sup>3</sup> Slowik P., Pavlenko N., Lutsey N. Assessment of next-generation electric vehicle technologies. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Next%20Gen%20EV%20Tech\\_white-paper\\_ICCT\\_31102016.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Next%20Gen%20EV%20Tech_white-paper_ICCT_31102016.pdf) (дата обращения: 06.10.2017); Global EV Outlook 2017. Two million and counting. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVO Outlook2017.pdf> (дата обращения: 06.10.2017).

<sup>4</sup> Например, действующая в настоящее время программа развития электротранспорта в Калифорнии до 2020 г. предполагает суммарные инвестиции в 1 млрд долл., из которых примерно 70 % берут на себя производители энергетического оборудования, 30 % — власти штата

Механизмы стимулирования электромобильной индустрии, действующие в разных странах мира\*

Страна	Стимулирование спроса				Стимулирование эксплуатации			Расширенное использование транспортной инфраструктуры			Доля электромобилей на рынке автотранспорта в стране, %
	Прямые скидки производителей	Налоговые льготы	Возврат или освобождение от НДС	Налоговые кредиты	Частичное или полное освобождение от уплаты налогов	Льготы при использовании сервисов	Снижение тарифов на электроэнергию в быту	Доступ для движения по полосам общественного транспорта	Доступ для движения по полосам для спецтранспорта	Доступ для движения по территориям с экологическими ограничениями	
Канада	+					♦			♦		0,4
Китай	×	×			×	♦	♦			♦	1,0
Дания		×				+					2,2
Франция	×	×				♦		♦		♦	1,2
Германия					×	×		♦		♦	0,7
Индия	×	+	+		♦						0,1
Италия	×				×						0,1
Япония	×	×			+	♦	×				0,6
Нидерланды		×			×					♦	9,7
Норвегия		×				×	♦	×			23,3
Португалия		×			×	♦	♦				0,7
Ю. Корея		×			×	+					0,2
Испания		×			♦	×			×		0,2
Швеция	×			+	×	♦					2,4
Великобритания	×	×			×	♦	♦	♦			1,0
США	♦	♦		+	♦	♦	♦		♦		0,7

Условные обозначения

- ♦ меры действуют в менее 50 % конкретных регионов/городов
- +
- меры действуют в более 50 % конкретных регионов/городов
- ×
- политика национального масштаба

\* Overview of the Electric Vehicle market and the potential of charge points for demand response, March 2016. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.nve.no/Media/4053/icf\\_uk\\_overview-of-the-electric-vehicle-market\\_160316.pdf](https://www.nve.no/Media/4053/icf_uk_overview-of-the-electric-vehicle-market_160316.pdf) (дата обращения: 18.05.2017).

количество которых должно удвоиться или утроиться в течение ближайших нескольких лет (табл. 2). Проникновение же умных технологий в российские дома составляет пока менее 1 %.

Создание широкой сети умных домов предполагает следующее:

1) установку застройщиками стационарного, наиболее мощного электрооборудования (отопительные устройства, электроплиты, водонагреватели, кондиционеры); именно их энергопотребительские характеристики служат ориентирами при вводе дополнительных мощностей в электроэнергетику;

2) насыщение торговых сетей энергоэффективными электроприборами и устройствами для выполнения работ по обслуживанию жилья;

3) применение отдельных тарифов на электроэнергию и мощность для отопления и, возможно, для приготовления пищи.

В целях обеспечения электроснабжения умных домов появляются новые требования к поставщикам энергии и мощности: адекватные росту нагрузок вводы генерирующих и сетевых мощностей, гарантированная финансовыми обязательствами бесперебойность энергоснабжения, надежное обеспечение параметров электроэнергии (в частности, напряжения), более низкие, по сравнению с традиционными домами, тарифы на электроэнергию и мощность.

К последствиям реализации данных требований для электроэнергетики относятся:

— резко переменный характер режима работы электростанций и сетей в связи с автоматическим регулированием режима электропотребления на основе индивидуальных настроек; это ведет к росту затрат по всей цепочке электроснабжения и негативно влияет на бесперебойность и надежность, то есть, противоречит указанным выше требованиям;

Таблица 2

## Динамика спроса на технологии «умного дома» в США и Европе [23]

Регион	Технология	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
США (общее кол-во домохозяйств ≈ 130 млн)	Домохозяйства, оборудованные системой «умный дом», млн	4,9	7,9	12,0	17,5	24,0	31,0	38,0
	Проникновение технологии «умный дом» по региону, %	3,8	6,1	9,2	13,5	18,5	23,8	29,2
Европа (общее кол-во домохозяйств ≈ 180 млн)	Домохозяйства, оборудованные системой «умный дом», млн	1,5	2,7	4,9	7,5	12,5	20,0	30,0
	Проникновение технологии «умный дом» по региону, %	0,8	1,5	2,8	4,2	7,0	11,2	16,9

— увеличение на ТЭЦ выработки электроэнергии по конденсационному режиму, что ведет к увеличению ее стоимости;

— рост технологических потерь при загрузке низковольтных распределительных сетей в условиях электрификации бытовой сферы;

— повышение надежности и бесперебойности энергоснабжения, что потребует дополнительных затрат, отражаемых в тарифах, и в результате может сделать их неприемлемыми для массового потребителя.

В этой связи рекомендуются следующие технико-экономические решения в электроэнергетике:

1. Выделение в энергосистеме специализированной части для обслуживания «умных городов», особенно на начальном этапе их становления, с широким применением генерирующего оборудования с высокими маневренными свойствами. Речь идет о создании хозяйственного контура на уровнях оперативно-диспетчерского управления и стратегического планирования, обеспечивающего ускоренную интеллектуализацию энергетики. В настоящее время этот вопрос широко обсуждается в научном и отраслевом сообществе [24–26]. Аргументами «за», которые разделяются авторами, являются экспериментальный характер соответствующих технологий, отработка механизмов управления «виртуальными электростанциями», а также низкий коммерческий интерес крупного энергетического бизнеса.

2. Оптимизация структуры ТЭЦ по типам единичной мощности установок комбинированной выработки, имеющих высокий КПД производства электроэнергии (например, повышение удельного веса ПГУ-ТЭЦ).

3. Снижение радиуса электроснабжения и протяженности электросетей на основе применения в генерации установок малой и средней мощности.

4. Оптимальное распределение нагрузок между генерирующими установками с авто-

матическим изменением состава работающего оборудования в разрезе, например, часа суток.

5. Применение энергосберегающих приборов и аккумуляторных устройств непосредственно в домах, заряжаемых электроэнергией в часы ночного спада нагрузки энергосистемы (например, в процессах отопления и горячего водоснабжения); установка аккумуляторных устройств при генерирующих объектах (что также является необходимым условием при наличии установок ВИЭ в энергосистеме).

#### Цена электроэнергии — ключевой фактор развития умных городов

Очевидно, что стимулировать новый этап электрификации умных городов будет приемлемая для разных субъектов цена электроэнергии. Государственная политика в этой области должна грамотно регулировать всю цепочку, составляющую цену на газ, и соотношение ее с ценой электроэнергии, цены на энергооборудование и материалы, расходуемые при его изготовлении, протяженность, пропускную способность и потери в сетях.

Направлениями сокращения текущих и капитальных издержек также являются снижение удельных расходов топлива как следствие роста КПД теплоэнергетических установок, автоматизация технологических процессов при обеспечении оптимальных их параметров, уменьшение удельных капитальных вложений и удельных постоянных расходов, что дает минимизацию диапазона изменения себестоимости при разных режимах работы установки (это особо актуально для бытовой сферы из-за неравномерности режимов нагрузки), применение высокоманевренных генерирующих установок, оптимальное распределение нагрузки между агрегатами локальных энергосистем в зависимости от изменения нагрузки потребителей и энергоэффективности подключаемых установок (включая ВИЭ), оптимизация режимов нагрузки потребителей.

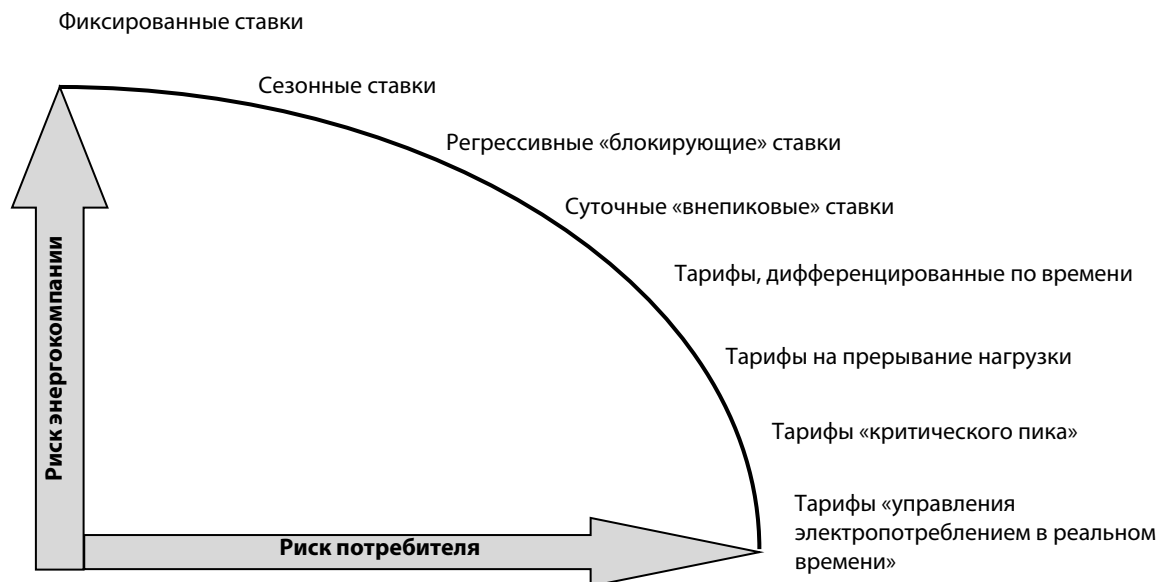


Рис. 3. Виды дифференцированных тарифов и риски субъектов энергорынка в зависимости от их применения (адаптировано по работам [27, 28])

В этом отношении особо следует подчеркнуть необходимость адаптации тарифной политики, а именно внедрение тарифов, дифференцированных по часам суток (информация для потребителя в режиме онлайн), скидки с цены за изменение режима электропотребления и дотации потребителям «умного дома», внедрение эффективного механизма управления издержками производства на электростанциях и в электрических сетях, влияющего на уменьшение потребительского тарифа.

В настоящее время в мире применяются разнообразные дифференцированные тарифы на электроэнергию, которые, с одной стороны, способствуют снижению системных затрат энергокомпаний, с другой — стимулируют активное поведение потребителей за счет динамичной ценовой политики. К наиболее распространенным типам тарифов относятся следующие.

*Тарифы, дифференцированные по времени (ТДВ).* Предполагается применение различных ставок тарифов в зависимости от времени суток, более высоких в пиковые часы и более низких — в периоды спада нагрузки.

*Тарифы «критического пика» (ТКП).* В отличие от ТДВ, имеет место существенно большая ценовая дифференциация в пиковой зоне и зоне спада нагрузки. Кроме того, потребитель заключает договор с поставщиком электроэнергии на более длительный срок, который регулируется показателями экономии электроэнергии, отслеживаемыми интерактивно.

*Тарифы «управления электропотреблением в реальном времени» (ТРВ).* Ставки дифферен-

цированы по часам в течение всего года, при этом в течение года ставки могут меняться. Потребителей уведомляют об изменениях по принципу «на сутки вперед» или «на час вперед».

Применение различных тарифов по-разному сказывается на степени экономического риска, который несут потребители энергоресурсов и энергокомпании. Например, с точки зрения потребителя наименее рискованными являются традиционные фиксированные тарифы, поскольку их ставка не зависит ни от количества потребленной электроэнергии, ни от времени потребления. Для энергокомпании, наоборот, такой тариф максимально неудобен так как в пиковые часы производство электроэнергии обладает низкой рентабельностью. На рисунке 3 показана зависимость риска субъектов энергорынка от типов применяемых тарифов.

Однако в «умных городах» энергокомпании начинают внедрять еще более прогрессивные ценовые решения — так называемые самонастраиваемые тарифы на электроэнергию, или «тарифы жизненного стиля» (*life-style tariffs*). Они являются новой формой дифференцированных тарифов на электроэнергию и формируются поровну энергокомпанией и потребителем. Потребитель, например, имеет возможность самостоятельно задавать собственные временные интервалы пикового и внепикового потребления. Киловатт-часы становятся обменной валютой: так, при достижении определенного уровня экономии электроэнергии потребитель получает *cash-back* в виде дополни-



тельного бесплатного объема электроэнергии, который можно потратить или в конкретное время (например, в выходные или праздничные дни), или на конкретные цели (для подзарядки автомобиля или обогрев помещения в холодные дни). Посредством таких мер стимулируется, в первую очередь, развитие малой генерации, основанной на ВИЭ. Кроме того, усиливается конкуренция и в централизованном контуре электроснабжения.

К сожалению, в России ассортиментная матрица энергосбытовых компаний не соответствует передовым зарубежным практикам. Наиболее прогрессивный тариф региональных энергосбытовых компаний — зонный, дифференцированный по трем зонам суток (пиковой, полупиковой, ночной), построенный как на двухставочном принципе<sup>1</sup>. В сравнении с зарубежным опытом становится очевидно, что такие тарифы не удовлетворяют запросы клиентских ожиданий (в особенности, в частном и коммерческом секторах) и не выполняют стимулирующей функции для нового этапа электрификации «умных городов», несмотря на то, что сравнительно низкая цена электроэнергии в РФ открывает большой потенциал для проектов в этой сфере.

### Заключение

Устойчивое развитие «умных городов» является ярко выраженным в широком смысле трендом нового жизнеустройства, в котором сочетаются новейшие технологии, высокое качество жизни, «экологическая дружелюбность», интенсивная интеллектуализация инфраструктуры. Ключевым фактором устойчивого развития является состояние энергетики,

<sup>1</sup> В Московской области и Белгороде, где реализуются пилотные проекты «умных городов», трехзонный тариф также является максимально дифференцированным.

ее готовность к новому этапу электрификации, при котором электроэнергия проникает практически во все без исключения бытовые, промышленные, транспортные системы и процессы, что радикально повышает их управляемость и экологичность.

В настоящем исследовании предложены первоочередные решения, позволяющие выработать эффективную техническую политику региона для перехода к интеллектуальным энергосистемам, а также снизить ценовые риски, возникающие при реализации новых программ электрификации.

Отметим, что при проектировании энергосистем умных городов и реализации проектов электрификации очень важен дизайн технико-экономических решений. Например, объединение отдельных генераторов в локальные энергосистемы повысит их надежность (за счет локализации внештатных ситуаций и возможности оперативного устранения последствий) и позволит оптимизировать загрузку по экономическому критерию. Это имеет смысл, когда в районе находятся разнотипные генераторы (газопоршневые, дизельные, ВИЭ) с разной стоимостью производства.

Также внимание следует уделить программам управления спросом на электроэнергию и мощность, обеспечивающим повышение бесперебойности и надежности электроснабжения и сокращения потребности в новых объектах при общем снижении капитальных и текущих издержек. В данном контексте речь может идти о методах финансового стимулирования при внедрении дорогой энергосберегающей техники и аккумулирующих устройств, автоматическом или ручном отключении части нагрузки в определенные часы суток (а также в обмен на финансовые стимулы) и соответствующем расширении спектра энергетических услуг для конечных пользователей.

### Список литературы

1. Гительман Л. Д., Волкова И. О., Кожевников И. О. Инновации в электроэнергетике. Перспективные технологии, организационные решения, бизнес-модели. — М.: Экономика, 2015. — 172 с.
2. Buck N. T., While A. Competitive urbanism and the limits to smart city innovation: The UK Future Cities initiative // *Urban Studies*. — 2015. — № 54. — С. 501–519. — Doi: 10.1177/0042098015597162.
3. Glasmeier A., Christopherson S. Thinking about smart cities // *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*. — 2015. — № 8. — С. 3–12. — Doi:10.1093/cjres/rsu034.
4. Gabrys J. Programming environments: environmentality and citizen sensing in the smart city // *Environment and Planning D: Society and Space*. — 2014. — № 32. — С. 30–48. — Doi:10.1068/d16812.
5. Thompson E. M. What makes a city 'smart'? // *International Journal of Architectural Computing*. — 2016. — № 14. — С. 358–371. — Doi: 10.1177/1478077116670744.
6. Jain A., Bajpai M. Use of Green Energy for Smart City: A Review // *International Journal of Civil Engineering*. — 2016. — № 3(5). — С. 136–139.
7. Ярош Н. Н. Городское хозяйство. От «города солнца» к умному городу // *Экономический журнал*. — 2013. — Т. 30. — № 2. — С. 72–88.

8. Яблонская Е. Города по уму // Мегapolis. — 2016. — № 2. — С. 18–21.
9. Волкова И. О. Интеллектуальная энергетика в России. Оценка существующего потенциала развития // ЭКО. — 2016. — № 12(510). — С. 90–100.
10. Meijer A., Gil-Garcia R., Bolivar M. P. R. Smart City Research. Contextual Conditions, Governance Models, and Public Value Assessment // Social Science Computer Review. — 2015. — № 34(6). — С. 647–656. — Doi: 10.1177/0894439315618890.
11. Meijer A., Bolivar M. P. R. Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance // International Review of Administrative Sciences. — 2016. — № 82. — С. 392–408. — Doi: 10.1177/0020852314564308.
12. Энергоэффективный мегаполис — Smart City «Новая Москва» / под ред. В. В. Бушуева, П. А. Ливинского. — М. : НД «Энергия», 2015. — 76 с.
13. Kenworthy J. R. The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development // Environment & Urbanization. — 2006. — № 18. — С. 67–85. — Doi: 10.1177/0956247806063947.
14. Barelkowski R. Planning For Sustainable Development Of Energy Infrastructure: Fast — Fast Simulation Tool // International Journal of Energy Production and Management. — 2016. — № 1. — С. 61–71. — Doi: 10.2495/EQ-V1-N1-61-71.
15. Hayat P. Smart Cities: A Global Perspective // India Quarterly. — 2016. — № 72. — С. 177–191.
16. Brown M. A., Southworth A. Mitigating climate change through green buildings and smart growth // Environment and Planning. — 2008. — № 40. — С. 653–675. — Doi: 10.1068/a38419.
17. March H., Ribera-Fumaz R. Smart contradictions: The politics of making Barcelona a Self-sufficient city // European Urban and Regional Studies. — 2014. — № 23(4). — С. 816–830. — Doi: 10.1177/0969776414554488.
18. Papadopoulos P., Akizu O., Cipcigan L. M., Jenkins N., Zabala E. Electricity demand with electric cars in 2030: comparing Great Britain and Spain // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. — 2011. — № 225. — С. 551–566.
19. Токарев Б. Е., Крупенкова Ю. А. Анализ состояния мирового рынка электромобилей // Современные проблемы социально-гуманитарных наук. — 2016. — № 3. — С. 99–105.
20. Cubitt S. Electric Light and Electricity Theory // Culture & Society. — 2013. — № 30. — С. 309–323.
21. Бесчинский А. А., Коган Ю. М. Экономические проблемы электрификации. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 432 с.
22. Skjolsvold T. M., Ryghaug M. Embedding smart energy technology in built environments: A comparative study of four smart grid demonstration projects // Indoor and Built Environment. — 2015. — № 24. — С. 878–890. — Doi: 10.1177/1420326X15596210.
23. Lobaccaro G., Carlucci S., Löfström E. A Review of Systems and Technologies for Smart Homes and Smart Grids // Energies. — 2016. — № 9. — С. 348–380. — Doi: 10.3390/en9050348.
24. Davidson R. K. Cultural Impacts On Occupant Behaviour And Energy Efficiency // International Journal of Energy Production and Management. — 2017. — № 2(2). — С. 186–195. — Doi: 10.2495/EQ-V2-N2-186-195.
25. Stafforda B. A., Wilson E. J. Winds of change in energy systems: Policy implementation, technology deployment, and regional transmission organizations // Energy Research & Social Science. — 2016. — № 21. — С. 222–236. — Doi: 10.1016/j.erss.2016.08.001.
26. Scholten D., Künneke R. Towards the Comprehensive Design of Energy Infrastructures // Sustainability. — 2016. — № 8(12). — С. 1291. — Doi: 10.3390/su8121291.
27. Owen J., Ward J. Smart Tariffs and Household Demand Response for Great Britain. — London: Sustainability First, 2010. — 93 p.
28. Bulkeley H., McGuirk P. M., Dowling R. Making a smart city for the smart grid? The urban material politics of actualising smart electricity networks // Environment and Planning. — 2016. — № 48(6). — С. 1709–1726. — Doi: 10.1177/0308518X16648152.

### Информация об авторах

**Гительман Леонид Давидович** — доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой систем управления энергетикой и промышленными предприятиями, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; Scopus Author ID: 55806230600 (620002, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: ldgitelman@gmail.com).

**Кожевников Михаил Викторович** — кандидат экономических наук, доцент кафедры систем управления энергетикой и промышленными предприятиями, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина; Scopus Author ID: 55805368400 (620002, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; e-mail: np.fre@mail.ru, m.v.kozhevnikov@urfu.ru).

For citation: Gitelman, L. D. & Kozhevnikov, M. V. (2017). Electrification as a Development Driver for “Smart Cities”. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 13(4), 1199-1210

**L. D. Gitelman, M. V. Kozhevnikov**

Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: ldgitelman@gmail.com)

### Electrification as a Development Driver for “Smart Cities”

*The increasing electrification of the transport infrastructure, residential and commercial sectors of a “smart city” induces structural changes in energy sector. This investigation will enhance our understanding of mechanisms to develop a regional power industry, which would serve intellectual technologies of future urban environment considering national features. The authors define electrification as the process of bringing the most advanced energy carrier — electricity — to the national economy. This process integrates the spheres of electric power consumption and electric power generation. The article identifies the features and key trends in a new electrification stage in «smart cities». The paper shows that the energy sector of such cities combines centralized and decentralized technological solutions. This requires a certain readjustment of the distribution and sales divisions of the regional electric power industry. In particular, modernization of low-voltage distribution networks, improvement of tariff policy, implementation of programs of energy demand management are needed. The authors reveal priority areas for electrification in smart cities. Firstly, these cities need to develop electric transport, electric cars and associated infrastructure. Secondly, the introduction of various control systems for residential appliances will make households smarter. We show the impact of electric cars on the electricity market and loads in a regional energy system. In particular, we analyse the foreign experience of electric cars integration into power network. As regards the electrification of smart homes, the authors outline the basic «energy» conditions for their design, and requirements to be met by regional contractors, producers of energy equipment, utilities and grid companies. We develop a system of technological and economic solutions for moving relevant projects to an active phase. These projects include controllable generation power equipments, energy saving equipments and storages, power plants structure optimizing, electrical grids shortening. Moreover, the authors propose a variety of differentiated electricity tariffs that would encourage electrification in smart cities.*

**Keywords:** electrification, smart city, energy system, smart grids, electricity-powered transport, electric car, smart home, small-scale power generation, demand-side management, differentiated tariffs

### References

1. Gitelman, L. D., Volkova, I. O. & Kozhevnikov, I. O. (2015). *Innovatsii v elektroenergetike: perspektivnye tekhnologii, organizatsionnye resheniya, biznes-modeli [Innovations in power engineering: Promising technologies, organizational solutions, business models]*. Moscow: Ekonomika Publ., 172. (In Russ.)
2. Buck, N. T. & While, A. (2015). Competitive urbanism and the limits to smart city innovation: The UK Future Cities initiative. *Urban Studies*, 54, 501–519. doi: 10.1177/0042098015597162.
3. Glasmeier, A. & Christopherson, S. (2015). Thinking about smart cities. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8, 3–12. doi:10.1093/cjres/rsu034.
4. Gabrys, J. (2014). Programming environments: environmentalty and citizen sensing in the smart city. *Environment and Planning D: Society and Space*, 32, 30–48. doi:10.1068/d16812.
5. Thompson, E. M. (2016). What makes a city ‘smart’? *International Journal of Architectural Computing*, 14, 358–371. doi: 10.1177/1478077116670744.
6. Jain, A. & Bajpai, M. (2016). Use of Green Energy for Smart City: A Review. *International Journal of Civil Engineering*, 3(5), 136–139.
7. Yarosh, N. N. (2013). Gorodskoe khozyaystvo. Ot “goroda solntsa” k umnomu gorodu [Municipal economy: from “the City of the Sun” toward the Smart City22568903]. *Ekonomicheskiy zhurnal [Economic Journal]*, 30(2), 72–88. (In Russ.)
8. Yablonskaya, E. (2016). Goroda po umu [Cities by the mind]. *Megapolis [Metropolis]*, 2, 18–21. (In Russ.)
9. Volkova, I. O. (2016). Intellectualnaya energetika v Rossii. Otsenka sushchestvuyushchego potentsiala razvitiya [Smart Grid in Russia: Assessment of Existing Development Potential]. *EKO [ECO]*, 12(510), 90–100. (In Russ.)
10. Meijer, A., Gil-Garcia, R. & Bolivar, M. P. R. (2015). Smart City Research. Contextual Conditions, Governance Models, and Public Value Assessment. *Social Science Computer Review*, 34(6), 647–656. doi: 10.1177/0894439315618890.
11. Meijer, A. & Bolivar, M. P. R. (2016). Governing the smart city: a review of the literature on smart urban governance. *International Review of Administrative Sciences*, 82, 392–408. doi: 10.1177/0020852314564308.
12. Bushuev, V. V. & Livinsky, P. A. (2015). *Energoeffektivnyy megapolis. Smart City “Novaya Moskva” [An energy efficient metropolis — Smart City New Moscow]*. Moscow: ND “Energiya” Publ., 76. (In Russ.)
13. Kenworthy, J. R. (2006). The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. *Environment & Urbanization*, 18, 67–85. doi: 10.1177/0956247806063947.
14. Barelkowski, R. (2016). Planning For Sustainable Development Of Energy Infrastructure: Fast — Fast Simulation Tool. *International Journal of Energy Production and Management*, 1, 61–71. doi: 10.2495/EQ-V1-N1-61-71.
15. Hayat, P. (2016). Smart Cities: A Global Perspective. *India Quarterly*, 72, 177–191.
16. Brown, M. A. & Southworth, A. (2008). Mitigating climate change through green buildings and smart growth. *Environment and Planning*, 40, 653–675. doi: 10.1068/a38419.
17. March, H. & Ribera-Fumaz, R. (2014). Smart contradictions: The politics of making Barcelona a Self-sufficient city. *European Urban and Regional Studies*, 23(4), 816–830. doi: 10.1177/0969776414554488.

18. Papadopoulos, P., Akizu, O., Cipcigan, L. M., Jenkins, N. & Zabala, E. (2011). Electricity demand with electric cars in 2030: comparing Great Britain and Spain. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 225, 551–566.
19. Tokarev, B. E. & Krupenkova, Yu. A. (2016). Analiz sostoyaniya mirovogo rynka elektromobiley [Analysis of the state of the world market of electric cars]. *Sovremennyye problemy sotsialno-gumanitarnykh nauk [Contemporary Problems of Social-Humanitarian Sciences]*, 3, 99–105. (In Russ.)
20. Cubitt, S. (2013). Electric Light and Electricity Theory. *Culture & Society*, 30, 309–323.
21. Beschinskiy, A. A. & Kogan, Yu. M. (1983). *Ekonomicheskie problemy elektrifikatsii [Economic problems of electrification]*. Moscow: Energoatomizdat Publ., 432. (In Russ.)
22. Skjolsvold, T. M. & Ryghaug, M. (2015). Embedding smart energy technology in built environments: A comparative study of four smart grid demonstration projects. *Indoor and Built Environment*, 24, 878–890. doi: 10.1177/1420326X15596210.
23. Lobaccaro, G., Carlucci, S. & Löfström, E. (2016). A Review of Systems and Technologies for Smart Homes and Smart Grids. *Energies*, 9, 348–380. doi: 10.3390/en9050348.
24. Davidson, R. K. (2017). Cultural Impacts On Occupant Behaviour And Energy Efficiency. *International Journal of Energy Production and Management*, 2(2), 186–195. doi: 10.2495/EQ-V2-N2-186-195.
25. Stafforda, B. A. & Wilson, E. J. (2016). Winds of change in energy systems: Policy implementation, technology deployment, and regional transmission organizations. *Energy Research & Social Science*, 21, 222–236. doi: 10.1016/j.erss.2016.08.001.
26. Scholten, D. & Künneke, R. (2016). Towards the Comprehensive Design of Energy Infrastructures. *Sustainability*, 8(12), 1291. doi: 10.3390/su8121291.
27. Owen, J. & Ward, J. (2010). *Smart Tariffs and Household Demand Response for Great Britain*. London: Sustainability First, 93.
28. Bulkeley, H., McGuirk, P. M. & Dowling, R. (2016). Making a smart city for the smart grid? The urban material politics of actualising smart electricity networks. *Environment and Planning*, 48(6), 1709–1726. doi: 10.1177/0308518X16648152.

### Authors

**Leonid Davidovich Gitelman** — Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Energy and Industrial Enterprises Management Systems, Ural Federal University; Scopus Author ID: 55806230600 (19, Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation; e-mail: ldgitelman@gmail.com).

**Mikhail Viktorovich Kozhevnikov** — PhD in Economics, Associate Professor, Department of Energy and Industrial Enterprises Management Systems, Ural Federal University; Scopus Author ID: 55805368400 (19, Mira St., Ekaterinburg, 620002, Russian Federation; e-mail: np.fre@mail.ru, m.v.kozhevnikov@urfu.ru).