

DOI: 10.29141/2218-5003-2020-11-2-5

## Управление спросом на электропотребление в концепции «Умный город»

А.П. Дзюба<sup>1</sup>, И.А. Соловьева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск, РФ

**Аннотация.** В условиях повсеместного внедрения информационно-коммуникационных технологий одной из ключевых задач является повышение эффективности управления инфраструктурой отдельных агломераций и городов, в том числе потребления энергетических ресурсов городского хозяйства. Статья посвящена изучению возможностей и направлений применения технологии ценозависимого управления спросом на потребление электроэнергии на оптовом и розничном рынках России в концепции «Умный город». Методологическая база исследования включает положения макроэкономики и концепции «Умный город». В работе использованы методы анализа, синтеза, систематизации, статистического наблюдения и др. Информационную базу исследования составили эмпирические данные о параметрах неравномерности спроса на потребление энергоресурсов различными объектами городской инфраструктуры. Выявлено, что ключевыми группами потребителей электроэнергии, позволяющими управлять затратами на ее закупку на муниципальном уровне, являются городской электротранспорт, городское освещение, насосные станции, системы электроотопления и т. п. Авторами разработана модель и алгоритм ценозависимого управления электропотреблением городских объектов в концепции «Умный город», а также проведена апробация ее применения на примере троллейбусной сети Челябинска. В результате исследования доказана практическая значимость и целесообразность реализации ценозависимого управления электропотреблением объектов городской инфраструктуры в концепции «Умный город».

**Ключевые слова:** концепция «Умный город»; управление спросом на электропотребление; ценозависимое электропотребление; энергоэффективность; гибридный городской электротранспорт.

**JEL Classification:** M11, L94, L11

**Финансирование:** статья выполнена при поддержке Правительства РФ (постановление от 16 марта 2013 г. № 211), соглашение № 02.A03.21.0011.

**Дата поступления статьи:** 12 декабря 2019 г.

**Ссылка для цитирования:** Дзюба А.П., Соловьева И.А. (2020). Управление спросом на электропотребление в концепции «Умный город» // Управленец. Т. 11. № 2. С. 53–66. DOI: 10.29141/2218-5003-2020-11-2-5.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых направлений развития мировой экономики в условиях повсеместного распространения информационных и коммуникационных технологий является концепция управления инфраструктурой отдельных агломераций и городов, которая получила название «Умный город» («Smart City») [Романова, 2018; Yigitcanlar et al., 2019]. Концепция «Умный город» базируется на комплексном управлении городским хозяйством, включающим в себя транспортные системы, системы ЖКХ, городскую инженерную инфраструктуру, городские электростанции и другие общественные службы [Голованов и др., 2018]. Основными инструментами управления в «умном» городе являются информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) и Интернет вещей (Internet of Things, IoT) [Лобанов, 2017; Aburukba et al., 2016]. Конечная цель создания и развития «умных» городов – повышение качества городской инфраструктуры и ее управляемости за счет централизованного сбора и анализа информации о параметрах функционирования элементов городской сети и последующего оперативного удаленного централизованного управления городскими процессами и ресурсами [Клюев, 2013; Tang et al., 2019].

Общемировое развитие информационных и коммуникационных технологий также стало основой для со-

вершенствования управления технологическими процессами и повышения энергетической эффективности в отраслях промышленности и электроэнергетики. Одним из ключевых направлений повышения энергетической эффективности, реализуемых во многих странах, является концепция «Управление спросом на электропотребление» (англ. demand-side management (DSM), demand-side response (DSR) [Гительман, Гительман, Кожевников, 2016; López, Gagné, Gardner, 2018], которая представляет собой инициативную форму экономического взаимодействия между энергоснабжающими организациями и потребителями электроэнергии, направленного на взаимовыгодное регулирование режимов и объемов электропотребления в рамках энергетических систем.

Целью настоящей работы является оценка возможности и целесообразности применения технологий управления спросом на электропотребление в концепции «Умный город». Для достижения цели необходимо провести сравнение и сопоставление концепций «Умный город» и «Управление спросом на электропотребление», выявить их общие признаки, проанализировать условия поставки электроэнергии на оптовый и розничный рынки электроэнергии России, учитывая возможность потребителей управлять собственными

затратами на закупку электроэнергии. Необходимо также определить ключевые направления применения концепции «Управление спросом на электропотребление» в рамках концепции «Умный город» и разработать модель и алгоритм ценозависимого управления для городских объектов с последующей их апробацией.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «УМНЫЙ ГОРОД»

На рис. 1 представлены графики почасового спроса на электропотребление до и после управления спросом на уровне городской агломерации. Видно, что спрос на электропотребление в период пиковых нагрузок энергосистемы после управления спросом становится

ниже базового уровня, что приводит к снижению совокупных затрат на поставку электроэнергии на всех уровнях управления энергоснабжением, детализация которых представлена в табл. 1.

Анализ концепций управления «Умный город» и «Управление спросом на электропотребление» позволил выявить ряд общих признаков и черт на функциональном, информационном, коммуникационном уровнях, а также на уровне выбора объекта управления [Гашо, Чехранова, 2017; Шувалов, 2019]. С нашей точки зрения, одновременная реализация концепций в разных городах позволит взаимно усилить эффекты от действия каждой. На рис. 2 схематично проиллюстрирована общность функций и целей концепций «Умный город» и «Управление спросом на электропотребление».

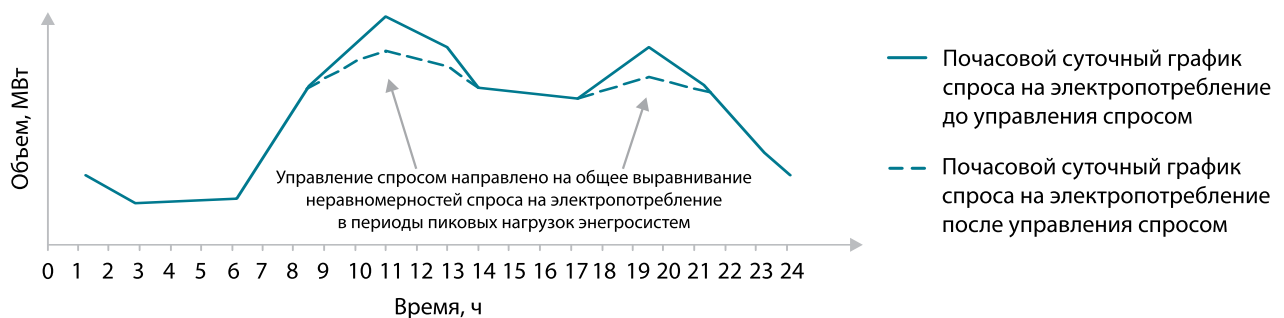


Рис. 1. Графики почасового спроса на электропотребление до и после управления спросом на уровне города Челябинска<sup>1</sup>  
Fig. 1. Hourly electricity demand before and after managing demand at the level of Chelyabinsk city

Таблица 1 – Эффекты от управления спросом на электропотребление на различных уровнях энергоснабжения  
Table 1 – Demand-side management effects at various levels of energy supply

Уровень управления	Получаемый эффект	Влияние на затраты конечных потребителей электроэнергии
Производство электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повышение устойчивости режимов производства [Волкова, Сальникова, Шувалова, 2011];</li> <li>• Снижение требуемых запасов топлива;</li> <li>• Снижение «горячего» резерва генерирующих мощностей [Карпович, 2011];</li> <li>• Снижение инвестиционных затрат на обновление основных фондов [Айзенберг, Сташкевич, Воропай, 2016]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение цен на отпуск электрической энергии;</li> <li>• Снижение цен на отпуск электрической мощности;</li> <li>• Снижение инвестиционных затрат на модернизацию и строительство генерирующих мощностей в составе цен на электроэнергию</li> </ul>
Передача электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение резерва электросетевых мощностей;</li> <li>• Снижение аварийности;</li> <li>• Снижение технологических потерь электроэнергии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение тарифов на услуги по передаче электроэнергии по магистральным электрическим сетям;</li> <li>• Снижение инвестиционных затрат на строительство электросетевых мощностей в составе тарифов на передачу электроэнергии по магистральным сетям;</li> <li>• Снижение операционных затрат на ремонты электросетевых мощностей в составе тарифов на передачу электроэнергии по магистральным сетям</li> </ul>
Распределение электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высвобождение мощностей для подключения новых потребителей;</li> <li>• Повышение качества электроэнергии;</li> <li>• Снижение коммерческих потерь электроэнергии</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение тарифов на услуги по передаче электроэнергии по распределительным электрическим сетям;</li> <li>• Снижение инвестиционных затрат на строительство электросетевых мощностей в составе тарифов на передачу электроэнергии по распределительным сетям;</li> <li>• Снижение операционных затрат на ремонты электросетевых мощностей в составе тарифов на передачу электроэнергии по распределительным сетям</li> </ul>

<sup>1</sup> План генерации и потребления электрической энергии / Материалы официального сайта АО «Системный оператор Единой энергетической системы». URL: [https://so-ups.ru/index.php?id=ees\\_gen\\_consump\\_plan&no\\_cache=1](https://so-ups.ru/index.php?id=ees_gen_consump_plan&no_cache=1).

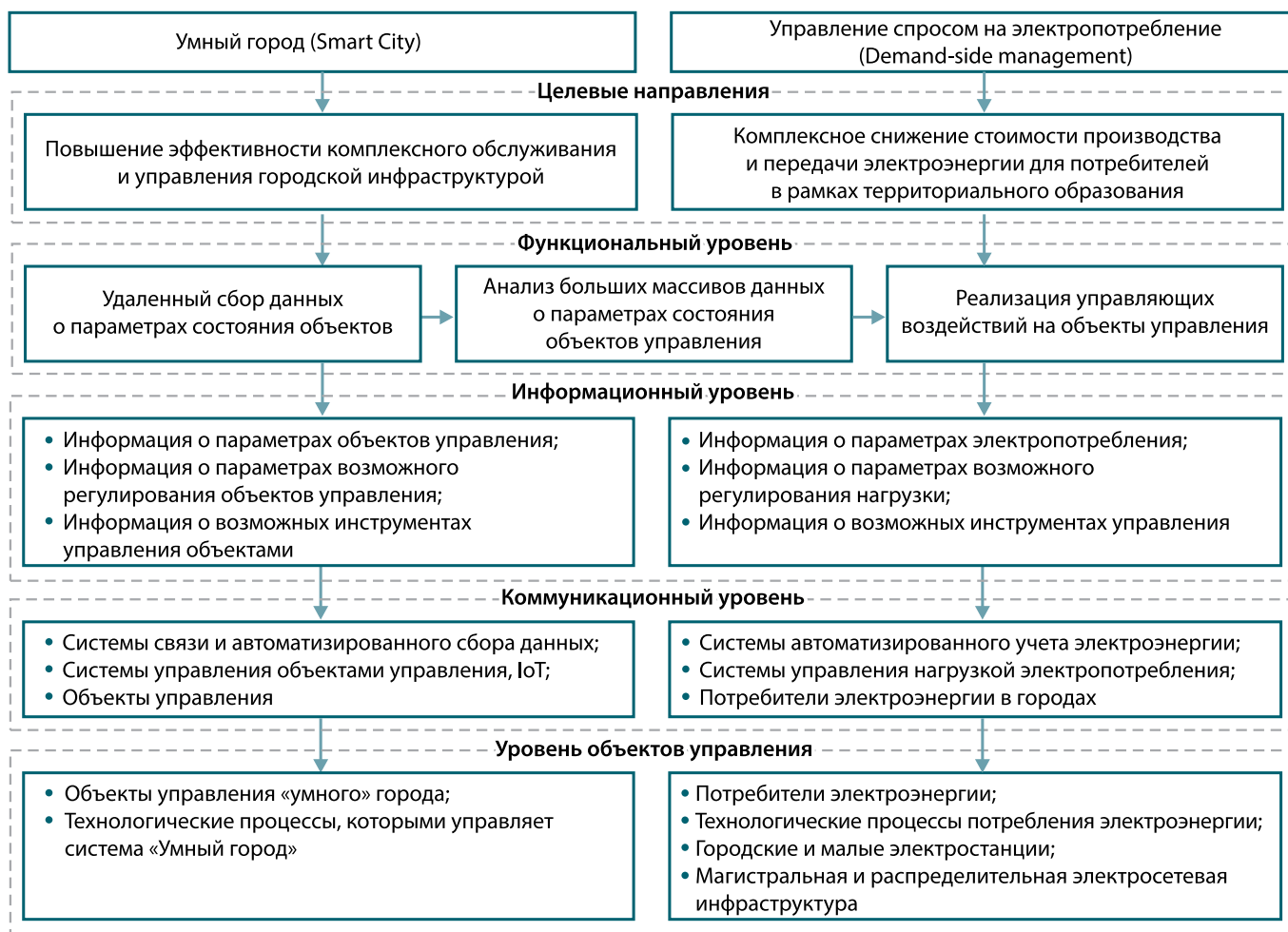


Рис. 2. Функции и цели концепций «Умный город» и «Управление спросом на электропотребление»  
 Fig. 2. Functions and goals of the Smart City and Demand-Side Management concepts

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

### К ЦЕНОЗАВИСИМОМУ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЮ

В России концепции «Умный город» и «Управление спросом на потребление электроэнергии» остаются пока на начальном этапе внедрения и развития, несмотря на актуальность и доказанную эффективность их применения во многих странах мира. По нашему мнению, основой и одним из стартовых направлений концепции «Умный город» в России может стать внедрение технологий управления спросом на потребление электроэнергии посредством реализации механизма ценозависимого управления электропотреблением.

Ценозависимое управление электропотреблением – это модель гибкого управления собственным спросом на потребление электроэнергии на основе реакции потребителей на ценовые сигналы энергорынка с целью минимизации затрат на оплату электроэнергии.

В России вся электроэнергия обращается на оптовом и розничном рынках электроэнергии, особенно в которых является дискретное ценообразование в рамках часовых временных интервалов. Стоимость электроэнергии напрямую отражает соотношение спроса и предложения на поставляемую электроэнергию и существенно варьируется по часам суток, дням

и месяцам года. Например, на рис. 3 представлены почасовые параметры цен на отпуск электроэнергии для Челябинской области за период с 16 по 22 июля 2018 г. Затраты на закупку электроэнергии существенно зависят от характеристик индивидуального графика спроса на электропотребление.

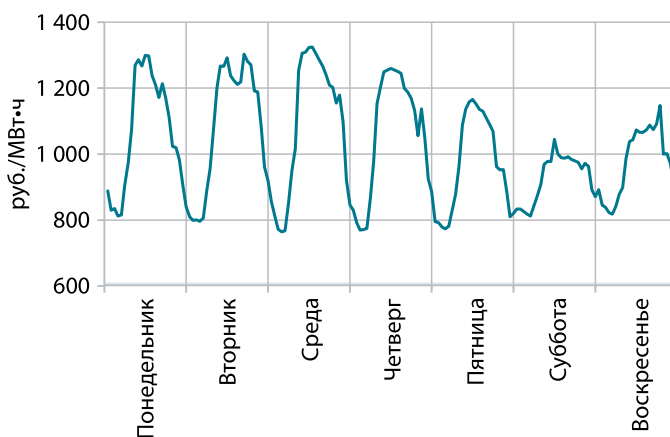


Рис. 3. График изменения почасовых цен на электрическую энергию на оптовом рынке Челябинской области за период с 16 по 22 июля 2018 г.  
 Fig. 3. Changes in hourly electricity prices in the wholesale market of Chelyabinsk oblast, July 16–22, 2018

Также конечная стоимость потребляемой электроэнергии для потребителей с максимальной мощностью энергопринимающих устройств свыше 670 кВА или рассчитывающихся с энергоснабжающими организациями на основе почасового профиля электропотребления включает стоимость трех основных компонентов: электрической энергии, электрической мощности, услуг по передаче электроэнергии (1). На рис. 4 представлена доля каждого компонента в общей структуре затрат на электропотребление, а в табл. 2 приведены особенности расчета величины каждого компонента.

$$VE = VW + VP + VN, \quad (1)$$

где  $VE$  – общая стоимость электроэнергии (руб.);  $VW$  – стоимость электрической энергии (руб.);  $VP$  – стоимость электрической мощности (руб.);  $VN$  – стоимость услуг по передаче электроэнергии (руб.).

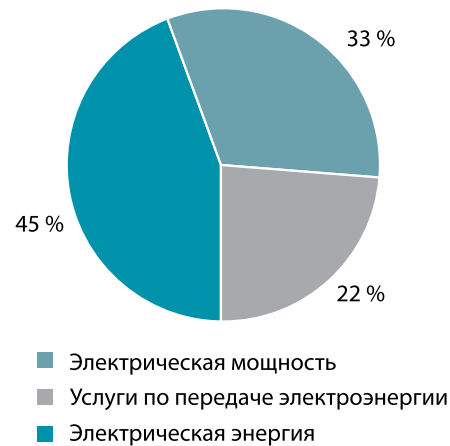


Рис. 4. Структура затрат на энергопотребление  
Fig. 4. Energy cost structure

Таблица 2 – Описание и параметры расчетов компонентов стоимости электроэнергии  
Table 2 – Description and calculation parameters of the electric energy cost components

Компонент	Описание	Формула расчета	Принцип расчета
Электрическая энергия	Отражает удельные затраты энергосистемы на выработку электроэнергии каждый час в течение суток	$VW = \sum_m (W_t \times \text{Ц}_{\text{PCB}}^t), \quad (2)$ <p>где <math>W_t</math> – почасовой график электропотребления каждого потребителя электроэнергии (кВт·ч); <math>\text{Ц}_{\text{PCB}}^t</math> – цена рынка на сутки вперед (PCB) в час <math>t</math> (руб./кВт·ч)</p>	Почасовые параметры индивидуального потребления электроэнергии каждого потребителя умножаются на соответствующие почасовые данные цен на поставку электроэнергии, сформированные на оптовом рынке
Электрическая мощность	Отражает оплату поставщикам электроэнергии стоимости услуг по готовности к выработке электроэнергии в необходимом объеме в определенный период времени	$VP = VP_m \times TP_m, \quad (3)$ <p>где <math>VP_m</math> – величина обязательств по покупке мощности (МВт в мес.) (4); <math>TP_m</math> – цена мощности, купленной потребителем в месяце <math>m</math> (руб./МВт в мес.);</p> $VP_m = \frac{\sum_{\text{раб},m} W_{t_{\text{max\_регион}}}^{\text{мес}}}{n_{\text{раб},m}}, \quad (4)$ <p>где <math>t_{\text{max\_регион}}</math> – час совмещенного максимума потребления региональной энергосистемы; <math>n_{\text{раб},m}</math> – количество рабочих дней в месяце.</p> $t_{\text{max\_регион}} \in T_{\text{max\_CO}},$ <p>где <math>T_{\text{max\_CO}}</math> – интервалы плановых часов пиковой нагрузки энергосистемы.</p>	На основе индивидуальных почасовых графиков электропотребления каждого потребителя, сформированных в час совмещенного суточного максимума региональной энергосистемы в рабочие дни, формируется величина обязательств по закупке мощности, которая умножается на цену мощности, сформированную на оптовом рынке
Услуги по передаче электроэнергии	Отражает плату за оказание услуг энергосистемы по транспортировке электроэнергии, вырабатываемой электростанциями, до конечных потребителей электроэнергии	$VN = VN2_m^{\text{код}} + VN2_m^{\text{tex}}, \quad (5)$ <p>где <math>VN2_m^{\text{код}}</math> – стоимость услуги по содержанию электрических сетей (руб.), <math>VN2_m^{\text{tex}}</math> – стоимость услуги по оплате технологического расхода (потерь) в электрических сетях в расчетном месяце (руб.);</p> $VN2_m^{\text{код}} = T_m^{\text{код}} + VN2_m, \quad (6)$ <p>где <math>T_m^{\text{код}}</math> – ставка тарифа за содержание электрических сетей (руб./кВт·ч); <math>VN2_m</math> – величина, принимаемая для расчета обязательств по оплате за содержание электрических сетей в расчетный месяц (кВт·ч);</p> $VN2_m = \frac{\sum_{\text{раб},m} \max(W_{T_{\text{max\_CO}}}^{\text{мес}})}{n_{\text{раб},m}}, \quad (7)$ <p>где <math>\max(W_{T_{\text{max\_CO}}}^{\text{мес}})</math> – максимальная величина потребления электроэнергии в период интервалов плановых часов пиковой нагрузки (кВт);</p> $VN2_m^{\text{tex}} = T_m^{\text{tex}} \times \sum_m W_t^{\text{мес}}, \quad (8)$ <p>где <math>T_m^{\text{tex}}</math> – ставка тарифа на оплату технологического расхода (потерь) в электрических сетях (руб./кВт·ч)</p>	На основе индивидуального почасового графика электропотребления каждого потребителя выявляется максимальное значение потребления в рабочие дни в рамках интервалов плановых часов пиковых нагрузок и усредняется. Полученный параметр «стоимость услуги по содержанию электрических сетей» умножается на цену на содержание электрических сетей для каждого региона

Таким образом, стоимость всех компонентов поставляемой электроэнергии формируется на основе индивидуального почасового графика электропотребления, характеристики которого могут варьироваться в зависимости от характеристик технологических режимов работы электропотребляющего оборудования. Сущность ценозависимого управления электропотреблением заключается в корректировке графиков работы электропотребляющего оборудования с учетом стоимостных индикаторов энергорынка. По экспертным оценкам, оно способствует сокращению затрат на закупку электроэнергии от 5 до 70 %, что позволяет снизить операционные расходы и высвободить средства на финансирование программ развития «умного» города.

Дополнительно в случае выравнивания спроса на электропотребление на уровне региональных, объединенных энергетических систем и Единой энергетической системы России может быть получен экономический эффект в виде общего снижения рыночных цен на поставку электроэнергии. На рис. 5 представлен пример формирования цен на поставку электроэнергии на рынке на сутки вперед при различных уровнях спроса.

Видно, что по мере сокращения общего спроса на электропотребление ценовые параметры рынка на сутки вперед существенно снижаются, что отражается на стоимости закупки электроэнергии для потребителей, действующих в рамках энергосистемы [Feng et al., 2018].

#### ПОДХОДЫ К УПРАВЛЕНИЮ ЦЕНОЗАВИСИМЫМ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ

С нашей точки зрения, ценозависимое управление электропотреблением может реализовываться в рамках концепции «Умный город» в нескольких направлениях (табл. 3).

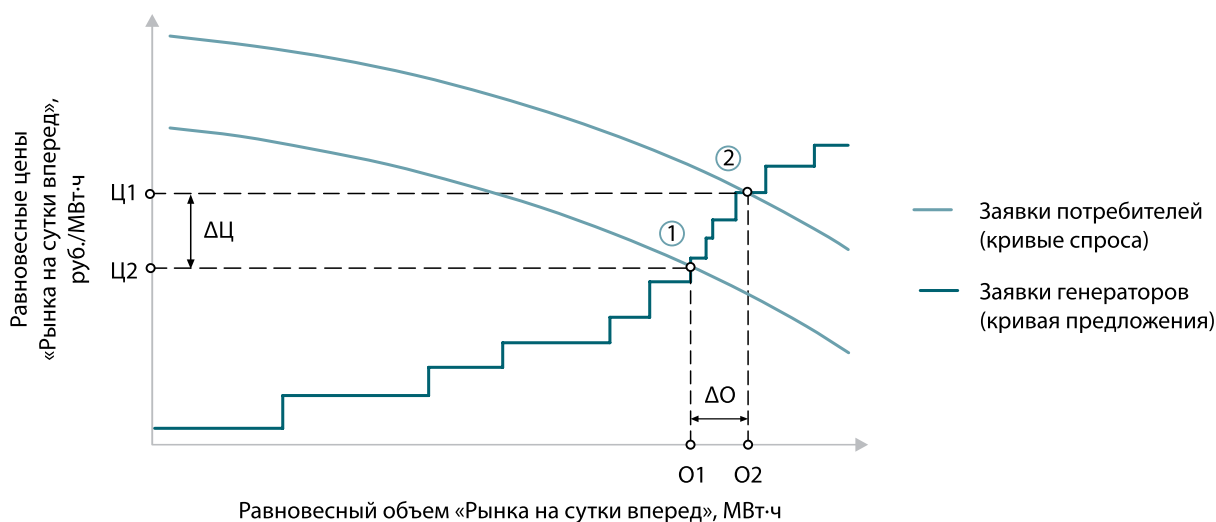


Рис. 5. Формирование цен на поставку электроэнергии на рынке на сутки вперед при различных уровнях спроса  
Fig. 5. Pricing for electricity supply in the day-ahead market under various demand levels

Таблица 3 – Ключевые направления реализации ценозависимого электропотребления в рамках концепции «Умный город» в России

Table 3 – Key avenues for the implementation of price-dependent electricity consumption within the framework of the Smart City concept in Russia

Направление реализации	Способы реализации	Описание
Транспорт	Управление графиками нагрузки электропотребления троллейбусов	Применение троллейбусов на гибридном ходу либо с автономным запасом хода для оптимизации электрических нагрузок в часы максимума стоимости электроэнергии
	Управление графиком работы трамваев	Управление графиком трамвайного парка с заменой на использование альтернативного транспорта в часы максимума стоимости электроэнергии
	Управление графиком работы эскалаторов метрополитенов	Управление дублирующими эскалаторами в часы максимума стоимости электроэнергии
	Управление расписанием следования электропоездов	Оптимизация расписаний движения электропоездов в часы максимума стоимости электроэнергии
Городское освещение	Управление уличным городским освещением	Диммирование светового потока и распределение осветительной нагрузки в часы максимума стоимости электроэнергии
	Управление освещением в подземных переходах	
	Управление освещением городских зданий и учреждений	

Направление реализации	Способы реализации	Описание
Насосные станции	Управление графиками работы сетевых насосов городских сооружений	Оптимизация режимов работы насосов в часы максимума стоимости электроэнергии
	Управление графиками работы повышающих насосов городских сооружений	
Системы электроотопления	Управление графиками нагрузки систем электроотопления на котельных установках	Оптимизация режимов работы нагревательных элементов в часы максимума стоимости электроэнергии
	Управление графиком работы индивидуальных систем электроотопления зданий и сооружений	Применение тепловых аккумуляторов
Объекты малой распределенной генерации и возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) [Mahesa, Yudoko, Anggoro, 2019]	Управление графиком выработки электроэнергии объектом малой распределенной генерации либо ВИЭ	Управление графиком выработки электроэнергии объектом малой распределенной генерации либо ВИЭ с учетом особенностей спроса со стороны потребителей, действующих в энергорайоне
	Управление графиком электропотребления потребителя, имеющего малую распределенную генерацию либо ВИЭ	Управление графиком электропотребления с учетом обеспечения спроса внутренними резервами

Электропотребляющее оборудование, перечисленное в табл. 3, позволяет посредством изменения режимов и графиков его работы влиять на величину собственного спроса на потребление электрической энергии и, как результат, снижать затраты на оплату электроэнергии. На рис. 6 представлена предлагаемая авторами модель ценозависимого управления

электропотреблением объектов городской инфраструктуры в концепции «Умный город». Модель состоит из последовательно реализуемых блоков на всех уровнях управления. Ключевым блоком модели является центр управления. В едином центре управления консолидируется сбор и обработка данных, используемых в процессе управления.

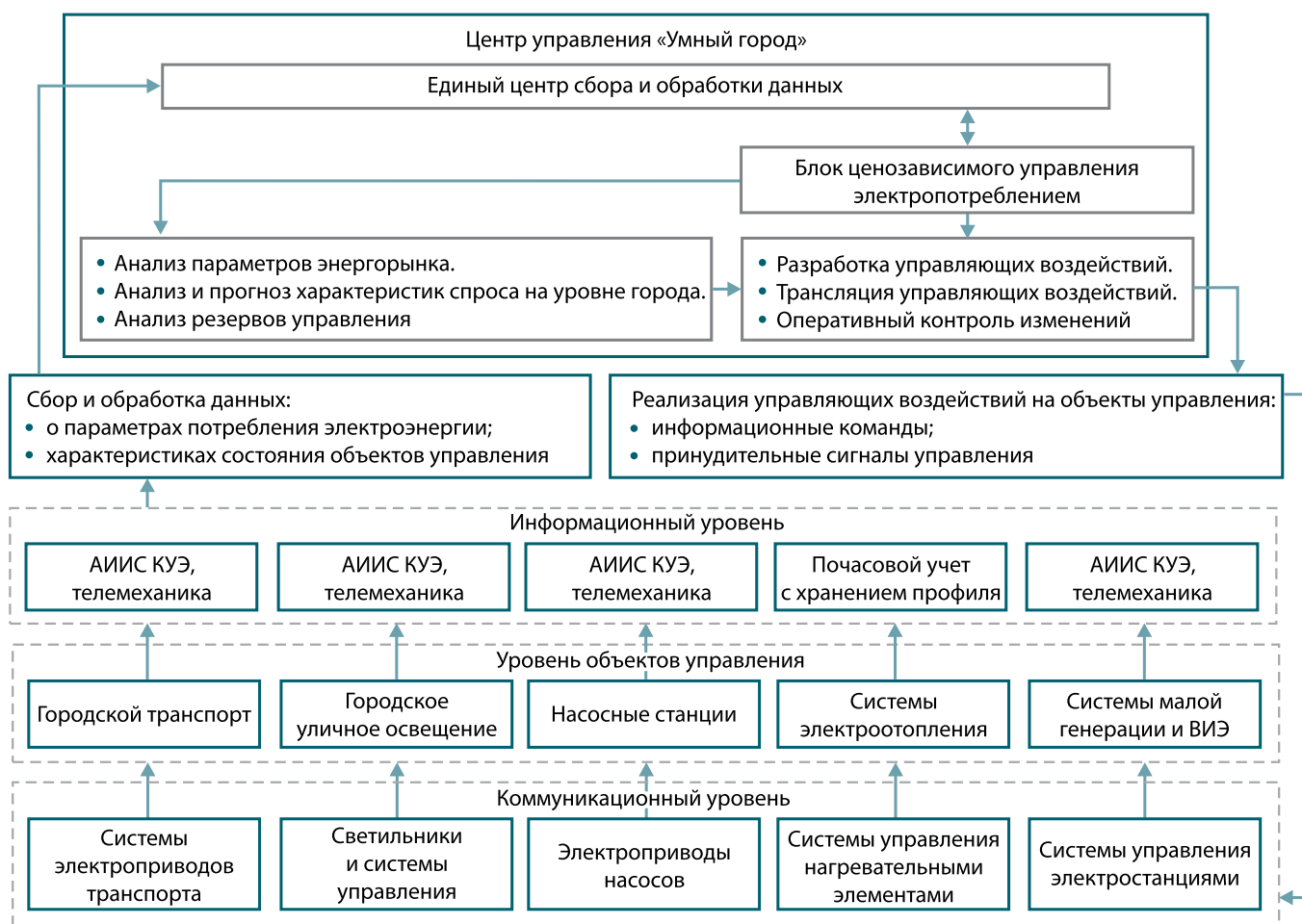


Рис. 6. Модель ценозависимого управления электропотреблением городских объектов в концепции «Умный город»  
Fig. 6. Model of price-dependent electricity consumption management of municipal facilities in the Smart City concept

В блоке ценонезависимого управления электропотреблением на основе агрегированных данных об индикаторах энергорынка и параметрах изменения спроса проводится анализ и последующий прогноз возможных резервов управления спросом для каждого объекта управления. На основе анализа выявленных резервов разрабатываются управляющие воздействия для отдельных потребителей, которые впоследствии утверждаются, транслируются для реализации, контролируются и корректируются в оперативном режиме.

Управляющие воздействия передаются посредством информационных команд, направляемых на коммуникационном уровне управления в адрес как операторов электропотребляющих объектов, так и систем управления электропотребляющим оборудованием для корректировки режимов работы и электропотребления. На коммуникационном уровне происходит непосредственное управление объектами: транспортными системами, системами освещения, насосными станциями и т. п. По результатам реализации управляющих воздействий проводится сбор данных о параметрах потребления электроэнергии, а также о характеристиках и состоянии электропотребляющего оборудования с использованием автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) либо систем телемеханики. Данные, полученные на информационном уровне, поступают в центр сбора и обработки данных с целью реализации последующих циклов ценонезависимого управления электропотреблением.

### ОПЫТ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ «УМНЫЙ ГОРОД»

В Челябинске действует сеть городского электротранспорта, насчитывающая 17 маршрутов движения троллейбусов с общей численностью парка пассажирских троллейбусов 228 единиц. При этом количество троллейбусов, одновременно курсирующих по городу, составляет порядка 120 единиц. В периоды пикового спроса на общественный транспорт, а именно: с 07:00 до 10:00 и с 16:00 до 19:30 – производится выход на ли-

нию дополнительных троллейбусов, количество которых может увеличиваться до 80 единиц.

Мощность электропривода троллейбуса модели ЗиУ-682Б, имеющего один салон, – 110 кВт, а доля этой модели примерно 85 % общего парка. Мощность электропривода троллейбуса модели ЗиУ-683, имеющего шарнирно-сочлененный салон, составляет 170 кВт, а доля – 15 % общего парка соответственно. Троллейбусы запитываются от единой контактной сети, а также в питающих центрах и формируют единый график почасового спроса на электропотребление на территории города. На питающих центрах сети электроснабжения троллейбусов установлены приборы почасового учета электроэнергии, по показаниям которых проводится расчет обязательств перед энергоснабжающими организациями за поставку электроэнергии.

В настоящий момент в мире и в России началось производство электрических автобусов – электробусов, которые представляют собой троллейбусы с большим запасом автономного хода. В различных вариантах модификаций электробусы выполняют движение троллейбусов либо на гибридном ходу, используя двигатели внутреннего сгорания, либо на аккумуляторных батареях с применением технологии динамической подзарядки. Новые технологии позволяют троллейбусам осуществлять передвижение без потребления электроэнергии от контактной электрической сети. При работе троллейбусов на альтернативных источниках электроэнергии либо на внутреннем запасе электроэнергии исключается потребление энергии из городской сети, что приводит к выравниванию спроса на электропотребление.

График суточного электропотребления городской троллейбусной сети Челябинска демонстрирует неравномерность электропотребления в течение суток (рис. 7). В ночные периоды пассажиропоток отсутствует, на линиях работают только ремонтные бригады, поэтому и электропотребление из сети является минимальным. В начале и конце стандартного рабочего дня наблюдается пик пассажиропотока, что обуславливает необходимость вывода на линии дополнительных машин, которые существенно увеличивают потребление

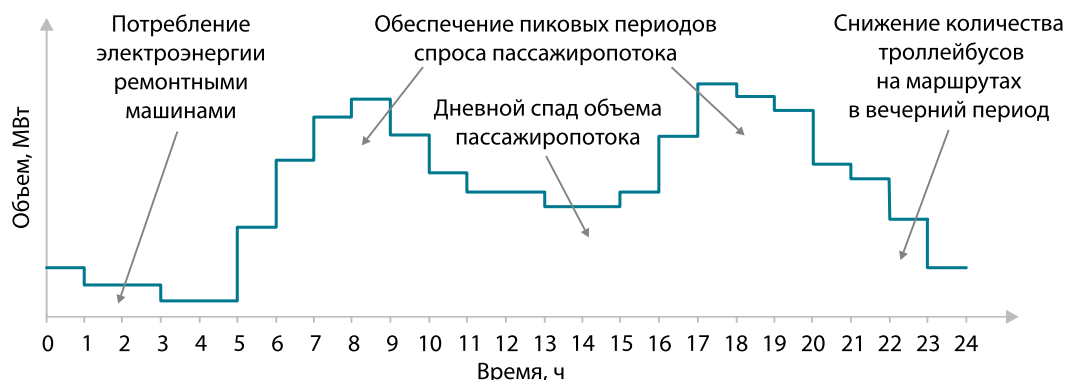


Рис. 7. График суточного электропотребления городской троллейбусной сети Челябинска  
Fig. 7. Daily electricity consumption schedule of the trolleybus network in the city of Chelyabinsk

электроэнергии из сети. В дневной период происходит спад пассажиропотока, в результате чего по городу курсирует меньшее количество троллейбусов по сравнению с периодом пикового спроса, что снижает уровень электропотребления.

В табл. 4 приведен расчет параметров электрических нагрузок троллейбусной сети Челябинска за типовые сутки рабочего дня. С учетом использования различных типов троллейбусов график спроса на электропотребление в период пикового спроса на перевозки достигает 23 800 кВт при базовом уровне ночной нагрузки сети в среднем 2 000 кВт, что позволяет констатировать весьма существенный уровень волатильности спроса на электропотребление.

За счет использования альтернативных источников энергии для движения троллейбусов в течение коротких периодов времени будет снижаться объем потребления электроэнергии из сети в период формирования стоимости электрической мощности, услуг по передаче электроэнергии, а также максимальных цен на поставку электроэнергии на рынке на сутки вперед.

Проведен расчет нескольких вариантов снижения стоимости оплаты электроэнергии городской трол-

лейбусной сети Челябинска в результате реализации ценозависимого управления электропотреблением посредством кратковременного использования альтернативных источников электроэнергии либо аккумуляторов для движения троллейбусов в пиковые часы энергосистемы:

- вариант 1: количество троллейбусов городской сети, оснащенных гибридными системами движения, составляет 30 %;
- вариант 2: количество троллейбусов городской сети, оснащенных гибридными системами движения, составляет 60 %;
- вариант 3: количество троллейбусов городской сети, оснащенных гибридными системами движения, составляет 100 %.

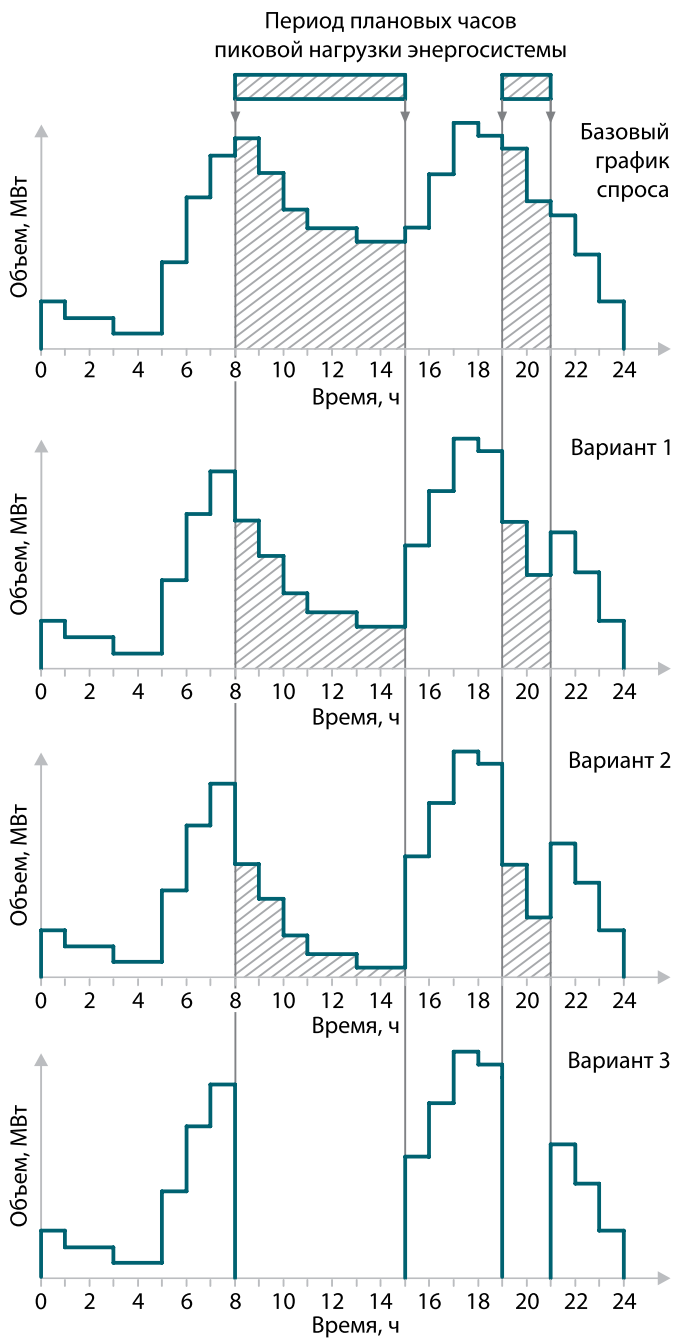
На рис. 8 показан почасовой суточный спрос на потребление электроэнергии троллейбусной сети Челябинска при различных вариантах ценозависимого управления электропотреблением. Периоды ценозависимого управления спросом ограничены интервалами плановых часов пиковой нагрузки региональной электроэнергетической системы. Стоит отметить, что для представленного примера не все часы максимума стоимости электроэнергии попадают в интервалы

Таблица 4 – Расчет почасовых параметров электрической нагрузки троллейбусной сети Челябинска в течение суток

Table 4 – Calculation of hourly parameters of the electrical load of the Chelyabinsk trolleybus network during the day

Час	Количество троллейбусов всего, ед.	Количество троллейбусов ЗиУ-682Б, ед.	Количество троллейбусов ЗиУ-683, ед.	Потребляемая мощность ЗиУ-682Б, кВт	Потребляемая мощность ЗиУ-683, кВт	Суммарная потребляемая мощность, кВт
1	30	25	5	2 750	850	3 600
2	20	17	3	1 870	510	2 380
3	20	17	3	1 870	510	2 380
4	10	8	2	880	340	1 220
5	10	8	2	880	340	1 220
6	80	68	12	7 480	2 040	9 520
7	120	102	18	11 220	3 060	14 280
8	170	144	26	15 840	4 420	20 260
9	190	161	29	17 710	4 930	22 640
10	150	127	23	13 970	3 910	17 880
11	110	93	17	10 230	2 890	13 120
12	100	85	15	9 350	2 550	11 900
13	100	85	15	9 350	2 550	11 900
14	90	76	14	8 360	2 380	10 740
15	90	76	14	8 360	2 380	10 740
16	100	85	15	9 350	2 550	11 900
17	150	127	23	13 970	3 910	17 880
18	200	170	30	18 700	5 100	23 800
19	190	161	29	17 710	4 930	22 640
20	170	144	26	15 840	4 420	20 260
21	120	102	18	11 220	3 060	14 280
22	110	93	17	10 230	2 890	13 120
23	90	76	14	8 360	2 380	10 740
24	30	25	5	2 750	850	3 600





**Рис. 8. Диаграммы спроса на электропотребление троллейбусной сети Челябинска в результате ценозависимого управления электропотреблением**

**Fig. 8. Electricity demand of the Chelyabinsk trolleybus network as a result of price-dependent electricity consumption management**

плановых часов пиковой нагрузки, следовательно, ценозависимое управление спросом проводится в основном с учетом реагирования на сигналы внешней энергорыночной среды (изменение среднерыночных цен на электроэнергию).

В базовом варианте графика спроса на электропотребление в период плановых часов пиковой нагрузки график спроса является неизменным. В интервале с 08:00 до 09:00 пиковый час графика спроса попадает в период плановых часов пиковой нагрузки, а также часов с высоким электропотреблением (09:00–10:00, 19:00–20:00), что увеличивает стоимость закупки элек-

троэнергии в первую очередь на оплату компонентов электрической мощности и услуг по передаче электроэнергии.

На графике спроса (рис. 8, вариант 1) величина электропотребления в периоды плановых часов пиковой нагрузки сокращена на 30 %, что соответствует смоделированному количеству троллейбусов городской сети, оснащенных гибридными системами. Величина спроса на электропотребление снижена за счет переключения движущего состава в интервалах плановых часов пиковой нагрузки на альтернативные источники движения либо на питание от аккумуляторных батарей, что приводит к исключению потребления электроэнергии от городской питающей сети.

На графике спроса (рис. 8, вариант 2) величина электропотребления в периоды плановых часов пиковой нагрузки сокращена на 60 %, что также соответствует смоделированному количеству троллейбусов городской сети, оснащенных гибридными системами.

В табл. 5 агрегированы результаты расчета параметров управления спросом на электропотребление для троллейбусной сети Челябинска на основе графиков спроса, представленных на рис. 8, при использовании стоимостных параметров поставки электроэнергии потребителям Челябинской области в феврале 2019 г.

Результаты расчета приведены для четырех вариантов: базового варианта без применения ценозависимого управления электропотреблением и для трех вариантов ценозависимого электропотребления. Стоимость закупки электроэнергии представлена в разбивке на компоненты: электрическая энергия, электрическая мощность и услуга по передаче электроэнергии.

Общая стоимость закупки электроэнергии в феврале 2019 г. при базовом варианте электропотребления – 36 296 862 руб. При управлении спросом на энергопотребление снижение стоимости закупки электроэнергии составило 24 % (вариант 1), 49 % (вариант 2), 81 % (вариант 3). Таким образом, если привести полученные результаты к годовому периоду планирования, то экономический эффект от ценозависимого электропотребления троллейбусной сети в концепции «Умный город» может составить 106,3 млн руб. (вариант 1), 212,7 млн руб. (вариант 2), 354,6 млн руб. (вариант 3).

Таким образом, интеграция троллейбусной сети Челябинска в городскую платформу «Умный город» позволит повысить эффективность управления маршрутами и режимами движения троллейбусов и дополнительно оптимизировать затраты на потребление электроэнергии из питающей контактной сети.

Эффективность внедрения систем альтернативных источников энергии либо аккумуляторных батарей в городскую троллейбусную сеть города рассчитывается на основании сравнения эффектов, которые получаются от ценозависимого управления электропотреблением, а также стоимости модернизации

Таблица 5 – Расчет параметров стоимости закупок электроэнергии троллейбусным парком Челябинска при различных вариантах ценозависимого электропотребления на примере ценовых параметров поставки электроэнергии в феврале 2019 г.

Table 5 – Calculation of the cost parameters of electricity purchases by the Chelyabinsk trolleybus fleet for different variants of price-dependent electricity consumption exemplified by electricity supply price parameters in February, 2019

Параметр	Единицы измерения	Базовая нагрузка	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Количество троллейбусов, оснащенных гибридными системами движения	%	0	30 %	60 %	100 %
Объем месячного потребления электроэнергии	кВт·ч	8 176 000	7 054 936	5 933 872	4 439 120
Объем месячного потребления электрической мощности	кВт·ч в месяц	13 120	9 184	5 248	0
Величина обязательств по оплате содержания электрических сетей	кВт·ч в месяц	22 640	15 848	9 056	0
Стоимость закупки составляющей «электрическая энергия»	руб.	10 031 603	8 590 370	7 149 138	5 227 494
Стоимость закупки составляющей «электрическая мощность»	руб.	9 857 321	6 900 125	3 942 929	0
Стоимость закупки составляющей «услуга по передаче электроэнергии»	руб.	16 407 937	11 940 570	7 473 203	1 516 714
Общая стоимость закупок электроэнергии	руб.	36 296 862	27 431 066	18 565 270	6 744 208
Средний тариф закупок электроэнергии	руб./кВт·ч	4,44	3,89	3,13	1,52
Величина снижения стоимости закупок относительно базового варианта	руб.	–	8 865 796	17 731 592	29 552 654

троллейбусного парка и закупки альтернативного топлива для обеспечения движения транспорта в периоды управления спросом и может быть определена по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{эз}} \geq \mathcal{Z}_{\text{мод}} + \mathcal{Z}_{\text{топ}} + \mathcal{Z}_{\text{аккумуля}} + \mathcal{Z}_{\text{заряд}} + \mathcal{Z}_{\text{су}} \quad (9)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{эз}}$  – эффект от снижения стоимости закупки электроэнергии в процессе ценозависимого электропотребления городской троллейбусной сети в концепции «Умный город»;  $\mathcal{Z}_{\text{мод}}$  – затраты на технологическую модернизацию действующего троллейбусного парка, связанные с переводом на альтернативные источники энергии либо аккумуляторные батареи, либо закупками гибридных троллейбусов;  $\mathcal{Z}_{\text{топ}}$  – затраты на закупку топлива (дизельное топливо либо бензин) для обеспечения функционирования альтернативных источников энергии в двигателях троллейбусов в период ценозависимого управления электропотреблением;  $\mathcal{Z}_{\text{аккумуля}}$  – затраты на зарядку аккумуляторных батарей для троллейбусов, передвигающихся на аккумуляторных батареях;  $\mathcal{Z}_{\text{заряд}}$  – затраты на закупку и монтаж стационарных зарядных станций для зарядки аккумуляторов;  $\mathcal{Z}_{\text{су}}$  – затраты на закупку системы управления троллейбусной сетью, включающей системы связи, АИИС КУЭ, системы обработки и хранения данных.

#### АЛГОРИТМ ЦЕНОЗАВИСИМОГО УПРАВЛЕНИЯ СПРОСОМ НА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ ГОРОДСКОЙ ТРОЛЛЕЙБУСНОЙ СЕТИ

На рис. 9 представлен разработанный алгоритм ценозависимого управления спросом на электропотребле-

ние городской троллейбусной сети на основе применения машин на альтернативных источниках энергии либо аккумуляторных батареях. В основе алгоритма лежит база данных, включающая расписание движения троллейбусов, параметры потребления электроэнергии троллейбусами, а также ценовые параметры энергорынка. Опираясь на сформированную базу исходных данных, прогнозируют почасовое электропотребление городской троллейбусной сети на сутки вперед, проводят расчет плановой стоимости потребления электроэнергии и выявляют состав троллейбусов и маршрутов, в наибольшей степени влияющих на формирование стоимости энергоресурсов. Далее анализируют действующий парк троллейбусов с точки зрения возможности применения ценозависимого управления электропотреблением, рассчитывают инвестиционные затраты на замещение потребления электроэнергии из питающей контактной сети. Оценивают диапазон возможного регулирования спроса на электропотребление каждого троллейбуса, а также запас хода троллейбуса на альтернативном ходу. Затем производят расчет графика движения троллейбусов с учетом режимов энергообеспечения как на электрическом ходу от контактной сети, так и на альтернативных источниках энергии либо аккумуляторных батареях. В случае целесообразности модернизации осуществляют необходимые инвестиционные затраты, разрабатывают оптимальное расписание движения троллейбусов, передают информацию в троллейбусные парки для оповещения водителей. На этапе реализации ценозависимого электропотребления обязательно проводят оперативный контроль

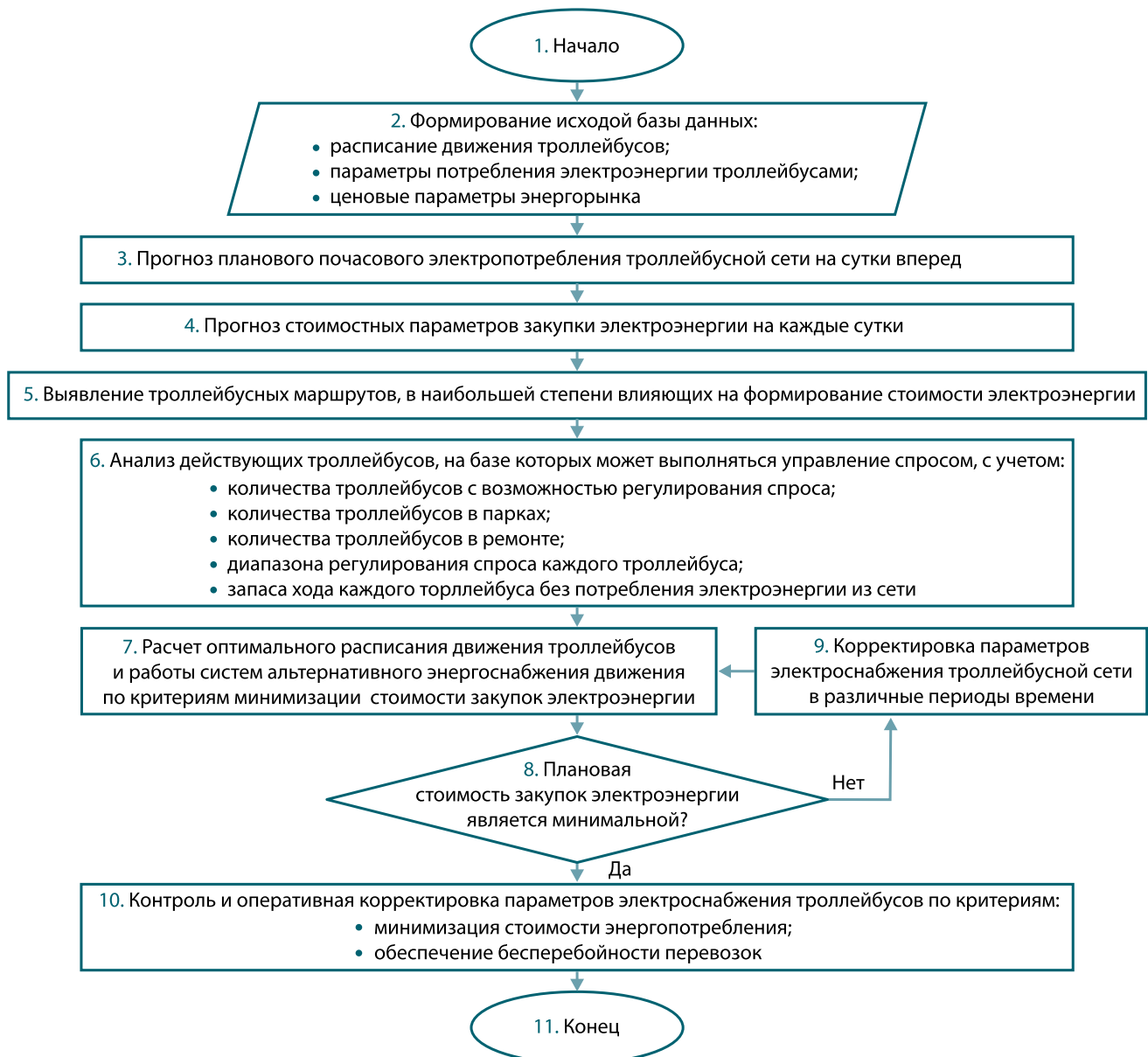


Рис. 9. Алгоритм ценозависимого управления спросом на электропотребление городской троллейбусной сети на основе применения машин на альтернативных источниках энергии либо аккумуляторных батареях  
 Fig. 9. Algorithm of price-dependent electricity demand management of a municipal trolleybus network based on the use of vehicles using alternative energy sources or batteries

и корректировку параметров энергоснабжения троллейбусов по критериям минимизации стоимости энергоснабжения и обеспечения бесперебойности перевозок пассажиров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование показало, что одним из ключевых элементов концепции «Умный город» является технология «Управление спросом на электропотребление». Сопоставительный анализ позволил выявить ряд общих признаков, которые обуславливают возможность одновременной реализации концепций «Умный город» и «Управление спросом на электропотребление» в отдельных городах и получение дополнительного синергетического эффекта.

2. Анализ условий поставки электроэнергии на оптовый и розничный рынки электроэнергии России

позволил констатировать возможность для потребителей электроэнергии управлять собственными затратами на закупку электроэнергии посредством ценозависимого управления электропотреблением.

3. Выявлено, что ценозависимое электропотребление может быть применено в нескольких ключевых направлениях развития «умного» города, для чего авторами предлагается соответствующая модель ценозависимого управления электропотреблением городских объектов на базе единого центра управления по всем ключевым направлениям.

4. Величина экономического эффекта от ценозависимого управления электропотреблением в концепции «Умный город» для городского транспорта Челябинска может достигать 354,6 млн руб. в год, что доказывает эффективность применения предлагаемых решений.

5. Разработанный алгоритм ценозависимого управления спросом на электропотребление городской троллейбусной сети на основе применения машин на альтернативных источниках энергии либо аккумуляторных батареях может быть использован как базис для разработки и внедрения ценозависимого управления электропотреблением в деятельность сети городских троллейбусов в любом городе России. ■

#### Источники

- Айзенберг Н.И., Сташкевич Е.В., Воропай Н.И. (2016). Координация взаимодействия электроснабжающей организации и активных потребителей при оптимизации суточных графиков нагрузки // Известия РАН. Энергетика. № 3. С. 44–54.
- Волкова И.О., Сальникова Е.А., Шувалова Д.Г. (2011). Активный потребитель в интеллектуальной энергетике. М.: Академия энергетике. С. 50–57.
- Гашо Е.Г., Чехранова О.А. (2017). Приоритеты модернизации энергоснабжения мегаполисов: смарт грид и смарт сити // Вестник российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева. Сер.: Гуманитарные и социально-экономические исследования. Т. 2, № 8. С. 147–156.
- Гительман Л.Д., Гительман Л.М., Кожевников М.В. (2016). Электроэнергетика: умное партнерство с потребителем. М.: Экономика.
- Голованов В.И., Латыпов Н.А., Бурлаков В.В., Дзюрдзя О.А. (2018). Современное управление инфраструктурой городского хозяйства. М.: Научный консультант.
- Дзюба А.П., Соловьева И.А. (2018). Модель комплексного ценозависимого управления спросом промышленных предприятий на электроэнергию и газ // Известия Уральского государственного экономического университета. № 1. С. 79–93.
- Карпович А.И. (2011). Управление спросом на энергию и повышение экономической устойчивости энергетических предприятий // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. № 22 (115). С. 2–5.
- Клюев Б. В. (2013). Инновации в ЖКХ: время перемен // Вестник. Строительство. Архитектура. Инфраструктура. № 6. С. 6.
- Лобанов О.С. (2017). Технология blockchain в контексте цифровизации системы городского управления // Цифровая экономика в социально-экономическом развитии России: материалы Всерос. науч.-практ. конф. 24 нояб. 2017 г. С. 169–173.
- Романова А.И. (2018). Управление городским хозяйством смарт-города // Социально-экономическое управление: теория и практика. № 3. С. 63–68.
- Шувалов С.Ю. (2019). Умное энергосбережение как часть концепции Смарт-ЖКХ // Энергосбережение. № 2. С. 25–29.
- Aburukba R.O., Al-Ali A.R., Landolsi T., Rashid M., Hassan R. (2016). IoT based energy management for residential area. *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*. Pp. 1–2. DOI: 10.1109/ICCE-TW.2016.7521035.
- Feng J., Zeng B., Zhao D., Wu G., Liu Z., Zhang J. (2018). Evaluating demand response impacts on capacity credit of renewable distributed generation in smart distribution systems. *IEEE Access*, vol. 6, pp. 14307–14317. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2745198.
- Haarstad H., Wathne M.W. (2019). Are smart city projects catalyzing urban energy sustainability? *Energy Policy*, vol. 129, pp. 918–925. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.03.001.
- Lopez K.L., Gagné C., Gardner M.-A. (2018). Demand-side management using deep learning for smart charging of electric vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. PP, issue 99, pp. 1–3. DOI: 10.1109/TSG.2018.2808247.
- Mahesa R., Yudoko G., Anggoro Y. (2019). Dataset on the sustainable smart city development in Indonesia. *Data in Brief*, vol. 25, pp. 104–108. DOI: 10.1016/j.dib.2019.104098.
- Tang Z., Jayakar K., Feng X., Zhang H., Peng R.X. (2019). Identifying smart city archetypes from the bottom up: A content analysis of municipal plans. *Telecommunications Policy*, vol. 43, no. 10, pp. 101–134. DOI: 10.1016/j.telpol.2019.101834.
- Yigitcanlar T., Han H., Kamruzzaman M., Ioppolo G., Sabatini-Marques J. (2019). The making of smart cities: Are Songdo, Masdar, Amsterdam, San Francisco and Brisbane the best we could build? *Land Use Policy*, no. 88, pp. 104–187. DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104187.

#### Информация об авторах

##### Дзюба Анатолий Петрович

Кандидат экономических наук, старший научный сотрудник кафедры финансовых технологий. Южно-Уральский государственный университет (НИУ) (454080, РФ, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76). E-mail: dzyuba-a@yandex.ru.

##### Соловьева Ирина Александровна

Доктор экономических наук, профессор кафедры финансовых технологий. Южно-Уральский государственный университет (НИУ) (454080, РФ, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76). E-mail: solovevaia@susu.ru.

DOI: 10.29141/2218-5003-2020-11-2-5

## Demand-side management in the Smart City concept

Anatoly P. Dzyuba<sup>1</sup>, Irina A. Solovyeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** In the context of the widespread adoption of information and communication technologies, the key objectives are to enhance the effectiveness of infrastructure management in certain agglomerations and cities, as well as to optimize the use of municipal energy resources. The paper deals with the opportunities and avenues for the use of price-dependent electricity demand management in today's wholesale and retail electricity markets in Russia within the framework of the Smart City concept. Methodologically, the paper rests on the principles of macroeconomics and the Smart City concept. In the study, the methods of analysis, synthesis, systematization, statistical observation, etc. are applied. The information base of the research includes empirical data on the parameters of uneven electricity consumption by various municipal facilities. The research results show that city electric vehicles, city lighting, pumping stations, electric heating systems, etc. are major electricity consumers, which allow managing the costs incurred in purchasing electric resources at municipal level. The authors develop a model and an algorithm for price-dependent electricity consumption management of municipal facilities in the Smart City concept and test them using the case of the trolleybus network of the city of Chelyabinsk. The study proves the expediency of performing price-dependent electricity consumption management of municipal infrastructure in the Smart City concept.

**Keywords:** smart city; demand-side management; price-dependent electricity consumption; energy efficiency; hybrid electric municipal transport.

**JEL Classification:** M11, L94, L11

**Funding:** The paper was funded by the Government of the Russian Federation (RF Government Decree of March 16, 2013 No. 211), Agreement No. 02.A03.21.0011.

**Paper submitted:** December 12, 2019

**For citation:** Dzyuba A.P., Solovyeva I.A. (2020). Demand-side management in the Smart City concept. *Upravlenets – The Manager*, vol. 11, no. 2, pp. 53–66. DOI: 10.29141/2218-5003-2020-11-2-5.

### References

- Ayzenberg N.I., Stashkevich E.V., Voropay N.I. (2016). Koordinatsiya vzaimodeystviya elektrosnabzhayushchey organizatsii i aktivnykh potrebiteley pri optimizatsii sutochnykh grafikov nagruzki [Coordination of interaction between the power supply organization and active consumers in the optimization of daily load schedules]. *Izvestiya RAN. Energetika – Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Power Industry*, no. 3, pp. 44–54.
- Volkova I.O., Sal'nikova E.A., Shuvalova D.G. (2011). *Aktivnyy potrebitel' v intellektual'noy energetike* [Active consumer in smart energy]. Moscow: Akademiya energetiki. Pp. 50–57.
- Gasho E.G., Chekhranova O.A. (2017). Priority modernizatsii energosnabzheniya megapolisov: smart grid i smart siti [Priorities for the modernization of energy supply in megacities: Smart grid and smart city]. *Vestnik Rossiyskogo khimiko-tekhnologicheskogo universiteta imeni D.I. Mendeleeva: Gumanitarnye i sotsial'no-ekonomicheskie issledovaniya – Bulletin of the Russian Chemical-Technological University named after D. I. Mendeleev: Humanitarian and Socio-Economic Studies*, vol. 2, no. 8 pp. 147–156.
- Gitelman L.D., Gitelman L.M., Kozhevnikov M.V. (2016). *Elektroenergetika: umnoe partnerstvo s potrebitel'em* [Power industry: Smart partnership with the consumer]. Moscow: Ekonomika.
- Golovanov V.I., Latypov N.A., Burlakov V.V., Dzyurdzya O.A. (2018). *Sovremennoe upravlenie infrastrukturoy gorodskogo khozyaystva* [Modern management of urban infrastructure]. Moscow: Nauchnyy konsul'tant.
- Dzyuba A.P., Solovyeva I.A. (2018). Model' kompleksnogo tsovozavisimogo upravleniya sprosom promyshlennykh predpriyatiy na elektroenergiyu i gaz [A model for comprehensive price-dependent management of industrial enterprises' demand for electricity and gas]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta – Journal of the Ural State University of Economics*, vol. 19, no. 1, pp. 79–93. DOI: 10.29141/2073-1019-2018-19-1-7.
- Karpovich A.I. (2011). Upravlenie sprosom na energiyu i povyshenie ekonomicheskoy ustoychivosti energeticheskikh predpriyatiy [Demand-supply management for economic soundness of energy companies]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' – National Interests: Priorities and Security*, no. 22(115), pp. 2–5.
- Klyuev B.V. (2013). Innovatsii v ZhKKh: vremya peremen [Innovations in housing and communal services: Time of change]. *Vestnik Stroitel'stvo. Arkhitektura. Infrastruktura – Bulletin. Construction. Architecture. Infrastructure*, no. 6, p. 6.
- Lobanov O.S. (2017). [Blockchain technology in the context of digitalization of the urban management system]. *Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. «Tsifrovaya ekonomika v sotsial'no-ekonomicheskoy razvitiy Rossii»* (24 noyabrya 2017 g.) [Digital Economy in the Socio-Economic Development of Russia. Proc. of All-Russia sci.-pract. conf. (November 24, 2017)]. Pp. 169–173.
- Romanova A.I. (2018). Upravlenie gorodskim khozyaystvom smart-goroda [Urban management of smart cities]. *Sotsial'no-ekonomicheskoe upravlenie: teoriya i praktika – Socio-Economic Management: Theory and Practice*, no. 3, pp. 63–68.
- Shuvalov S.Yu. (2019). Umnoe energosberezhenie kak chast' kontseptsii Smart-ZhKKh [Smart energy saving as part of the Smart Housing and Public Utilities concept]. *Energoberezhenie – Energy Saving*, no. 2, pp. 25–29.
- Aburukba R.O., Al-Ali A.R., Landolsi T., Rashid M., Hassan R. (2016). IoT based energy management for residential area. *2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)*. Pp. 1–2. DOI: 10.1109/ICCE-TW.2016.7521035.
- Feng J., Zeng B., Zhao D., Wu G., Liu Z., Zhang J. (2018). Evaluating demand response impacts on capacity credit of renewable

- distributed generation in smart distribution systems. *IEEE Access*, vol. 6, pp. 14307–14317. DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2745198.
- Haarstad H., Wathne M.W. (2019). Are smart city projects catalyzing urban energy sustainability? *Energy Policy*, vol. 129, pp. 918–925. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.03.001.
- Lopez K.L., Gagné C., Gardner M.-A. (2018). Demand-side management using deep learning for smart charging of electric vehicles. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. PP, issue 99, pp. 1–3. DOI: 10.1109/TSG.2018.2808247.
- Mahesa R., Yudoko G., Anggoro Y. (2019). Dataset on the sustainable smart city development in Indonesia. *Data in Brief*, vol. 25, pp. 104–108. DOI: 10.1016/j.dib.2019.104098.
- Tang Z., Jayakar K., Feng X., Zhang H., Peng R.X. (2019). Identifying smart city archetypes from the bottom up: A content analysis of municipal plans. *Telecommunications Policy*, vol. 43, no. 10, pp. 101–134. DOI: 10.1016/j.telpol.2019.101834.
- Yigitcanlar T., Han H., Kamruzzaman M., Ioppolo G., Sabatini-Marques J. (2019). The making of smart cities: Are Songdo, Masdar, Amsterdam, San Francisco and Brisbane the best we could build? *Land Use Policy*, no. 88, pp. 104–187. DOI: 10.1016/j.landuse-pol.2019.104187.

### Information about the authors

#### Anatoly P. Dzyuba

Cand. Sc. (Econ.), Senior Researcher of Financial Technologies Dept. **South Ural State University (National Research University)** (76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia). E-mail: dzyuba-a@yandex.ru.

#### Irina A. Solovyeva

Dr. Sc. (Econ.), Professor of Financial Technologies Dept. **South Ural State University (National Research University)** (76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia). E-mail: solovevaia@susu.ru.