

УДК 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТАРИФООБРАЗОВАНИЯ

Т. А. МУСАЕВ, Р. Н. КАМАЛИЕВ

ОАО «Сетевая компания», г. Казань, Российская Федерация

О. В. ФЕДОРОВ

*Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Нижегородский государственный технический
университет имени Р. Е. Алексеева»,
Российская Федерация*

А. А. КАПАНСКИЙ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Рассмотрена возможность использования данных, получаемых от интеллектуальных систем учета электрической энергии (ИСУ), в целях повышения эффективности тарифообразования электрической энергии. В частности, рассмотрена возможность корректного формирования числа часов использования мощности (ЧЧИМ) по группе потребителей электрической энергии «население». Данный параметр оказывает значительное влияние на определение величины тарифа на передачу электрической энергии по электрическим сетям 0,4 кВ. Благодаря использованию данных, получаемых от ИСУ, значительно повышается корректность формирования величины ЧЧИМ по группе потребителей «население» за счет сбора данных (в частности получасовых значений мощности). Предложены алгоритм и методика обработки данных для получения корректной величины ЧЧИМ и для последующего корректного расчета тарифа на передачу электрической энергии.

Ключевые слова: интеллектуальные системы учета электроэнергии, эффективность тарифообразования, заявленная мощность, число часов использования мощности.

THE USE OF SMART METERS TO INCREASE THE TARIFF SETTING PROCESS EFFICIENCY

T. A. MUSAEV, R. N. KAMALIEV

OJSC “Network Company”, Kazan, the Russian Federation

O. V. FEDOROV

*Federal State-Funded Educational Institution
of Higher Education “Nizhny Novgorod State Technical
University n. a. R. E. Alekseev”, the Russian Federation*

A. A. KAPANSKY

*Educational Institution “Sukhoi State Technical University
of Gomel”, the Republic of Belarus*

The possibility of using data received from smart metering systems (SMS) has been considered in order to increase the electric power tariff setting efficiency. The possibility of the reasonable formation of power utilization time (PUT) has been considered more specifically for electric power consumers of the "population" group. This parameter significantly effects the tariff determination for electric power transmission through electric networks of 0.4 kV. Due to the SMS data (in particular, half-hour power values), the PUT value formation for the population group of consumers becomes more accurate. The article proposes an algorithm and a data processing method for obtaining proper PUT value and subsequent correct tariff calculation for electric power transmission.

Keywords: smart metering systems, tariff setting efficiency, declared capacity, power utilization time.

Введение

Каждая научная революция, которая сопровождается промышленным переворотом, меняет историческую перспективу общества [1]. Согласно мнению многих исследователей, сегодня общество переживает четвертую промышленную революцию, неотъемлемой частью которой является развитие «Индустрии 4.0», под которой подразумевается, в том числе, использование «больших данных» (Big Data) и развитие «умной» городской инфраструктуры [2], [3]. Понятие «умной» городской инфраструктуры связано и с интеллектуальной системой электроснабжения (smartgrid, smartenergysystem).

В литературе встречается следующее определение интеллектуальной системы электроснабжения (СЭС) – система, в которой все субъекты электроэнергетического рынка (генерация, сеть, потребители) принимают активное участие в процессе передачи и распределения электроэнергии [4].

В то же время интеллектуальная СЭС – это комплекс технических средств, которые в автоматическом режиме выявляют наиболее слабые и аварийно-опасные участки сети, а затем изменяют ее характеристики и схему с целью предотвращения поломки и снижения потерь [5].

В частном случае развитие интеллектуальных СЭС подразумевает:

- развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – внедрение технологии мультиагентных систем в распределительной сети [6];
- повышение энергоэффективности и энергосбережения (в соответствии с [7]) – развитие технологических платформ, с помощью которых осуществляются технологические изменения в подсистеме энергетического комплекса [8];
- разработка системы автоматического восстановления электроснабжения в распределительной сети, в частности разработка алгоритмов ее работы [9];
- разработка изменений в традиционной иерархической структуре электрических сетей, развитие систем EMS, выполняющих также и оптимизацию режимов ее работы [10].

Как видно из представленного краткого литературного обзора, в первую очередь изучаются технические аспекты внедрения интеллектуальных СЭС, вместе с тем планомерное развитие системы оказывает существенное влияние на экономическую составляющую процесса передачи и распределения электрической энергии. До настоящего момента экономические аспекты интеллектуальных СЭС в полной мере не изучены, т. е. развитие данного направления является актуальной и важной задачей. Изучение влияния развития СЭС на экономическую составляющую процесса передачи электрической энергии позволит усовершенствовать формирование тарифной составляющей. Таким образом, задача исследования сводится к поиску путей повышения эффективности процесса формирования тарифа на передачу электрической энергии с помощью использования «больших данных», получаемых от интеллектуальных систем учета (ИСУ).

Цель работы заключается в возможности использования «больших данных» в различных аспектах деятельности предприятия электрических сетей, в частности при тарифообразовании.

Постановка общей цели исследования

Известно, что электроэнергетика является регулируемым видом деятельности, что подразумевает под собой государственное регулирование цен (тарифов) на отдельные виды продукции (услуг), перечень которых определяется государственными законами, в рамках которых осуществляется государственный контроль (надзор) за регулируемыми государством ценами (тарифами) в электроэнергетике [10].

Одним из видов регулируемых цен и тарифов, применяемых на потребительских рынках электрической энергии (мощности), являются тарифы (цены) на услуги, оказываемые организациями, осуществляющими регулируемую деятельность на розничном рынке электрической энергии (мощности), являющиеся неотъемлемой частью процесса поставки энергии [11].

Согласно п. 50 [11], расчет двухставочных единых (котловых) тарифов предусматривает определение двух ставок:

– единой ставки на содержание электрических сетей соответствующего уровня напряжения в расчете за 1 МВт заявленной мощности потребителя: $T_{ВН}^{СОД}$, $T_{СН1}^{СОД}$, $T_{СН2}^{СОД}$, $T_{НН}^{СОД}$;

– единой ставки на оплату технологического расхода (потерь) электрической энергии в процессе ее передачи потребителям по сетям соответствующего уровня напряжения, определяемого исходя из сводного прогнозного баланса производства и поставок электрической энергии (мощности) в рамках Единой энергетической системы России по субъектам Российской Федерации, рассчитанного с учетом нормативных технологических потерь, утвержденных Министерством энергетики РФ: $T_{ВН}^{ПОТ}$, $T_{СН1}^{ПОТ}$, $T_{СН2}^{ПОТ}$, $T_{НН}^{ПОТ}$.

Так как группа потребителей «население» присоединена в основном к сетям низкого напряжения (НН), тогда итоговый тариф на оплату электроэнергии определяется по формуле [11]:

$$T_{НН}^{СОД} = \frac{\sum НВВ_{НН} + (T_{СН1}^{СОД} + \sum N_{СН1}^{НН} M) + (T_{СН2}^{СОД} + \sum N_{СН2}^{НН} M)}{\sum N_{НН}^{ПО} M}, \quad (1)$$

где $НВВ_{НН}$ – необходимая валовая выручка, распределенная по уровню напряжения НН [11]; $T_{СН1}^{СОД}$, $T_{СН2}^{СОД}$ – ставка на содержание сетей соответствующего уровня напряжения [11]; $N_{СН1}^{НН}$, $N_{СН2}^{НН}$ – заявленная мощность потребителей, присоединенных к сетевой организации на уровне напряжения НН и трансформированная с уровня напряжения СН1 и СН2 соответственно, учтенная в сводном прогнозном балансе производства и поставок электрической энергии (мощности), МВт; $N_{НН}^{ПО}$ – заявленная мощность потребителей, присоединенных к сетевой организации на низком уровне напряжения, МВт; M – число месяцев в периоде регулирования.

Таким образом, корректное определение заявленной мощности потребителей оказывает значительное влияние на определение тарифной составляющей, т. е. чем более корректно определена заявленная мощность потребителей, тем более обосновано изменение (увеличение или снижение) тарифа.

При этом на сегодняшний день не регламентирована процедура определения заявленной мощности по группе потребителей «население», мощность, как правило, выбирается методом экспертной оценки на основании выводов специалистов в области тарифообразования.

Возможные варианты определения величины заявленной мощности

С точки зрения области инновационного менеджмента [12] в современных условиях энергетика – это сложная совокупность больших, непрерывно развивающихся производственных систем, объединенных по признаку однородности экономического назначения производственного продукта – электроэнергии. При этом важной характеристикой режима потребления электроэнергии является показатель годового числа часов использования максимума нагрузки, который определяется по формуле [13]:

$$h_M = \frac{\mathcal{E}_r}{P_{\max}} = \frac{P_{\text{ср}} T_r}{P_{\max}} = \gamma_r T_r, \quad (2)$$

где \mathcal{E}_r – годовое потребление электрической энергии; P_{\max} , $P_{\text{ср}}$ – значения соответственно максимальной и средней установленной мощности энергосистемы; T_r – количество часов использования электроэнергии в году; $\gamma_r = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}}$ – коэффициент плотности графика нагрузки, $\gamma_r < 1$.

Число часов использования заявленной мощности – это условный показатель, показывающий время, которое должен проработать потребитель с нагрузкой, соответствующей заявленной мощности, чтобы использовать то количество электрической энергии, которое фактически заявил на год.

Потребление электрической энергии, а главное мощности, в разные часы суток происходит неравномерно, имеются часы максимума и минимума потребления мощности. Графически отображенный режим потребления любого предприятия будет представлять кривую, в которой четко просматриваются часы максимума и минимума нагрузки. Если этот график суточной нагрузки совместить с графиком потребления энергосистемы, то можно обнаружить закономерность, что часы максимума системы совпадают с максимумами большинства предприятий, что, в свою очередь, отражается на режиме работы и составе генерирующего оборудования (совмещенный график). Чем больше неравномерность в нагрузке в часовом разрезе суток, тем дороже производство электроэнергии – больше тратится топлива, снижается эффективность использования генерирующего оборудования, что повышает стоимость электрической энергии.

Для эффективного использования генерирующего оборудования, снижения стоимости электрической энергии необходимо осуществлять мероприятия по выравниванию суточного часового графика потребления: для этого потребителю необходимо определить число часов использования заявленной мощности в году, которое определяется как производная от деления заявленного годового объема потребления на величину максимальной мощности. За величину максимальной мощности берется наибольшее значение потребления электрической мощности, потребляемой потребителем в рабочий день в часы максимальной нагрузки энергосистемы (05:00 ч – 22:00 ч). Определение величины максимальной мощности для определения числа часов использования мощности (ЧЧИМ) предпочтительно на основе интервальных приборов учета (наличие памяти). Эти приборы учета позволяют регистрировать значения потребляемой мощности, а значит, их использование приведет к точному определению значения ЧЧИМ, что позволит отнести потребителя к той или иной тарифной группе. Потребителю, заинтересованному в минимизации использования энергоресурсов, а тем самым и стоимости электрической энергии для собственного потребления, необходимо обратить внимание на рациональное построение суточного режима работы технологического оборудования [14].

С другой стороны ЧЧИМ – это условный показатель, показывающий время, которое потребитель фактически работает при нагрузке, соответствующей заявленной мощности, для использования того количества электрической энергии, которое фактически было им заявлено на год. ЧЧИМ – величина расчетная, для ее определения используется величина заявленной мощности [15].

Согласно п. 2 [16], «заявленная мощность» – это величина мощности, планируемой к использованию в предстоящем расчетном периоде регулирования, применяемая в целях установления тарифов на услуги по передаче электрической энергии и исчисляемая в мегаваттах. Оценить величину заявленной мощности можно в соответствии с порядком, указанным в п. 69 [11]. Определение расчетной мощности потребителей (исходя из заявленного объема электрической энергии), оплачивающих электроэнергию по одноставочным тарифам, осуществляется энергоснабжающей организацией и производится в следующей последовательности:

а) по каждой группе потребителей определяется состав представительной выборки:

- наименование предприятия (организации);
- вид выпускаемой продукции (для промышленных предприятий);
- коэффициент сменности (для промышленных предприятий);
- основные направления использования электроэнергии;
- суточный график электрической нагрузки в день годового максимума совмещенного графика нагрузки объединенной энергосистемы (ОЭС): если суточный график по какой-либо тарифной группе отсутствует, то организуются выборочные замеры нагрузки в часы утреннего и вечернего максимумов нагрузки ОЭС;
- годовой объем электропотребления;

б) по каждому потребителю в указанном суточном графике определяется нагрузка в отчетные часы утреннего и вечернего пика (максимума) ОЭС. В дальнейших расчетах используется один (утренний или вечерний) наибольший суммарный совмещенный максимум нагрузки рассматриваемой группы потребителей;

в) посредством деления суммарного годового электропотребления всех абонентов, вошедших в выборку, на их совмещенный максимум нагрузки определяется среднегодовое число часов использования максимума нагрузки рассматриваемой группы потребителей.

В целях выполнения указанных мероприятий необходимо произвести замеры нагрузки в режимные дни (снять суточный график нагрузки через каждый час). Режимные дни установлены [15]. По снятому графику определяется максимальная величина нагрузки потребителя в отчетные часы утреннего или вечернего максимумов нагрузки энергосистемы.

Согласно п. 47 [16], величина заявленной мощности определяется в отношении каждой точки присоединения.

Практическая реализация

Определение числа часов использования мощности может быть выполнено следующим образом:

$$\text{ЧЧИМ} = \frac{W_{\text{ТП}}}{P_{\phi}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{ТП}}$ – расход электрической энергии, определяемый по показаниям вводных счетчиков ТП за рассматриваемый период, кВт · ч (например, за месяц).

При определении значения фактической мощности P_{ϕ} предлагается использовать подход, приведенный ниже.

1. Определяется средний суммарный профиль потребления электрической энергии за рассматриваемый период (месяц) по всем интеллектуальным точкам учета (имеющим данные):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \quad (4)$$

где $\sum_{i=1}^n P_i$ – суммарный профиль по всем точкам учета (ИСУ); n – количество точек учета, шт.

2. Используя значения суммарного профиля за рассматриваемый период, определяется значение фактической мощности P_{ϕ} , применяя подход для определения фактической мощности двухставочных потребителей – юридических лиц.

3. Определяется среднее значение фактической мощности, приходящейся на одну точку учета:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P_{\phi}}{n}. \quad (5)$$

4. Определяется фактическая мощность потребителей «физических лиц», участвующих в выборке:

$$P_{\text{нас}} = P_{\text{ср}} n_{\text{нас}}, \quad (6)$$

где $n_{\text{нас}}$ – количество точек учета по группе потребителей «население», шт.

5. По формуле (3) определяется значение числа часов использования заявленной мощности.

Данные, полученные путем практической реализации приведенного алгоритма, представлены в таблице.

Расчет фактической мощности и числа часов использования мощности по выборке точек учета потребителей физических лиц, имеющих интеллектуальные системы учета электроэнергии, за январь–июнь 2019 года

Наименование	Единица измерения	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
Количество приборов учета выборки $n_{\text{нас}}$	шт.	2435	2470	3583	7684	16667	21873
Среднее значение мощности $P_{\text{ср}}$	кВт	0,66	0,63	0,54	0,3	0,35	0,42
Суммарный расход	кВт · ч	1388894	1225679	1179439	1259787	2885274	4842441
Фактическая мощность	кВт	2263	2184	1932	2296	5864	9126
ЧЧИМ	ч	614	561	610	549	492	531
ЧЧИМ 6 месяцев, среднее	ч	3352					

Учитывая современную тенденцию электроэнергетики, направленную на автоматизацию и интеллектуализацию сетей, в том числе за счет оснащения потребителей электрической энергии интеллектуальными приборами учета, процент выборки

для расчета ЧЧИМ будет возрастать, что приведет к повышению достоверности формирования информации об уровне заявленной мощности, а значит, в итоге к повышению эффективности формирования уровня тарифа.

Заключение

В результате проведенной работы выполнен анализ возможности использования данных, получаемых от интеллектуальных приборов учета в целях повышения эффективности процесса тарифообразования. Новизна полученных результатов заключается в не применяемом ранее подходе к использованию данных от ИСУ, а именно: использование для корректного определения числа часов максимума мощности, значение которой, в свою очередь, может быть использовано для корректного определения заявленной (либо фактической) мощности по группе потребителей «население». Учитывая, что указанная группа потребителей присоединена в основном к сетям 0,4 кВ, корректное определение величины мощности повышает эффективность формирования тарифной составляющей по сети 0,4 кВ. Для корректного определения величины мощности предложен алгоритм расчета числа часов использования мощности. Проведена практическая апробация приведенного алгоритма, получено значение числа часов использования мощности, которое в дальнейшем может быть использовано в целях расчета тарифа на передачу электрической энергии.

Литература

1. Сальников, В. П. Право и научно-технический прогресс: вместе или отдельно / В. П. Сальников, В. Б. Романовская, М. Н. Фомичев // Мир политики и социологии. – 2016. – № 2. – С. 175–193.
2. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб. – М. : Эксмо, 2016. – 138 с.
3. Техничко-экономическая оценка программы развития и оптимизации электроэнергетики Республики Саха (Якутия) / Н. С. Воложковская [и др.] // Современ. наука: актуал. проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право. – 2019. – № 6. – С. 14–18.
4. Основные положения концепции интеллектуальной энергетической системы с активно-адаптивной сетью. – Режим доступа: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/ies_aas.pdf. – Дата доступа: 02.03.2020.
5. Кузнецов, А. А. Интеллектуальные системы электроснабжения / А. А. Кузнецов // Инновации и инвестиции. – 2015. – № 12 (154). – С. 44–47.
6. Приходько, А. Д. Интеллектуальная система восстановления электроснабжения потребителей в послеаварийном режиме в распределительной сети / А. Д. Приходько, А. А. Волошин // Энергетика. Технологии будущего : сб. тез. докл. науч.-техн. конф. студентов. – М. : МЭИ, 2019. – С. 55–57.
7. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/. – Дата доступа: 20.12.2019.
8. Сигитова, М. А. Формирование интеллектуальной энергетической системы как фактор роста энергетического комплекса России / М. А. Сигитова // Современные проблемы экономического развития предприятий, отраслей, комплексов, территорий : материалы междунар. науч.-практ. конф., Хабаровск, 27 апр. 2017 г. – Хабаровск, 2017. – С. 349–352.

9. Листопад, С. В. Протокол гетерогенного мышления гибридной интеллектуальной многоагентной системы для решения проблемы восстановления распределительной электросети / С. В. Листопад, А. В. Колесников // Информатика и ее применения. – 2019. – Т. 13, вып. 2. – С. 76–82.
10. Ермолаева, Н. М. Математическое моделирование и оптимизация неоднородных систем электроснабжения с трансформаторными связями / Н. М. Ермолаева, Н. А. Кокорев, В. А. Щедрин // Вестн. Чуваш. ун-та. Электротехника и энергетика. – 2019. – № 1. – С. 23–30.
11. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ [url](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/). – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/. – Дата доступа: 01.01.2020.
12. Приказ ФСТ России от 06.08.2004 № 20-э/2 (ред. от 29.03.2018) «Об утверждении Методических указаний по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_50075/. – Дата доступа: 19.11.2019.
13. Фатхутдинов, Р. А. Инновационный менеджмент: по экономическим и техническим специальностям / Р. А. Фатхутдинов, И. Р. Фатхутдинов. – СПб. : Питер, 2013. – 448 с. : ил.
14. Грунтович, Н. В. Оценка и повышение энергетической эффективности трансформаторов при проведении энергетического обследования / Н. В. Грунтович, А. А. Капанский // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 2 (23). – С. 52–65.
15. Сычев, А. В. Оптимизация режимов работы электрооборудования и источников реактивной мощности для снижения затрат промышленных предприятий на электроэнергию : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / А. В. Сычев ; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2003. – 22 с.
16. Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 854 (ред. от 08.12.2018) «Об утверждении правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51028/. – Дата доступа: 20.01.2020.
17. Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (ред. от 19.04.2019, с изм. от 25.04.2019) «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51030/. – Дата доступа: 20.01.2020.

Получено 06.03.2020 г.