

Корректировка стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от ее качества

Бородин М. В., инж., Виноградов А. В., канд. техн. наук

Орловский государственный аграрный университет

Обоснована актуальность определения стоимости электроэнергии в зависимости от ее качества. Выполнена оценка качества электроэнергии (КЭ) в 100 точках балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации и в 100 точках общего присоединения (ТОП) в энергосистеме Орловской области. Предложена методика корректировки стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от ее качества.

Ключевые слова : электроэнергия, стоимость, качество электроэнергии.

Необходимость поддержания нормируемого КЭ энергии становится в настоящее время все более актуальной задачей в связи с применением современного электрического оборудования и систем автоматизации, чувствительных к отклонению каждого показателя качества электроэнергии (ПКЭ). Несоответствие КЭ принятым нормам приводит к экономическому ущербу (из-за недоотпуска продукции, снижения производительности предприятий, простоя оборудования, увеличения электрических потерь) и другим негативным последствиям.

Для оценки КЭ на соответствие требованиям ГОСТ 13109–97 в Орловской области были проведены измерения в 100 точках балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации и в 100 точках общего присоединения (ТОП) в зимнее и летнее время. Их осуществляли с помощью измерителей ПКЭ “Ресурс-UF2” № 2785, № 2747, № 3279 в течение суток в соответствии с ГОСТ Р 53333–2008 “Контроль качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения”. Необходимость измерений ПКЭ в двух точках обусловлена тем, что режимы работы в ТОП отличаются от режимов работы потребителей, поскольку каждый из них вносит свой фактический вклад в изменения ПКЭ в ТОП. Контрольные точки, в которых измеряли

ПКЭ, показаны на рис. 1, где QS обозначает автоматический выключатель, T — трансформатор 10/0,4 кВ, M — точка общего присоединения, $A1-A3$ — граница балансового разграничения потребителя и энергосистемы.

Результаты измерений КЭ в ТОП и точках балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей компании, на основе которых выполнена оценка КЭ, приведены в табл. 1. Они свидетельствуют о том, что в 87 ТОП и 88 точках балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации в нормальном режиме ПКЭ не соответствовали требованиям ГОСТ 13109–97. Из них в 19 ТОП искажения в КЭ вносила энергоснабжающая организация, в 28 — потребитель, а в 40 — и потребитель, и энергоснабжающая организация. На границе балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации в 9 точках виновником искажения КЭ была энергоснабжающая организация, в 19 — потребитель, а в 60 — и потребитель, и энергоснабжающая организация. В большинстве точек, в которых ПКЭ отклонялись от нормативных показателей, это происходило вследствие:

неравномерного распределения нагрузки по фазам;

изменения значения генерируемой и (или) потребляемой мощности в энергосистеме;



Рис. 1

Таблица 1

Показатель качества электроэнергии	Количество контрольных точек балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации, в которых КЭ		Количество контрольных точек в ТОП, в которых КЭ	
	соответствует ГОСТ13109–97	не соответствует ГОСТ13109–97	соответствует ГОСТ13109–97	не соответствует ГОСТ13109–97
Установившееся отклонение напряжения	50	50	50	50
Размах изменения напряжения	33	67	48	62
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	100	0	100	0
Коэффициент <i>n</i> -й гармонической составляющей напряжения	47	53	47	53
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности	100	0	100	0
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности	42	58	69	41
Отклонение частоты	100	0	98	2
Длительность провала напряжения	100	0	100	0
Импульсное напряжение	100	0	100	0
Коэффициент временного перенапряжения	100	0	100	0
Доза фликера	80	20	82	18

применения оборудования, искажающего КЭ;

изношенности основного сетевого оборудования;

значительной (выше нормативной) протяженности электрических сетей;

отсутствия заинтересованности сетевых организаций (иногда и потребителей) в поддержке и контроле КЭ.

Все эти причины обусловлены замедленными темпами восстановления электросетевого хозяйства, недостаточностью финансирования инвестиционных программ энергоснабжающих компаний, отсутствием эффективного экономического механизма стимулирования как потребителей, так и энергоснабжающей организации в поддержании КЭ на уровне, принятом в нормативных документах.

С вступлением в действие ГОСТ Р 54149–2010 требования к КЭ изменились. Оценим результаты полученных измерений КЭ в ТОП и точках балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей орга-

низации применительно к установленным в нем новым значениям ПКЭ, оставив прежним интервал времени испытаний. Результаты оценки КЭ представлены в табл. 2. Как видно, в 81 точке балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации и 70 ТОП в нормальном режиме ПКЭ не соответствовали требованиям ГОСТ Р 54149–2010. Наиболее вероятными виновниками искажения КЭ оказались: в 2 ТОП — энергоснабжающая организация, в 66 — потребитель и в 2 — и потребитель, и энергоснабжающая организация. В 2 точках балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации искажения в КЭ вносила энергоснабжающая организация, в 67 — потребитель и в 12 — и потребитель, и энергоснабжающая организация.

Следует отметить, что в рассматриваемом ГОСТ увеличены допустимые интервалы и длительность отклонения ПКЭ, в связи с чем снижается уровень ответственности энергоснабжающей организации за КЭ, что при-

Таблица 2

Показатель качества электроэнергии	Количество контрольных точек балансового разграничения потребителя и энергоснабжающей организации, в которых КЭ		Количество контрольных точек в ТОП, в которых КЭ	
	соответствует ГОСТ Р 54149–2010	не соответствует ГОСТ Р 54149–2010	соответствует ГОСТ Р 54149–2010	не соответствует ГОСТ Р 54149–2010
Установившееся отклонение напряжения	95	5	96	4
Размах изменения напряжения	89	11	96	4
Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения	100	0	100	0
Коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения	47	53	47	53
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности	100	0	100	0
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности	42	58	69	41
Отклонение частоты	100	0	98	2
Длительность провала напряжения	100	0	100	0
Импульсное напряжение	100	0	100	0
Коэффициент временного перенапряжения	100	0	100	0
Доза фликера	80	20	82	18

ведет к снижению уровня КЭ в системах электроснабжения и тем самым — к уменьшению энергоэффективности как потребителей, так и энергоснабжающих организаций. В свою очередь это повлечет за собой негативные изменения в процессах проектирования и эксплуатации (выбор заниженного сечения проводов линий электропередачи, рост потерь электроэнергии). В связи с переходом на новый стандарт электротехнические лаборатории должны будут приобретать новые приборы для измерения КЭ, дополнительно обучать специалистов, на что потребуются время и значительные средства.

Для поддержания КЭ на уровне, принятом в нормативных документах, необходимы дополнительные капитальные вложения. Однако при отсутствии эффективной и утвержденной методики корректировки стоимости электроэнергии в зависимости от ее качества и технических средств, позволяющих корректировать стоимость электроэнергии в режиме on-line, обе стороны идут на это неохотно.

Существовавшая ранее система скидок и надбавок не гарантировала постоянного и повсеместного обеспечения требуемого уровня КЭ, так как применялась эпизодически и на ограниченном числе объектов. Поэтому проблема обеспечения требуемого КЭ в большей мере обоснована отсутствием эффективной методики корректировки стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от ее качества и технических способов и средств реализации этой методики.

В разработанной авторами статьи методике корректировки стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от качества предлагается выполнять ее на границе балансового разграничения потребителя и энергосистемы. Соответствующая функция должна быть встроена в счетчик электроэнергии [1]. Данная методика является технико-экономическим механизмом стимулирования как потребителей, так и поставщиков электроэнергии в части поддержания КЭ. Экономическая часть механизма заключается в том, что если

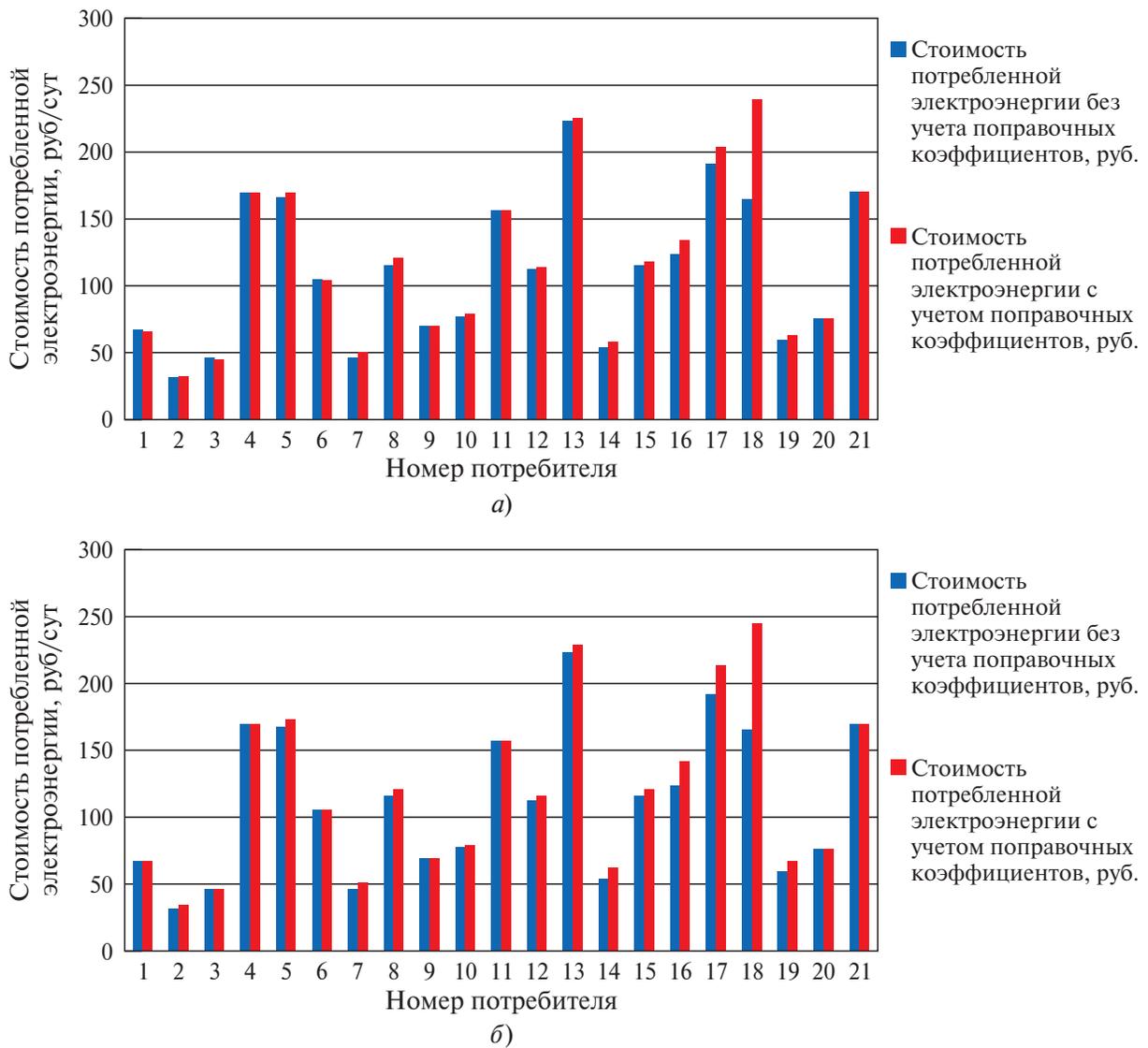


Рис. 2

искажения в КЭ вносит потребитель, то он будет вынужден платить за электрическую энергию по более высокой цене, если же получаемая им электроэнергия не соответствует нормативным документам по вине энергоснабжающей организации, потребитель платит меньше.

Согласно методике стоимость потребленной электроэнергии с учетом корректировки предлагается определять по формуле

$$C_{п.ээ} = T_{исх} K_{п} W_{п.ээ}, \quad (1)$$

где $T_{исх}$ — исходный тариф на электроэнергию; $K_{п}$ — поправочный коэффициент; $W_{п.ээ}$ — количество потребленной электроэнергии.

Если искажения в качество электроэнергии одновременно вносят и потребитель, и энергоснабжающая организация, то:

$$C_{п.ээ} = T_{исх} \left(\frac{K_{п.эс} + K_{п.п}}{2} \right) W_{п.ээ}, \quad (2)$$

где $K_{п.эс}$ — поправочный коэффициент для энергоснабжающей организации; $K_{п.п}$ — поправочный коэффициент для потребителя.

В случае отклонения ПКЭ в течение определенного времени от значения, принятого в нормативных документах, и последующего возврата в установленные там пределы

$$C_{п.ээ} = T_{исх} \int_{t_0}^{t_n} K_{пl} P dt, \quad (3)$$

где

$$K_{пl} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i + \sum_{j=1}^m K_j}{n+m}; \quad (4)$$

K_{ni} — n -й поправочный коэффициент для определенного уровня отклонения ПКЭ в определенный момент времени и определенного ПКЭ; P — потребленная мощность в определенный момент времени; $\sum_{i=1}^n K_i$ и $\sum_{j=1}^m K_j$ — сум-

мы поправочных коэффициентов для энерго-снабжающей организации и потребителя; n и m — количество значений K_i и K_j .

Таким образом, данная методика позволяет корректировать стоимость потребленной электрической энергии в зависимости от ее качества (для всех показателей КЭ разработаны поправочные коэффициенты [2]) и от того, кто является виновником искажения. Для его определения следует выявить фактический вклад в изменение ПКЭ как потребителем, так и энергоснабжающей организации.

Анализ известных подходов к определению фактического вклада дал возможность авторам [3–6] разработать метод его вычисления по результатам измерения. Достоинство его в том, что он позволяет учесть фактический эффект суммирования помех и оценить вклад, вносимый в изменения КЭ как потребителем, так и энергоснабжающей организацией, по результатам измерений в одной точке. Этот метод и будет применяться при определении виновника искажения качества электроэнергии.

Рассмотрим пример реализации предложенной авторами данной статьи методики к статистическим исследованиям КЭ, проведенным в Орловской области. По результатам испытаний рассчитана стоимость потребленной за сутки электроэнергии при $T_{исх} = 2,7$ руб. за 1 кВт·ч без учета и с учетом поправочных коэффициентов для всех измерений. Стоимость электрической энергии определяли для значений ПКЭ, предусмотренных ГОСТ 13109–97 и ГОСТ Р 54149–2010. Были построены гистограммы (для 21 точки), показанные соответственно на рис. 2, а и б.

В соответствии с результатами расчетов стоимость потребленной за сутки электроэнергии в 100 Топ без учета поправочных коэффициентов составила 703,8 тыс. руб., с их учетом — 788,5 тыс. руб., из чего следует, что дополнительная оплата за электроэнергию равна 84,7 тыс. руб. В 100 точках балансового разграничения потребителя и энергосистемы стоимость потребленной за сутки электроэнергии без учета и с учетом поправочных коэффициентов составила соответственно 13,9 и 14,8 тыс. руб., при этом допол-

нительная оплата за электроэнергию равна 0,9 тыс. руб.

Выводы

1. Согласно проведенным статистическим исследованиям более чем у 90 % потребителей КЭ выходит за пределы, предусмотренные требованиями нормативных документов. Поэтому актуальным является создание механизма стимулирования потребителей и энергоснабжающих организаций в части поддержания КЭ.

2. Предложенная методика корректировки стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от ее качества позволяет реализовать экономический механизм стимулирования как потребителей, так и энергоснабжающих организаций в части поддержания КЭ на нормативном уровне. Техническая реализация методики осуществляется с использованием счетчиков электроэнергии, имеющих блок контроля ПКЭ.

3. Оценка стоимости электроэнергии с учетом методики показывает, что в большинстве случаев она возрастает для потребителей. С учетом применения ГОСТ Р 54149–2010 доля случаев, в которых дополнительные затраты несет энергоснабжающая организация, значительно снижается.

Список литературы

1. **Виноградов А. В., Бородин М. В.** Экспертная оценка поправочных коэффициентов к стоимости потребленной электроэнергии в зависимости от ее качества. — Липецк: Вести высших учебных заведений Черноземья, 2012, № 3.
2. **Виноградов А. В., Бородин М. В.** Способ коммерческого учета электрической энергии в зависимости от показателей ее качества. — В кн.: Сборник материалов по результатам конференции, прошедшей в рамках “Недели Науки – 2010”. Орел: Изд-во “Орел”, 2010.
3. **Управление качеством электроэнергии** / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов и др. / Под ред. И. В. Шарова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
4. **Зыкин Ф. А.** Определение степени участия нагрузок в снижении качества электрической энергии. — Электричество, 1992, № 11.
5. **Майер В. Я., Зения И.** Методика определения долевых вкладов потребителя и энергоснабжающей организации в ухудшение качества электроэнергии. — Электричество, 1994, № 9.
6. **Соколов В. С.** Идентификация источников искажений качества энергии электрических сетей. — Технологии электромагнитной совместимости, 2003, № 1.

Maksimka-borodin@yandex.ru