

В. Ю. ВУКОЛОВ

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ РАСЧЕТА НОРМАТИВОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

***Ключевые слова:** электроэнергия, экстраполяция, субабоненты, силовые трансформаторы, эталонирование.*

***Аннотация.** В результате реформирования электроэнергетики подсистема передачи и распределения электрической энергии была разделена между большим количеством экономически обособленных субъектов. Помимо крупных субъектов (МЭС, МРСК), возникло множество территориальных сетевых организаций (ТСО), на балансе или в аренде у которых, находятся электроустановки 220, 110, 35, 10, 6, 0,4 кВ. Новая экономическая ситуация в этом секторе электроэнергетики потребовала расчета и обоснования величины технологических потерь электроэнергии (ТПЭ) при ее передаче по сетям каждого субъекта.*

Обоснованная величина потерь, называемая нормативом технологических потерь электроэнергии при ее передаче – (НТПЭ), как одна из составляющих транспортного тарифа, подлежит возмещению потребителями электроэнергии.

В настоящее время порядок расчета НТПЭ и отдельных составляющих потерь регламентирован в [1]. Некоторые разъяснения к расчету дополнительно изложены в [2]. Практика применения этих документов при расчете и экспертизе НТПЭ выявила ряд проблемных вопросов, а также некоторые возможные направления дальнейшего совершенствования расчета НТПЭ.

Проблема оценки потерь при объективной неполноте и недостоверности исходной информации. Качество и количество исходной информации для расчета НТПЭ, как правило, весьма недостаточные [3]. Наиболее распространёнными причинами этого следует считать:

1) включение в состав сетей ТСО бывших бесхозных сетей. В этом случае информация о сети либо отсутствует вовсе, либо име-

ются отдельные интегральные показатели сети (суммарная длина ЛЭП, количество силовых трансформаторов и т.д.);

2) включение в состав сетей ТСО пусковых объектов нового строительства или реконструкции;

3) наличие в собственности (аренде) ТСО множества мелких отдельных несвязанных друг с другом участков – кабелей, проводов, ТП и РП – «вкрапленных» в чужие сети. Установка множества узлов учета здесь экономически нецелесообразна, а часто технически невозможна. Радикальное устранение этой ситуации возможно на основе взаимовыгодного перераспределения сетей между ТСО.

Расчет потерь методами, регламентированными в [1], в такой ситуации невозможен, в силу чего величина НТПЭ необоснованно занижается. Необходима разработка новых подходов к оценке потерь электроэнергии в таких сетях, которые позволяют получить их нижнюю оценку и не приводить к завышению уровня потерь [4].

В качестве новых подходов предлагаются:

1) экстраполяция – полный расчет части сети в соответствии с требованиями [1] и распространение полученных результатов на оставшуюся часть сети, для которой информация полностью или частично отсутствует.

2) нормирование (эталонирование) – применение минимальных нормативов потерь для сети (или конкретного оборудования) определенного типа (например, городская или сельская сеть, КЛ или ВЛ и т.д.).

Применение последнего подхода возможно в любых ситуациях.

Предлагаемые способы должны учитывать понижающий коэффициент, позволяющий исключить умышленный неучет слабо загруженных участков сети при расчете НТПЭ. Поскольку нормирование является более «грубым» подходом, величина понижающего коэффициента должна быть выше.

Экстраполяция отдельных составляющих потерь должна производиться по разным параметрам. Например, нагрузочные потери в ЛЭП – по протяженности, сечению участков и проценту потерь; потери в изоляции КЛ – по протяженности КЛ.

Для ТСО должно быть установлено минимальное количество сетевых элементов, определяющих объем сети, на базе которого возможна экстраполяция.

Особенности расчета нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по сетям промышленных предприятий. В результате реформирования электроэнергетики возникло множество

ТСО, на балансе, или в аренде у которых находятся электрические сети 220 – 0,4 кВ.

Величина потеря, возникающая при передаче электроэнергии потребителям ТСО, может быть включена ей в свой транспортный тариф при условии, что данная величина потерь является технически обоснованной. Обоснованными потерями является норматив технологических потерь электроэнергии при ее передаче (НТПЭ).

Рассмотрим проблему формирования НТПЭ для промышленных предприятий, оказывающих, помимо основных видов деятельности, услуги по передаче электроэнергии сторонним потребителям (субабонентам).

В соответствии с п. 18 [1] нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях ТСО, для которых передача электроэнергии не является основным видом деятельности (далее – предприятия), оказывающих услуги по передаче электроэнергии потребителям (субабонентам), подключенным к электрической сети предприятия, выполняется в соответствии с общими принципами нормирования технологических потерь электроэнергии. Причем, согласно п. 21 [1] оборудование электрической сети предприятия, используемое только для собственного потребления электроэнергии, из расчета исключается. На практике применение п. 21 приводит к занижению величины НТПЭ для предприятия и к неполному возмещению издержек на передачу электроэнергии.

Рассмотрим причины занижения НТПЭ на примере ТСО Нижегородской области (рис. 1). Пусть предприятие имеет электрическую сеть, состоящую из ГПП (сеть ВН) и сети 10 кВ (сеть СН2). Часть сети СН2 используется только для собственного потребления предприятия и должна быть исключена из расчета НТПЭ в соответствии с п. 21 [1]. При этом общий ТПЭ для предприятия, будет определяться по формуле 6 [1]:

$$\Delta W_{\text{НТПЭ}} \% = \frac{\Delta W_{\text{ТПЭ}}}{W_{\text{ОС}}} \cdot 100 \%;$$

$$\Delta W_{\text{ТПЭ}} = \Delta W_{\text{ТПЭ ВН}} + \Delta W_{\text{ТПЭ СН2 СП+СА}} =$$

$$= \Delta W_{\text{ТПЭ ВН}} + (\Delta W_{\text{ТПЭ СН2}} - \Delta W_{\text{ТПЭ СН2 СП}})$$

где $\Delta W_{\text{ТПЭ}}$ – технологические потери электроэнергии определяются только для выделенного участка сети, участвующего в процессе передачи электроэнергии субабонентам и на собственное потребление (рис. 1); ВН, СН2, СП+СА – индексы технологических потерь

в сетях ВН, СН2, сетях предприятия и субабонентов; W_{OC} – отпуск электроэнергии в сеть промышленного предприятия.

Далее по [1] рассчитывается НТПЭ для субабонентов $\square W_{НТПЭ.СБ}$, однако они почти не меняют результата (1) и $\square W_{НТПЭ.СБ} \% = \square W_{НТПЭ} \%$.

Отпуск в сеть предприятия W_{OC} никак не зависит от точек подключения субабонентов к сети СН2 предприятия и, поэтому, содержит в себе всё собственное потребление предприятия, в том числе и в исключенной из расчета части сети. При этом технологические потери $\Delta W_{НТПЭ}$ зависят от мест подключения субабонентов и уменьшаются на величину $\Delta W_{НТПЭ.СН2.СП}$ – потерь в исключенной части сети (2).

В результате, величина ТПЭ, рассчитываемая по (1), занижается, и предприятие получает неполную компенсацию реальных издержек на деятельность по передаче электроэнергии.

Предлагаемый подход к расчету НТПЭ для сетей промышленных предприятий содержит три этапа.

Этап 1. Оборудование электрической сети предприятия необходимо разделить на три части:

I – оборудование, используемое только для собственного потребления электроэнергии; II – оборудование для собственного потребления и для передачи электроэнергии субабонентам; III – оборудование только для передачи электроэнергии субабонентам.

Данное деление является дополнением к уже существующим статьям баланса электроэнергии [1].

Этап 2. С учетом выделенных частей составляется баланс для электрической сети предприятия по каждому уровню напряжения. Это требует введения дополнительных параметров баланса электроэнергии в нормативные таблицы 2 Методики [1]. Такими параметрами являются: расчетный отпуск в сеть $W_{РОВС}$, технологические потери в сети $\square W$, расчетный отпуск из сети $W_{РОИС}$ как в целом по сети, так и дифференцированно а) по сети одного напряжения, б) в I, II, III части сети одного напряжения, в) на собственное потребление и на субабонентов.

При этом в оборудовании, относящемся ко II части сети, предлагается распределять потери электроэнергии, приходящиеся на долю субабонентов и на собственное потребление, делением суммарных потерь во II части сети прямо пропорционально объему потребления соответствующих потребителей II части сети, то есть также как и в существующем подходе.

Этап 3. Определяются абсолютные технологические потери, приходящиеся на субабонентов в целом по сети предприятия $\square W_{СБ}$, путем суммирования соответствующих потерь по сетям разного уровня

напряжения. Далее определяется общий отпуск в сеть предприятия $W_{OC.CB}$, приходящийся на субабонентов, путем суммирования соответствующих отпусков в сеть по сетям разного уровня напряжения без учета трансформации. Относительные потери на субабонентов в целом по сети предприятия определяются как:

$$\Delta W_{HTПЭ CA\%} = \frac{\Delta W_{CA}}{W_{OC CA}} \cdot 100\%$$

Необходимо добавить, что в предлагаемом подходе $\square W_{CB.\%}$ могут быть больше или меньше общих технологических потерь и не зависят от потерь в части I (оборудование, используемое только для собственного потребления электроэнергии).

В качестве примера для сети предприятия (рис. 1) были проведены расчеты при отпуске в сеть $W_{OC} = 100$ тыс. кВт.ч, технологических потерях в сети ВН $\square W_{TПЭ.ВН} = 2$ тыс. кВт.ч, в сети СН2 $\square W_{TПЭ.СН2} = 12$ тыс. кВт.ч (из них 2 тыс.кВт.ч в I части сети, 7 тыс.кВт.ч во II части сети, 3 тыс.кВт.ч в III части сети), переданном объеме электроэнергии на собственное потребление 35 тыс. кВт.ч (из них 20 тыс.кВт.ч в I части сети, 15 тыс.кВт.ч во II части сети), на субабонентов 51 тыс. кВт.ч (из них 25 тыс. кВт.ч во II части сети, 26 тыс. кВт.ч в III части сети).

Сравнение результатов расчетов по определению ТПЭ на СА с использованием предлагаемого подхода и по действующей методике [1] приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Определение потерь электроэнергии на субабонентов

Параметр	Существующий подход [1]		Предлагаемый подход:	
	у.е.	%	у.е.	%
Отпуск в сеть W_{OC}	100,0		100,0	
Отпуск в сеть на собственное потребление	–		40,434	
Отпуск в сеть на субабонентов $W_{OC.CA}$	57,955		59,566	
ТПЭ, всего	14,0	14,00 %	14,0	14,00 %
ТПЭ на собственное потребление ПП			5,434	13,44 %

Продолжение таблицы 1

ТПЭ и НТПЭ на СА □ $W_{\text{ТПЭ.СА}}$	6,955	12,00 %	8,566	14,38 %
Объем переданной электроэнергии	88,0		86,0	
Объем переданной электроэнергии на собственное потребление	37,0		35,0	
Объем переданной электроэнергии для субабонентов	51,0		51,0	

Результаты показали, что по существующему подходу НТПЭ на субабонентов □ $W_{\text{ТПЭ.СБ}} = 6,955$ тыс.кВт·ч или 12,0% к отпуску в сеть на субабонентов $W_{\text{ОС.СБ}} = 57,955$ тыс. кВт·ч., в то время как по предложенному подходу □ $W_{\text{ТПЭ.СБ}} = 8,566$ тыс. кВт·ч или 14,38% к отпуску в сеть на субабонентов $W_{\text{ОС.СБ}} = 59,566$ тыс. кВт·ч.

Коррекция потерь холостого хода с учетом реального напряжения на трансформаторах. В настоящее время расчет потерь холостого хода силовых трансформаторов (автотрансформаторов) предлагается [1] определять по выражению:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^m T_{pi} \left(\frac{U_i}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2, \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

В зависимости от типа устройства, регулирующего коэффициент трансформации оборудования, учет влияния уровня напряжения в точке подключения трансформатора на величину потерь холостого хода должен быть либо скорректирован с учетом положения регулятора, либо исключен [5].

В отечественном трансформаторостроении, начиная с мощности в несколько кВ·А силовые трансформаторы снабжаются устройствами регулирования вторичного напряжения типов ПБВ и РПН. За счет использования этих устройств при изменении напряжения в узле подключения трансформатора в пределах регулировочного диапазона и правильном выборе уставки переключателя напряжение на вторичной обмотке может оставаться номинальным. Сохранение постоянной величины напряжения на вторичной обмотке, не имеющей регулировочных отпаяк, возможно лишь при неизменной величине напряженности магнитного поля, следствием чего является сохранение постоян-

ства общих потерь в стали (потерь холостого хода) которые определяются как сумма потерь от гистерезиса и от вихревых токов [6]. Таким образом, устройства регулирования напряжения оказывают стабилизирующее влияние на величину потерь в стали.

Практический подход к применению описанных выше зависимостей состоит в следующем:

при наличии ПБВ – положение переключателя меняется не чаще двух раз в год – сезонное регулирование напряжения на трансформаторах с ПБВ – легко поддается учету и контролю;

при наличии РПН – положение переключателя в соответствии с конструктивными возможностями РПН, должно позволять осуществлять встречное регулирование напряжения, обеспечивая номинальный режим работы магнитной системы трансформатора.

В связи с этим алгоритм расчета потерь на холостой ход (ХХ) силовых трансформаторов должен содержать два расчетных выражения:

1) Для трансформаторов без РПН необходимо учитывать влияние напряжения в узле подключения трансформатора и положение регулятора на величину потерь ХХ:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^m T_{pi} \left[\frac{U_i}{U_{ном} \left(1 \pm \frac{\Delta U_i \%}{100} \right)} \right]^2 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где T_{pi} – число часов работы трансформатора в i -м режиме, ч;

U_i – напряжение на высшей стороне трансформатора в i -м режиме, кВ; $U_{ном}$ – номинальное напряжение высшей обмотки трансформатора, кВ; $\Delta U_i \%$ – относительное значение напряжения, прибавляемого (вычитаемого) к номинальному напряжению обмотки ВН в i -м режиме, %.

2) Для трансформаторов с РПН необходимо учитывать независимость потерь ХХ от подведенного напряжения ВН, поскольку обязанность сетевой организации полностью использовать технические возможности эксплуатируемой техники:

$$\Delta W_x = \Delta P_x T_p, \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где T_p – число часов работы трансформатора в базовом режиме, ч.

Выражение (5) рекомендуется применять для расчетов потерь всех распределительных трансформаторов с высшим напряжением 6 – 10 кВ.

Этот подход к учету регулирующих устройств снимает вопросы о влиянии средств регулирования напряжения на автотрансформаторах, в принципе не имеющих устройств ПБВ. Наличие ПБВ на обмотке СН трехобмоточных трансформаторов, дополняющего РПН на стороне ВН, также не должно приниматься во внимание. Это устройство реализует смещение уровня напряжения на выводах обмотки СН относительно уровня напряжения обмотки НН и никак не связано с изменением режима работы магнитной системы трансформатора, полностью определяемого работой РПН на обмотке ВН.

Заключение

Практика применения нормативных документов, регламентирующих расчет технологических потерь электрической энергии выявила ряд проблемных вопросов, которые требуют коррекции:

1. Необходимо дополнение Методики опробованными на практике методами оценки потерь электроэнергии в сетях ТСО при объективном отсутствии достаточного качества и количества информации (в случае бывших бесхозных сетей, сетей, состоящих из мелких отдельных участков, нового строительства и реконструкции) как в базовом, так и в расчетном периоде.

2. Целесообразно внедрение в практику расчетов подхода, позволяющего объективно и более обоснованно разделять потери электроэнергии в электрической сети предприятия для установления НТПЭ для субабонентов при расчете тарифа на услуги передачи электроэнергии субабонентам и учета в себестоимости выпускаемой продукции или стоимости оказываемых услуг, не связанных с транспортом электроэнергии.

3. В результате анализа механизмов формирования потерь холодового хода в силовых трансформаторах предложены расчетные выражения, позволяющие учесть влияние устройств регулирования напряжения в зависимости от конструктивных особенностей регуляторов и специфики их использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электриче-

ским сетям, утвержденной приказом Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 326.

2. Информационное письмо (разъяснения) Минэнерго РФ от «21» сентября 2009 г. «О повышении качества подготовки расчетов и обоснований нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» (Рекомендации экспертным организациям, выполняющим экспертизу расчетов и обоснований норматива технологических потерь электроэнергии).

3. Вуколов В. Ю., Папков Б. В. Особенности расчета нормативов потерь электроэнергии для электросетевых организаций // Сб. докладов III международной научно-технической конференции «Энергосистема: управление, конкуренция, образование» В 2 т. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008. Т. 2. С. 187–190.

4. Папков Б. В., Вуколов В. Ю. Особенности расчета нормативов потерь электроэнергии для территориальных сетевых организаций // Промышленная энергетика, № 1, 2010. С. 33–37.

5. Папков Б. В., Вуколов В. Ю. Вопросы повышения эффективности функционирования территориальных сетевых организаций // Промышленная энергетика, № 5, 2012. С. 18–21.

6. Пиотровский Л. М. Электрические машины. Учебник для техникумов. Изд. 7-е, стереотипное. Л., «Энергия», 1974. 504с.

ABOUT PERFECTION OF CALCULATION OF SPECIFICATIONS OF TECHNOLOGICAL LOSSES OF THE ELECTRIC POWER

***Keywords:** the electric power, extrapolation, subscribers, power transformers, calibration.*

***The summary.** As a result of reforming electric power industry the subsystem of transfer and distribution of electric energy has been divided between lots of economically isolated subjects. Besides large subjects (MES, MRSK), there was a set of the territorial network organizations (TSO), on balance or in rent which, have electroinstallations of about 220, 110, 35, 10, 6, 0,4 кVt. The new economic situation in this sector of electric power industry has demanded calculation and a background of size of technological losses of the electric power (TPE) by its transfer on networks of each subject. The proved size of losses named by the specification of technological losses of the electric power by its transfer – (NTPE) as one of*

components of the transport tariff, is a subject to compensation by consumers of the electric power.

ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ ВУКОЛОВ – старший преподаватель кафедры электрификация и автоматизация, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, (wucolov@mail.ru).

VLADIMIR VUKOLOV – senior lecturer of electrification and automation-zation of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, (wucolov@mail.ru).
