

УДК 621.311

## О ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ОТПУСКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЯМ

А.А. ШУЛЬПИН

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», Иваново, Россия  
E-mail: aash111@yandex.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Точность существующей системы учета и оперативного контроля за электропотреблением на предприятиях зависит не только от погрешностей отдельных составляющих измерительных комплексов, но и от ошибок при регистрации и обработке показаний счетчиков электрической энергии.

**Материалы и методы:** Проведен анализ точности регистрации отпуска электрической энергии промышленным предприятиям с использованием измерительных комплексов. Расчеты выполнены по количественной оценке влияния ошибок на точность учета электрической энергии при регистрации и по показаниям счетчиков электрической энергии.

**Результат:** Разработаны рекомендации по обеспечению достоверного учета и оперативного контроля за электропотреблением с учетом ошибок при регистрации и обработке показаний счетчиков электрической энергии.

**Вывод:** Анализ систем учета электроэнергии на предприятиях показывает, что в ряде случаев их погрешность превышает границы, указанные в договорах энергоснабжения. Разработанные рекомендации по обеспечению достоверного учета и оперативного контроля за электропотреблением позволяют повысить точность регистрации отпуска электроэнергии промышленным предприятиям.

**Ключевые слова:** учет электроэнергии, электропотребление, погрешность и точность измерения, измерительный комплекс.

## ON ACCURACY OF RECORDING OF ELECTRIC ENERGY RELEASE TO INDUSTRIAL ENTERPRISES

A.A. SHUL'PIN

Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russia  
E-mail: aash111@yandex.ru

### Abstract

**Background:** The accuracy of recording and current control of power consumption of the enterprises depends not only on the errors of the separate components of measurement systems, but also on the errors of recording and processing of meter readings of electricity.

**Materials and Methods:** The analysis of the recording accuracy of power industrial release to industrial enterprises with measuring units is conducted. Calculations to quantify the effect of errors in the registration and processing of meter readings of electricity on the accuracy of the recording are conducted.

**Results:** The recommendations to ensure reliable recording and current control over power consumption, taking into account errors in the registration and processing of meter reading of electricity are developed.

**Conclusion:** Analysis of record keeping systems for power plants shows that in some cases, their inaccuracy is greater than specified in the contracts of supply. The developed recommendations to ensure reliable recording and current control over the power consumption can improve the accuracy of recording of electricity supply industries.

**Key words:** electricity record, power consumption, error, accuracy, measurement units.

Традиционно в договорах энергоснабжения на пользование электроэнергией между промышленными предприятиями и энергоснабжающими организациями оговариваются условия потребления мощности и электроэнергии, а также штрафные санкции за превышение заявленных показателей электропотребления.

При превышении потребления электроэнергии свыше 2 % договорных величин потребления энергии предприятия оплачивают количество электроэнергии, определяемое как разность фактического значения электроэнергии и дого-

ворной величины за отчетный период, по повышенному тарифу. За недоиспользование электроэнергии более чем на 5 % от договорной величины предприятию начисляется неустойка в размере себестоимости электроэнергии за вычетом топливной составляющей.

При превышении потребления мощности свыше договорной величины в часы максимумов нагрузки энергосистемы предприятия оплачивают количество мощности, определяемое как разность фактической нагрузки предприятия в часы контроля максимумов мощности энергосистемы и договорной величины в

отчетный период, по повышенному тарифу. При потреблении мощности ниже договорной величины в часы максимумов нагрузки энергосистемы предприятие оплачивает величину мощности, указанную в договоре.

С 1 ноября 2003 г. энергоснабжающие организации, осуществляющие покупку электрической энергии на оптовом рынке для нужд потребителей, функционируют в порядке и на условиях, определенных «Правилами оптового рынка электрической энергии (мощности) переходного периода» [1]. Согласно этому документу, одним из основных условий работы энергоснабжающих организаций является прогнозирование почасового потребления электроэнергии для покупки ее на оптовом рынке электроэнергии. Ошибки в прогнозировании приводят к отклонениям фактического потребления от планового, и энергоснабжающие организации вынуждены нести значительные финансовые издержки по их оплате.

В целях обеспечения точного прогнозирования электропотребления энергоснабжающие организации первоначально на условиях партнерского сотрудничества, а затем путем заключения дополнительных соглашений к договору электроснабжения собирают с предприятий данные по ожидаемому (прогнозируемому) потреблению мощности по месяцам текущего года с разбивкой по суткам и по часам с указанием рабочих, выходных и праздничных дней. Очевидно, что следующим шагом энергоснабжающих организаций будет включение в договоры электроснабжения предприятий прогнозирования почасовой потребности в электроэнергии с наложением штрафных санкций за отклонения фактического потребления от планового.

Избежать штрафных санкций предприятие сможет только с помощью целенаправленного регулирования (четкого прогнозирования) режимов электропотребления, выгодного энергоснабжающей организации, так как целенаправленное регулирование (четкое прогнозирование) электропотребления предприятий приводит к уменьшению ошибки прогнозирования энергоснабжающей организации и, следовательно, к снижению платежей энергоснабжающей организации за потребленную с оптового рынка электроэнергию и мощность. В том случае, если предприятия не будут готовы к новой системе взаимоотношений с энергоснабжающими организациями, вступление ее в силу приведет к огромному увеличению платежей, но не за электропотребление, а за несоблюдение режима электропотребления.

В этой ситуации налаживание системы учета электропотребления, как расчетной, так и технической, на предприятиях становится важнейшей задачей электросбережения, поскольку позволяет точно прогнозировать величину заявленного электропотребления и кон-

тролировать электропотребление в процессе эксплуатации как по хозяйственным подразделениям, так и по предприятию в целом.

Контроль за электропотреблением на предприятиях осуществляется измерительными комплексами, основой которых в ряде случаев являются индукционные счетчики или электронные (гибридные) счетчики с индукционной измерительной частью, класс точности которых достигает 2,0 [2, 3]. Погрешность системы учета электроэнергии с использованием данных счетчиков уже выходит за 2 % допустимого превышения значения потребляемой мощности согласно договорным условиям.

В настоящее время многие промышленные предприятия рассчитываются с энергоснабжающей организацией за потребленную электрическую энергию по двухставочному тарифу:

$$P_{\Sigma} = A_1 \cdot P_3 + B_1 \cdot W, \quad (1)$$

где  $A_1$  – основная ставка тарифа, руб / кВт;  $B_1$  – дополнительная ставка, коп / кВт·ч;  $P_3$  – договорное значение заявленного максимума активной нагрузки в часы максимума энергосистемы, кВт;  $W$  – договорное значение активной энергии на расчетный период времени, кВт·ч.

Под заявленным максимумом понимается максимальное значение средней получасовой активной мощности в часы максимума энергосистемы. Эта величина рассчитывается на промышленном предприятии и участвует в определении платы за электроэнергию.

Контроль за соблюдением уровня заявленного максимума активной мощности ведется на предприятии по следующей традиционной методике:

1) часы максимума нагрузки энергосистемы разбиваются на периоды длительностью  $t_{\Pi} = 0,5$  ч;

2) на каждом отходящем фидере регистрируются показания счетчика активной энергии в начале  $W_n$  и в конце  $W_k$  каждого периода времени регистрации и определяется энергия, прошедшая через счетчик за  $i$ -й период, кВт·ч:

$$W_{Cчi} = W_{Ki} - W_{ni}; \quad (2)$$

3) рассчитывается средняя получасовая мощность, кВт:

$$P_3 = W_{Cчi} K_{Cч} / t_{\Pi}, \quad (3)$$

где  $K_{Cч}$  – коэффициент счетчика, равный произведению коэффициентов трансформации трансформатора тока (ТТ)  $K_I$  и трансформатора напряжения (ТН)  $K_U$ , через которые счетчик подключен к сети:

$$K_{Cч} = K_I K_U; \quad (4)$$

4) определяется максимальное значение за все время регистрации:

$$P_M = P_3 \text{ МАХ.} \quad (5)$$

В ходе определения максимальной активной мощности предприятия по традиционной выше изложенной методике может возникнуть некоторая погрешность, которую условно назовем погрешностью измерений, и будем понимать под ней относительное выражение (в процентах) разницы между рассчитанной максимальной мощностью и фактической мощностью потребителя, %:

$$\Delta P = ((P_M - P_\Phi) / P_\Phi) \cdot 100. \quad (6)$$

Погрешность измерений может быть обусловлена следующими причинами:

– ошибками при определении продолжительности периодов регистрации показаний счетчиков;

– погрешностью из-за дискретности регистрации показаний счетчиков.

Погрешность измерений, обусловленная характеристиками измерительных комплексов и параметрами электрических нагрузок предприятий, нами не рассматривается.

Определение потребляемой мощности, как правило, проводится по величине расхода электрической энергии за некоторый промежуток времени, чаще всего за 0,5 ч. Очень часто диспетчеру необходимо зафиксировать показания большого количества счетчиков (от нескольких штук до нескольких десятков) на фидерах, которые могут быть расположены как на одном, так и на нескольких энергообъектах. Из-за этого длительность периода  $t_\Pi = 0,5$  ч может не выдерживаться, что приводит к разбросу значений средней получасовой мощности и возможному завышению ее максимального значения. Такую погрешность условно назовем временной погрешностью  $\Delta t$ .

Временная погрешность появляется вследствие возможного изменения (увеличения) времени между соседними измерениями  $t_\Pi$  на величину  $\Delta t$ . Измеренная мощность этого периода равна

$$P_3 = K_{Cч} P_\Phi' (t_\Pi + \Delta t) / t_\Pi, \quad (7)$$

где  $P_\Phi'$  – фактическая активная мощность, проходящая через счетчик;  $K_{Cч}$  – коэффициент счетчика.

Учитывая, что  $K_{Cч} P_\Phi' = P_\Phi$ ,

$$P_3 = P_\Phi (1 + \Delta t / t_\Pi),$$

$$\text{или } P_3 = P_\Phi (1 + \Delta t_*),$$

$$\text{или } P_3 = P_\Phi + P_\Phi \Delta t_*, \quad (8)$$

где  $\Delta t_* = \Delta t / t_\Pi$  – относительная временная погрешность.

Подставляя выражение (8) в (5) и (6), получаем, %

$$\Delta P = \Delta t_* \cdot 100. \quad (9)$$

То есть, при отсутствии прочих причин погрешность измерений численно равна вре-

менной погрешности, выраженной в процентах. Это означает, что при измерениях необходимо точно выдерживать заданный интервал между соседними замерами.

Незначительное отклонение от необходимого времени регистрации приводит к существенной погрешности при определении мощности. При погрешности измерений 1,5 % допустимая ошибка времени регистрации не должна превышать 27 с при  $t_\Pi = 0,5$  ч. На практике диспетчеру необходимо в заданный срок снять показания нескольких десятков счетчиков. В том случае, если необходимо снять показания, например, 20 счетчиков, а на снятие показаний одного счетчика затрачивается всего 5 с, время регистрации составляет 100 с. Это соответствует погрешности 5,55 % при получасовом интервале регистрации расхода электрической энергии.

График зависимости погрешности измерений от временной погрешности  $\Delta t_*$  при длительности периода  $t_\Pi = 0,5$  ч представлен на рисунке.



График изменения погрешности измерений от временной погрешности  $\Delta t_*$  при длительности периода измерений  $t_\Pi = 0,5$  ч

Существует и другая причина возникновения погрешности измерений. Когда погрешность возникает вследствие того, что значение потребленной энергии округляется до дискретных показаний счетчика (до младшего разряда счетчика). Данную погрешность условно назовем дискретной ( $\Delta W$ ) и рассчитаем величину этой погрешности в предположении, что только эта погрешность участвует в определении расхода электроэнергии.

Измеренный счетчиком расход за период составляет

$$W_3' = W_\Phi' + \Delta W, \quad (10)$$

где  $W_3'$ ,  $\Delta W$  – активная энергия, переданная через счетчик, и погрешность ее определения соответственно;  $W_\Phi'$  – фактическая активная энергия, переданная через счетчик.

Измеренное значение активной мощности составляет

$$P_3 = K_{Cч} W_3' / t_\Pi = K_{Cч} (W_\Phi' + \Delta W) / t_\Pi. \quad (11)$$

С учетом соотношения

$$P_{\Phi} = K_{СЧ} W_{\Phi}' / t_{\Pi} \quad (12)$$

$P_3$  рассчитывается как

$$P_3 = P_{\Phi} + (K_{СЧ} \cdot \Delta W) / t_{\Pi}. \quad (13)$$

Подставив (13) в (5) и (6), получаем, %

$$\Delta P = K_{СЧ} \Delta W_* \cdot 100, \quad (14)$$

где

$$\Delta W_* = \Delta W / (P_{\Phi} \cdot t_{\Pi}). \quad (15)$$

Следовательно, при отсутствии временной ошибки погрешность измерений равна произведению коэффициента счетчика и дискретной погрешности.

Согласно (15), дискретная погрешность  $\Delta W_*$  зависит от величины ошибки  $\Delta W$  при округлении, длительности периода  $t_{\Pi}$  и величины фактической мощности, передаваемой по фидеру  $P_{\Phi}$ . Длительность периода между измерениями –  $t_{\Pi} = 0,5$  ч, а максимальная ошибка округления для большинства современных счетчиков электроэнергии, например типа СЭТА, составляет  $\Delta W = 0,005$  кВт·ч.

Величину возможной дискретной погрешности рассмотрим на примере. Промышленное предприятие получает питание по кабельной линии 6 кВ. Заявленная мощность предприятия равна 1600 кВт, она строго выдерживается в часы максимума нагрузки энергосистемы и регистрируется по показаниям счетчика, снимаемым с интервалом времени  $t_{\Pi} = 0,5$  ч. На предприятии установлен трехфазный счетчик активной энергии типа СЭТА-2, позволяющий снимать показания с младшим разрядом 0,01 кВт·ч. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока  $K_I = 1000/5$ , а трансформаторов напряжения  $K_U = 6000/100$ . Коэффициент счетчика равен  $K_{СЧ} = 12000$ .

Фактическая активная энергия, проходящая через счетчик данного присоединения за  $i$ -й период времени  $t_{\Pi} = 0,5$  ч, составляет

$$W_{\Phi i} = P_{\Phi} t_{\Pi} / K_{СЧ} = 1600 \cdot 0,5 / 12000 = 0,067, \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Дежурный, регистрирующий показания счетчиков, обычно записывает величину, округленную до цифры младшего разряда счетчика. Если в начале  $i$ -го периода показания счетчиков нулевые, то данные четырех контрольных измерений будут выглядеть следующим образом (см. таблицу):

**Результаты измерений и расчетов показаний счетчиков**

№ периода	Фактическая энергия, кВт·ч	Показания счетчика $W_{кi}$ , кВт·ч	Энергия по счетчику за период $W_{СЧi}$ , кВт·ч	Средняя мощность за период $P_3$ , кВт
1	0,067	0,07	0,07	1680
2	0,133	0,13	0,06	1440
3	0,200	0,20	0,07	1680
4	0,267	0,27	0,07	1680

Определенная таким образом максимальная мощность по фидеру равна  $P_{M\Phi} = 1680$  кВт. Погрешность измерений составляет

$$\Delta P = ((1680 - 1600) / 1600) \cdot 100 = 5,0 \text{ \%}.$$

Суммарная погрешность в данном примере (с учетом временной и дискретной погрешностей) составляет более 7 %.

Таким образом, временная и дискретная погрешности, накладываясь на погрешности трансформаторов тока и напряжения, а также счетчика активной энергии, могут привести к значительному и необоснованному завышению значения активной мощности, участвующего в расчетах предприятия с энергоснабжающей организацией за потребление электроэнергии, и, как следствие, к необоснованной переплате денежных средств за нарушение договорных условий.

Следует отметить, что возможных погрешностей определения электрической нагрузки предприятия в часы максимума нагрузки энергосистемы гораздо больше. Например, коэффициент счетчика фидера – величина, зависящая от многих факторов. Поэтому анализ погрешности определения нагрузки предприятия в часы максимума нагрузки энергосистемы должен в каждом конкретном случае проводиться более детально [4, 5].

Из выше сказанного следует, что погрешность измерений, возникающая при использовании традиционного метода регистрации максимальной мощности потребителей, какая бы причина ее не вызывала, приводит к завышению результатов расчета, что влечет за собой искажение реальной картины потребления электроэнергии на предприятии. Причем эта погрешность измерений может на порядок превышать погрешности измерительных комплексов учета активной энергии.

## Заключение

Предъявляемое к современным системам учета электроэнергии требование точности не обеспечивается только классом точности счетчика. Без учета суммарной погрешности всего измерительного комплекса, а с учетом ошибок при регистрации и обработке показаний счетчиков погрешность учета может достигать 10 % и более. Для организации достоверной системы учета и оперативного контроля за электропотреблением на предприятиях необходимо:

- наладить работу всех составляющих измерительных комплексов;
- укомплектовать измерительные комплексы современными электронными счетчиками;

- организовать автоматизированный сбор данных об электропотреблении;
- разработать систему регистрации и обработки результатов;
- разработать методику прогнозирования электропотребления с использованием постоянно обновляемой информационной базы данных.

#### Список литературы

1. **Постановление** Правительства РФ от 24.10.2003 г. № 643. О правилах оптового рынка электрической энергии (мощности) переходного периода.
2. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ). – 7-е изд. – СПб.: УВСИЗ, 2005.
3. **Постановление** Правительства РФ от 31 августа 2006 г. № 530. Об утверждении правил функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики.
4. **РД 34.11.333.97.** Типовая методика выполнения измерений количества электрической энергии. – М.: РАО «ЕС России», 1997.
5. **РД 34.11.334.97.** Типовая методика выполнения измерений количества электрической мощности. – М.: РАО «ЕС России», 1997.

*Шульпин Андрей Александрович,*  
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,  
кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем,  
e-mail: aash111@yandex.ru

#### References

1. **Postanovlenie** Pravitel'stva RF ot 24.10.2003 g. № 643. O pravilakh optovogo rynka elektricheskoy energii (moshchnosti) perekhodnogo perioda [RF Government regulations of 24.10.2003. № 643. On the rules of the wholesale market of electric energy power transition period].
2. **Pravila** ustroystva elektroustanovok (PUE) [Rules for Electrical Installation (PUE)], 7 issue, Sankt-Petersburg: UVSIZ, 2005.
3. **Postanovlenie** Pravitel'stva RF ot 31 avgusta 2006 g. № 530. Ob utverzhdenii pravil funktsionirovaniya roznichnykh rynkov elektricheskoy energii v perekhodnyy period reformirovaniya elektroenergetiki [RF Government Resolution of August 31, 2006 N 530. On approval of rules for the retail electricity markets in the transition period of electricity industry reforming].
4. **RD 34.11.333.97.** Tipovaya metodika vypolneniya izmereniy kolichestva elektricheskoy energii [Typical methods of measurement of electrical energy], Moscow: RAO «ES Russia», 1997.
5. **RD 34.11.334.97.** Tipovaya metodika vypolneniya izmereniy kolichestva elektricheskoy moshchnosti [Typical methods of measurement of electrical power], Moscow: RAO «ES Russia», 1997.