

**В.П. КАЛІНЧИК, В.А. ПОБІГАЙЛО, В.В. КАЛІНЧИК, Д.В. ФІЛЯНІН**

### ПОХИБКИ КАНАЛІВ ВИМІРЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В статті проаналізовані структури вимірювальних каналів систем обліку електроенергії. Показано, що така структура визначається типами використаних засобів вимірювальної техніки та схемою їх з'єднання, зокрема типами встановлених в точках обліку лічильників електроенергії. Причому лічильники можуть мати імпульсний або інтерфейсний інформаційний вихід. Показано, що тракт вимірювань та обліку електроенергії включає в себе вимірювальну схему що складається із вимірювальних трансформаторів струму і напруги, лічильника електроенергії, ліній зв'язку, пристрою обліку та пристрою збору даних. Застосовано метод, заснований на нормуванні метрологічних характеристик окремих елементів вимірювального тракту і синтез їх на основі метрологічної характеристики всієї системи обліку електроенергії. Для розрахунку сумарної похибки вимірювального каналу використовуються формула, яка враховує тільки похибки вимірювальної схеми. Показано, що в останні роки спостерігається тенденція, коли вимірювальні трансформатори струму і, відповідно, лічильники електроенергії працюють в режимі малих струмових навантажень. Похибки елементів вимірювального тракту у цьому випадку маловивчені. Приведені графіки похибок трансформаторів струму в залежності від струмів навантаження. Показано, що значення похибок трансформаторів струму змінюються від величини струму навантаження і знаходяться в області негативних значень. Тому неправильний вибір трансформаторів струму може призвести до істотного недообліку електроенергії. Похибки трансформаторів напруги залежать в основному від навантаження на вторинну обмотку і на сумарну похибку суттєвого не впливають. Приведена результуюча похибка вимірювального тракту трансформатор струму – трансформатор напруги – лічильник електроенергії в області малих навантажень. Зміна похибок в області малих навантажень призводить до серйозних метрологічних втрат (недообліку електроенергії). При автоматизації обліку електроенергії приведені графіки зміни похибок в області малих навантажень можуть служити основою для корекції похибки вимірювальних трактів.

**Ключові слова:** електроенергія, облік, похибки, трансформатор струму, трансформатор напруги, лічильник

**В.П. КАЛИНЧИК, В.А. ПОБЕГАЙЛО, В.В. КАЛИНЧИК, Д.В. ФИЛЯНИН**

### ПОГРЕШНОСТИ КАНАЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ В СИСТЕМАХ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В статье проанализированы структуры измерительных каналов систем учета электроэнергии. Показано, что такая структура определяется типами использованных средств измерительной техники и схемой их соединения, в частности типами установленных в точках учета счетчиков электроэнергии. Причем счетчики могут иметь импульсный или интерфейсный информационный выход. Показано, что тракт измерений и учета электроэнергии включает в себя измерительную схему состоящую из измерительных трансформаторов тока и напряжения, счетчика электроэнергии, линий связи, устройства учета и устройства сбора данных. Применен метод, основанный на нормировании метрологических характеристик отдельных элементов измерительного тракта и синтез их на основе метрологической характеристики всей системы учета электроэнергии. Для расчета суммарной погрешности измерительного канала используются формула, которая учитывает только погрешности измерительной схемы. Показано, что в последние годы наблюдается тенденция, когда измерительные трансформаторы тока и, соответственно, счетчики электроэнергии работают в режиме малых токовых нагрузок. Погрешности элементов измерительного тракта в этом случае малоизученные. Приведены графики погрешностей трансформаторов тока в зависимости от токов нагрузки. Показано, что значения погрешностей трансформаторов тока меняются от величины тока нагрузки и находятся в области отрицательных значений. Поэтому неправильный выбор трансформаторов тока может привести к существенному недоучету электроэнергии. Погрешности трансформаторов напряжения зависят в основном от нагрузки на вторичную обмотку и на суммарную погрешность существенного не влияют. Приведена результирующая погрешность измерительного тракта трансформатор тока - трансформатор напряжения - счетчик электроэнергии в области малых нагрузок. Изменение ошибок в области малых нагрузок приводит к серьезным метрологическим потерям (недоучету электроэнергии). При автоматизации учета электроэнергии приведены графики изменения погрешностей в области малых нагрузок могут служить основой для коррекции погрешности измерительных трактов.

**Ключевые слова:** электроэнергия, учет, погрешности, трансформатор тока, трансформатор напряжения, счетчик

**V.P. KALINCHYK, V.A. POBIGHAILO, V.V. KALINCHYK, D.V. FILIANIN**

### USE OF STATISTICAL ANALYSIS METHODS IN PROCESSING POPULATION SURVEY DATA

The article analyzes the structures of the measuring channels of electricity metering systems. It is shown that such a structure is determined by the types of measuring instruments used and the scheme of their connection, in particular, by the types of electricity meters installed at the metering points. Moreover, the counters can have a pulse or interface information output. It is shown that the path for measuring and metering electricity includes a measuring circuit consisting of measuring current and voltage transformers, an electricity meter, communication lines, a metering device and a data collection device. The applied method is based on the standardization of the metrological characteristics of individual elements of the measuring path and their synthesis based on the metrological characteristics of the entire electricity metering system. To calculate the total error of the measuring channel, a formula is used that takes into account only the errors of the measuring circuit. It is shown that in recent years there has been a tendency when measuring current transformers and, accordingly, electricity meters operate in the mode of low current loads. In this case, the errors of the elements of the measuring path are poorly studied. The graphs of errors of current transformers depending on load currents are given. It is shown that the values of the errors of current transformers vary with the magnitude of the load current and are in the region of negative values. Therefore, the wrong choice of current transformers can lead to a significant underestimation of electricity. The errors of voltage transformers depend mainly on the load on the secondary winding and do not significantly affect the total error. The resulting error of the measuring path current transformer - voltage transformer - electricity meter in the area of low loads is given. A change in errors in the area of low loads leads to serious metrological losses (underpayment of electricity). In the automation of electricity metering, graphs of changes in errors in the area of low loads are presented, which can serve as a basis for correcting the error of the measuring paths.

**Key words:** electricity, metering, errors, current transformer, voltage transformer, meter

**Вступ.** Структура вимірювальних каналів (ВК) та обліку електроенергії визначається типами використаних засобів вимірювальної техніки та схемою їх

з'єднання, зокрема типами встановлених в точках обліку лічильників електроенергії. До структури ВК відносяться канали, що мають в своєму складі лічиль-

© В.П. Калінчик, В.А. Побігайло, В.В. Калінчик, Д.В. Філянin, 2021

ники з імпульсними або із інтерфейсними виходами.

**Метою роботи** є формування метрологічних характеристик вимірювальних каналів обліку електроенергії.

**Викладення основного матеріалу.** У системах управління електроспоживанням тракт вимірювань та обліку електроенергії включає в себе (рис. 1): вимірювальну схему (ВС), що складається з вимірювальних трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН), лі-

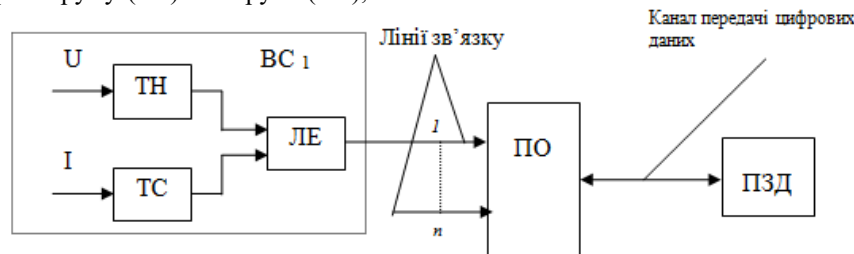


Рис. 1. Схема тракту вимірювань та обліку електроенергії

$$|\Delta W_n| \leq |\Delta W| \leq |\Delta W_B|, \quad (1)$$

де  $\Delta W$  – сумарна абсолютна похибка вимірювання кількості електроенергії ВК;  $\Delta W_B$ ,  $\Delta W_n$  – верхня і нижня межі похибки результату вимірювань, відповідно.

Сумарна абсолютна похибка  $\Delta W$  вимірювання кількості електроенергії  $W$  в кВт\*год, визначається як

$$\Delta W = \pm \delta_{BK} \frac{W}{100}, \quad (2)$$

де  $\delta_{BK}$  – сумарна відносна похибка ВК, %, обумовлена як сукупність окремих похибок засобів вимірювань, формуючих вимірювальний канал.

У більшості випадків для розрахунку сумарної похибки ВК можна користуватися формулою [1, 2, 6]

$$\delta_{BK} = \pm 1,1 \sqrt{\delta_{TC}^2 + \delta_{TH}^2 + \delta_A^2 + \delta_{LE}^2}, \quad (3)$$

яка враховує тільки похибки вимірювальної схеми.

В останні роки спостерігається тенденція, коли вимірювальні ТС і, відповідно, ЛЕ працюють в режимі малих струмових навантажень. Похибки елементів тракту вимірювань у цьому випадку маловивчені.

На рис. 2 показані графіки похибок трансформаторів струму в залежності від струмів навантаження. Видно, що значення похибок ТС змінюються від величини струму навантаження і знаходяться в області негативних значень. Тому неправильний вибір ТС може призвести до істотного недообліку електроенергії.

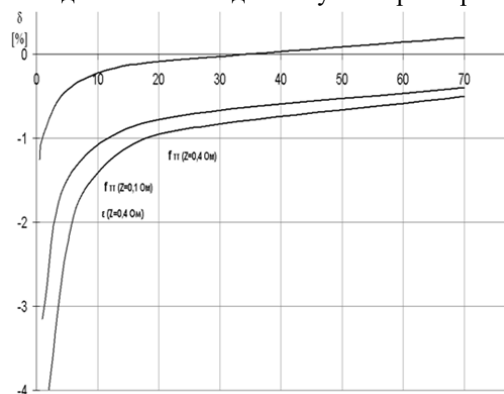


Рис. 2. Графіки похибок трансформаторів струму в залежності від струмів навантаження

чильника електроенергії (ЛЕ), ліній зв'язку між ТТ, ТН і ЛЕ; пристрою обліку (ПО) та пристрою збору даних (ПЗД). В інформаційно-керуючих системах електроспоживання найбільшого поширення набув метод, заснований на нормуванні метрологічних характеристик окремих елементів вимірювального тракту і синтез їх на основі метрологічної характеристики всієї системи [1, 2, 6].

На рис. 3 показаний графік похибок лічильників електроенергії в залежності від струмів навантаження.

Видно, що в області 10%  $I_{ном}$  і більше навантажувальна характеристика лічильника відповідає піковій.

При малих навантаженнях характеристика сильно йде в область великих негативних значень. Встановлено [3, 7], що похибки лічильників розподіляються по антимодальному закону. Це пов'язано з тим, що джерелом похибок є керований людиною процес налагодження і регулювання лічильника (особливо після ремонту), що призводить до нестійкої роботи лічильника в режимі малих навантажень.

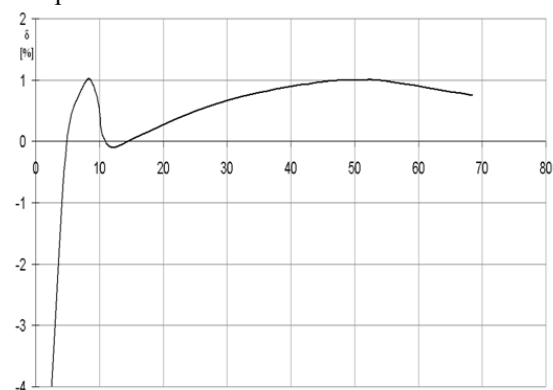


Рис. 3. Графік похибок лічильників електроенергії в залежності від струмів навантаження

Похибки трансформаторів напруги залежать в основному від навантаження на вторинну обмотку і не перевищують 2 %.

На рис. 4 показана результуюча похибка вимірювального тракту (ТС-ТН-ЛЕ) в області малих навантажень.

Така зміна похибок в області малих навантажень призводить до серйозних метрологічних втрат (недообліку електроенергії).

За даними [3] тільки в лініях 10 кВ метрологічні втрати складають понад 63 млн. кВт\*год на рік.

Тому аналіз завантаження вимірювальних трактів (ТС-ТН-ЛЕ) повинен бути обов'язковим. І, в першу

чергу, необхідна заміна ТС, які працюють із малим навантаженням.

При автоматизації обліку електроенергії дані (див. рис. 4) можуть служити основою для корекції похибки вимірювальних трактів, а оцінка навантаження в довільний момент часу може бути отримана по вихідній послідовності імпульсів.

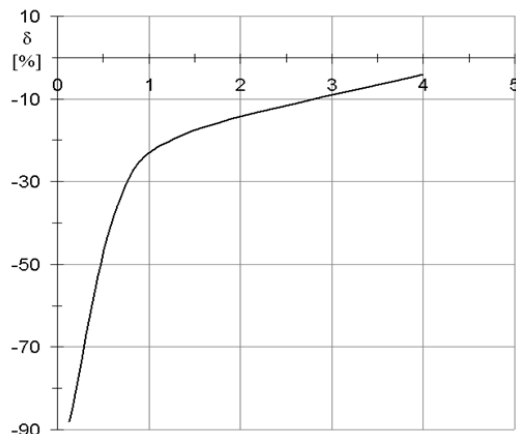


Рис. 4. Результуюча похибка вимірювального тракту (ТС - ТН - ЛЕ) в області малих навантажень

Оцінки похибок при дискретному представленні інформації (від датчиків імпульсів) досить докладно дані в [1, 4, 5, 7]. Похибки дискретного представлення при тривалому вимірі витрат електроенергії не приводять до метрологічних втрат.

**Висновки.** Значне збільшення похибки вимірювального тракту (ТС-ТН-ЛЕ) в області малих навантажень призводить до серйозних метрологічних втрат (недообліку електроенергії). Тому аналіз завантаження вимірювальних трактів (ТС-ТН-ЛЕ) повинен бути обов'язковим. При автоматизації обліку електроенергії графіки зміни похибок в області малих навантажень можуть служити основою для корекції похибки вимірювальних трактів.

#### Список літератури

1. Праховник А.В., Калінчик В.П., Прокопєв В.И. Основные положения Концепции и технических требований к системам коммерческого учета электроэнергии в условиях Энергорынка // Материали 3-ої науково – практичної конференції «Метрологічне забезпечення обліку електричної енергії в Україні». – Київ. – 2001. – С. 27-35.
2. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку // Праховник А.В., Калінчик В.П.,

Тимошенко Ю.В. та інші. - Інформаційний бюлетень НКРЕ. - 2002. - № 11. - С. 230-261.

3. Гладков Ю.В. Метрологические потери в сетях энергосистем и их оценка // Энергетика. Изв. вузов СССР. – 1986. - № 10. - С. 28-33.
4. Забелло Е.П. Алгоритмические и технические проблемы построения многоуровневых сетей учета, контроля и управления электропотреблением: Дис... д-ра техн. наук: 05.14.02, 05.13.07 / АН Украины. Ин-т электродинамики. – К.: 1992. - 446 с.
5. Калінчик В.П., Кульбачний П.В., Прокопенко В.В., Несен Л.І. Аналіз вимірювальних каналів систем обліку електроенергії / Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи. - Київ. – 2015. – С. 224 – 225.
6. Pobigaylo V., Kalinchyk V. Building a picture recognition system in short circuit current devices. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» № 2 (2020). - Київ. – 2020, С. 103-120.
7. Калінчик В.П., Побігало В.А. Пристрій керування обмеженням струмів короткого замикання для підвищення ефективності електропостачальних виробничих систем. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» № 1 (2020). - Київ. – 2020, С. 39-46.

#### References (transliterated)

1. Prahovnik A.V., Kalinchik V.P., Prokopec V.I. Osnovnye polozheniya Konceptii i tehniceskikh trebovanij k sistemam kommercheskogo ucheta jelektroenergii v uslovijah Jenergorynka. Materiali 3-oї naukoivo – praktichnoї kon-ferencii «Metrologichne zabezpechennja obliku elektrichnoї energii v Ukraїni». – Kyiv. – 2001. – Pp. 27 – 35.
2. Prahovnyk A.V., Kalinchyk V.P., Tymoshenko Yu.V. ta inshi. Kontsepsiia pobudovy avtomatyzovanykh system obliku elektroenerhii v umovakh enerhorynku. - Informatsiinyi biuletен NKRE. - 2002. - 11. - Pp. 230-261.
3. Gladkov Ju.V. Metrologicheskie poteri v setjah jenergosistem i ih oцenka. Jenergetika. Izv. vuzov SSSR. – 1986. - 10, - Pp. 28-33.
4. Zabello E.P. Algoriticheskie i tehnicеские problemy postroenija mnogourovnevnyh setej ucheta, kontrolja i upravlenija jelektropotrebleniem: Dis... d-ra tehn. nauk: 05.14.02, 05.13.07. AN Ukrainy. In-t jelektrodinamiki. – Kyiv: 1992.- 446 p.
5. Kalinchyk V.P., Kulbachnyi P.V., Prokopenko V.V., Nesen L.I. Analiz vymiriuvalnykh kanaliv system obliku elektroenerhii. Materialy KhIV Mizhnarodnoi naukoivo-tehnicnoї konferentsii «PRYLABUDUVANNIA: stan i perspektivy. - Kyiv. – 2015. – Pp. 224 – 225.
6. Pobigaylo V., Kalinchyk V. Building a picture recognition system in short circuit current devices. Naukovyi zhurnal «Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia». 2 (2020). - Kyiv. – 2020, Pp. 103-120.
7. Kalinchyk V.P., Pobihailo V.A. Prystrii keruvannia obmezheniam strumiv kortkoho zamykannia dlia pidvyshchennia efektyvnosti elektropostachalnykh vyrobnychykh system. Naukovyi zhurnal «Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia». 1 (2020). - Kyiv. – 2020, Pp. 39-46.

Поступила (received) 01.06.2021

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Калінчик Василь Прокопович (Калинчик Василий Прокопьевич, Kalinchik Vasilij Prokop'evich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри електропостачання; м. Київ.

**Побігало Віталій Анатолійович (Побигайло Виталий Анатольевич, Pobigaylo Vitaliy Anatolievich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри електропостачання; м. Київ; тел.: (097) 308-88-95; e-mail: pobigaylo@gmail.com.

**Калінчик Віталій Васильович (Калинчик Виталий Васильевич, Kalinchyk Vitaliy Vasilivich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, доцент кафедри електропостачання; м. Київ, тел.: (067) 209-87-26.

**Філянін Данило Володимирович (Филянин Даниил Владимирович, Filjanin Daniil Vladimirovich)** – аспірант, Національний технічний університет України КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електропостачання; м. Київ.