

ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ

Т. И. Чернышова¹, М. А. Каменская², С. В. Артемова³

Кафедры: «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» (1); «Электроэнергетика» (2), art_mari@bk.ru, ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия; кафедра «Защита информации», ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (3), Москва, Россия

Ключевые слова: информационно-аналитическая система; информационно-измерительная система объектов электроэнергетики; метрологическая надежность; метрологическая характеристика.

Аннотация: Оценка метрологической надежности информационно-измерительных систем объектов электроэнергетики с учетом непостоянства внешних влияющих факторов проводится с помощью разработанной информационно-аналитической системы. Разработанная информационно-аналитическая система позволяет оперативно провести математическое моделирование метрологических характеристик измерительных средств с учетом нестабильности условий окружающей среды с прогнозированием метрологической надежности объекта в условиях предстоящей эксплуатации. Информационно-аналитическая система позволяет дать рекомендации для периода эксплуатации исследуемой информационно-измерительной системы объектов электроэнергетики по проведению поверочных мероприятий с учетом изменения во времени метрологических характеристик проектируемой информационно-измерительной системы.

Введение

Электроэнергетические системы – основа современной электроэнергетики и жизненно важный элемент современной цивилизации. Вследствие этого, обеспечение надежности, безопасности объектов электроэнергетики, поддержка нормального режима работы электрической части объектов электроэнергетики являются важными задачами.

Объекты электроэнергетики отвечают за технологический процесс производства, передачи, потребления электрической энергии. Безопасную работу, надежность, качество электрической энергии обеспечивают информационно-измерительные системы (ИИС), осуществляющие обработку измерительного эксперимента в процессе эксплуатации рассматриваемых электроэнергетических объектов [1]. Информационно-измерительные системы применяются для непрерывного контроля значений тока, качества электрической энергии, технического и коммерческого учета электроэнергии, измерения активной и реактивной мощности объектов электроэнергетики и ряда других технических и технологических параметров. На объектах электроэнергетики необходимо контролировать большое число электрических и неэлектрических физических величин, при этом целесооб-

разно принимать решения о контроле параметров электроэнергетического объекта не на основе отдельных измерений, а на основе обработки большого объема измерительных экспериментов [2].

Объект исследования

Энергетическая система представляет собой систему, для которой свойственна вероятностная природа формирования электрических мощностей, поэтому для проведения достоверных измерительных экспериментов и с достаточной для практики точностью необходимо наличие больших объемов измерительной информации (репрезентативной выборки). На рисунке 1 представлена структурная схема ИИС электрической подстанции. Такая ИИС предназначена для проведения большого объема экспериментальных исследований и обработки значительной измерительной информации (ИИ). В составе ИИС основными блоками являются измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН), датчики технологических и технических параметров, в том числе тока, напряжения, мощности, преобразователи аналоговых сигналов (ПАС), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), формирователь группового сигнала (ФГС) для объединения сигналов от множества объектов электроэнергетики, локальная сеть, объединяющая несколько энергетических объектов, канал обработки ИИ. После обработки данных от объектов исследования информация поступает к потребителю в энергосбытовую организацию.

Метрологический уровень, то есть точность функционирования ИИС, ставит вопрос обеспечения требуемого уровня точности проведения экспериментальных исследований, что в свою очередь определяет требования к достигаемому уровню метрологической надежности. Метрологическая надежность является главной характеристикой качества ИИС [3].

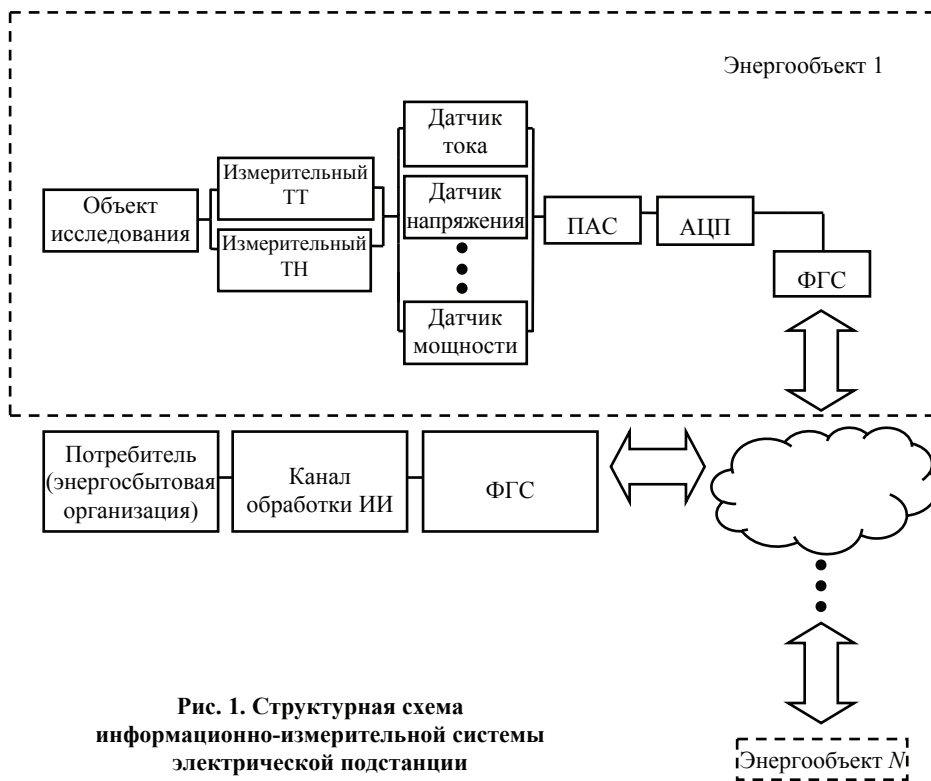


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной системы электрической подстанции

Чрезвычайно важно применять математический аппарат для оценки метрологической надежности информационно-измерительных систем, реализующих измерительные эксперименты на объектах электроэнергетики.

Методика оценки и прогнозирования метрологической надежности информационно-измерительных систем объектов электроэнергетики

Метрологическая надежность оценивается скоростью временного изменения нормируемых метрологических характеристик (МХ) измерительных блоков ИИС. Основными показателями метрологической надежности являются вероятность сохранения метрологической стабильности и метрологический отказ. Вероятность сохранения метрологической стабильности определяет соответствие МХ исследуемого средства измерения допустимым значениям в произвольный момент времени $P(t)$. Метрологический отказ оценивается временем выхода нормируемых МХ за установленные допустимые границы. Как показали проведенные исследования, в измерительных блоках и ИИС в целом метрологические отказы на практике встречаются гораздо чаще внезапных, поэтому важно разработать математический аппарат оценки метрологической надежности ИИС объектов электроэнергетики [4]. Особенность метрологического отказа заключается в скрытом характере его проявления и выявляется только при проведении очередных проверок. Метрологическая надежность напрямую зависит от временного изменения МХ. Для большинства измерительных блоков достаточно важной метрологической характеристикой является основная относительная погрешность. Погрешность изменяется в процессе эксплуатации измерительных блоков ИИС. Изменение основной погрешности обусловлено процессами деградации компонентов в измерительных блоках ИИС, вызванными неблагоприятными влияниями внешней окружающей среды: повышением температуры, влажности, изменением давления, радиационными воздействиями, нестабильностью напряжения в электрической сети. Процессы деградации компонентов измерительного блока при воздействии внешних влияющих факторов протекают на молекулярном уровне и зависят не только от времени изготовления измерительного блока, а также от длительности его эксплуатации. Вследствие этого, основным фактором, оказывающим влияние на изменение во времени МХ, является время жизненного цикла измерительного блока. Необратимые процессы, влияющие на изменение такой метрологической характеристики, как погрешность исследуемого блока, протекают медленно, и экспериментально их можно определить на протяжении длительных этапов эксплуатации. Поэтому целесообразно использование методов математического моделирования при проектировании измерительных блоков ИИС.

Существующая методика оценки и прогнозирования ИИС, которая в том числе может быть использована на объектах электроэнергетики, базируется на построении аналитическими методами математических моделей исследуемых МХ измерительных блоков ИИС с последующим применением вероятностного подхода, позволяющего получить с помощью аппарата статистического моделирования значения метрологических характеристик в различных временных сечениях области предстоящей эксплуатации. Далее с применением аппарата теории случайных процессов, использование которого обусловлено общим свойством нестационарных случайных процессов временного изменения МХ, построить математическую модель изменения во времени исследуемой метрологической характеристики блоков ИИС [5].

При этом общий вид математической модели МХ, в качестве которой рассматривается основная относительная погрешность измерительного блока S ,

определяется с учетом входного сигнала x , параметров элементов $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$, нестабильности внешних влияющих факторов $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$

$$S = F(x, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m). \quad (1)$$

Для каждой нормируемой МХ исследуемых измерительных блоков информационно-измерительной системы проводится построение математической модели вида (1).

Для учета необратимых процессов, возникающих из-за деградации параметров комплектующих элементов, обуславливающих постепенное изменение нормируемых МХ измерительных блоков, математическая модель вида (1) преобразовывается к виду (2) и учитывает изменение во времени параметров комплектующих элементов $\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t)$ и внешних влияющих факторов $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)$

$$S = F(x, \xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t), \varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_m(t)). \quad (2)$$

На основе зависимости (2) проводится статистическое моделирование изменения во времени МХ в различные моменты времени контроля t_1, t_2, \dots, t_k с учетом внешних влияющих факторов.

Выделив основные влияющие факторы и введя обозначения температуры $\varphi_1(t) = T$, влажности $\varphi_2(t) = H$, давления $\varphi_3(t) = p$, радиации $\varphi_4(t) = R$, модель (2) преобразуется к виду

$$S = F(x, \xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_n(t), T, H, p, R). \quad (3)$$

Процедура статистического моделирования исследуемой МХ измерительных блоков информационно-измерительных систем проводится по математической модели (3) и, используя полученные в результате данной процедуры характеристики закона распределения, исследуемой погрешности измерительных блоков ИИС в различных временных сечениях, позволяет построить математическую модель изменения во времени погрешности исследуемых блоков:

$$\begin{cases} m_S(T, H, p, R, t); \\ \psi_{\pm\sigma}(T, H, p, R, U, t) = m_S(T, H, p, R, t) + c\sigma_S(T, H, p, R, t), \end{cases} \quad (4)$$

где $m_S(t_1), \dots, m_S(t_n)$ и $\sigma_S(t_1), \dots, \sigma_S(t_n)$ – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение (**СКО**) МХ соответственно; t_1, \dots, t_n – моменты времени контроля; $c = 3$ с учетом доверительной вероятности $P = 0,007$ в соответствии с известным нормальным законом распределения и РМГ 74–2004 [6].

Построение математических моделей вида (4) дает возможность оценить величину метрологического отказа. Причем использование результатов моделирования при различных сочетаниях внешних факторов для оценки метрологического ресурса позволяет при формировании такой базы данных определить варианты наиболее целесообразного сочетания внешних факторов для получения более высоких показателей метрологической надежности.

Представленный выше алгоритм оценки показателей метрологической надежности может рассматриваться как процесс их оценки и прогнозирования, учитывая, что задача решается для этапа проектирования на предстоящий этап эксплуатации. Указанный алгоритм реализуется для ИИС объектов электроэнергетики в информационно-аналитической системе (**ИАС**).

Информационно-аналитическая система создана для оперативной оценки и прогнозирования метрологической надежности ИИС объектов электроэнергети-

ки с учетом внешних влияющих факторов. Данная система позволит потребителю проводить оперативную оценку метрологической надежности блока ИИС объекта электроэнергетики на любой момент времени его будущей эксплуатации, дать рекомендации по проведению метрологических проверок с учетом внешних влияющих факторов.

Информационно-аналитическая система реализует построение математических моделей временного изменения МХ измерительных блоков ИИС с сохранением полученных результатов в базу данных, графического отображения математических моделей и представляет результаты оценки метрологического ресурса.

На основе полученных статистических данных могут быть определены величины межповерочных интервалов на этапе предстоящей эксплуатации ИИС [6].

Информационно-аналитическая система проводит оценку качества проведенного прогнозирования метрологической надежности с учетом влияния внешних воздействующих факторов. Главными показателями качества проведенного прогнозирования являются критерии эффективности и достоверности. Алгоритм оценки рассматриваемых показателей качества приведен в публикациях [5, 6].

Заключение

Следует отметить, что предлагаемая информационно-аналитическая система позволяет оперативно принимать решения по оценке метрологической надежности информационно-измерительных систем и в случае несоответствия полученных показателей метрологической надежности также оперативно принимать необходимые схемотехнические и конструктивные решения по изменению структуры и блоков ИИС.

Принятие таких решений является особо важным для информационно-измерительных систем объектов электроэнергетики в условиях ответственности выполнения их функций, направленных на обеспечение достоверного и точного контроля характеристик электроэнергетических объектов.

Список литературы

1. Чернышов, В. Н. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий : монография / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – СПб. : Экспертные решения, 2016. – 384 с.
2. Яшин, В. Н. Оценка метрологической надежности средств измерений с использованием метода производящих функций / В. Н. Яшин // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2020. – Т. 28, № 2 (66). – С. 84 – 96.
3. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование электронных измерительных средств при оценке их метрологической надежности / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 770 – 775.
4. Чернышова, Т. И. Оценка достоверности прогнозирования метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 3. – С. 532 – 537.
5. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 28, № 4. – С. 532 – 539.
6. РМГ 74–2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – Введ. 01.03.2005. – М. : Стандартинформ, 2005. – 24 с.

Assessment of Metrological Reliability of Data-Measuring Systems of Electric Power Facilities under Instability of External Factors

T. I. Chernyshova¹, M. A. Kamenskaya², S. V. Artemova³

*Departments of Design of Radio-Electronic and Microprocessor Systems (1);
Electric Power Engineering (2), art_mari@bk.ru, TSTU, Tambov, Russia;
Department of Information Security, MIREA – Russian Technological University (3),
Moscow, Russia*

Keywords: data-analytical system; data-measuring system of electric power facilities; metrological reliability; metrological characteristics.

Abstract: Assessment of the metrological reliability of data-measuring systems of electric power industry facilities, taking into account the variability of external influencing factors, is carried out using the developed information and analytical system. The developed information and analytical system makes it possible to quickly carry out mathematical modeling of the metrological characteristics of measuring instruments, taking into account the instability of environmental conditions, with the prediction of the metrological reliability of the object under the conditions of upcoming operation. The data-analytical system makes it possible to give recommendations for the period of operation of the data-measuring system of electric power facilities under study for carrying out verification activities, taking into account changes in the metrological characteristics of the designed data-measuring system over time.

References

1. Chernyshov V.N., Chernyshova T.I. *Metody i informatsionno-izmeritel'nyye sistemy nerazrushayushchego kontrolya teplofizicheskikh svoystv materialov i izdeliy: monografiya* [Methods and information-measuring systems for non-destructive testing of thermophysical properties of materials and products: monograph], St. Petersburg: Izdatel'stvo Expert solutions, 2016, 384 p. (In Russ.)
2. Yashin V.N. [Assessment of metrological reliability of measuring instruments using the method of generating functions], *Vestn. Samar. gos. tekhn. un-ta. Ser. Tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series. Technical science], 2020, vol. 28, no. 2(66), pp. 84-96. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Chernyshova T.I., Kamenskaya M.A. [Mathematical modeling of electronic measuring instruments when assessing their metrological reliability], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2010, vol. 16, no. 4, pp. 770-775. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Chernyshova T.I., Kamenskaya M.A. [Assessing the reliability of forecasting the metrological reliability of electronic measuring instruments], *Transactions of the Tambov State Technical Universit*, 2012, vol. 18, no. 3, pp. 532-537. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Chernyshova T.I., Kamenskaya M.A. [Mathematical modeling of metrological characteristics when assessing the metrological reliability of electronic measuring instruments], *Transactions of the Tambov State Technical Universit*, 2016, vol. 28, no. 4, pp. 532-539. (In Russ., abstract in Eng.)
6. RMG 74-2004. *Gosudarstvennaya sistema obespecheniya yedinstva izmereniy. Metody opredeleniya mezhpoverochnykh i mezhkalibrovochnykh intervalov sredstv izmereniy* [State system for ensuring the uniformity of measurements. Methods for determining inter-verification and inter-calibration intervals of measuring instruments], Moscow: Standartinform, 2005, 24 p. (In Russ.)

Бewertung der messtechnischen Zuverlässigkeit der Informations- und Messsysteme der Anlagen der Elektroenergieindustrie unter den Bedingungen der Instabilität externer Einflussfaktoren

Zusammenfassung: Die Bewertung der messtechnischen Zuverlässigkeit von Informations- und Messsystemen von Objekten der elektrischen Energie wird unter Berücksichtigung der Volatilität externer Einflussfaktoren mit Hilfe des entwickelten Informations- und Analysesystems durchgeführt. Das entwickelte Informations- und Analysesystem ermöglicht die schnelle mathematische Modellierung der Messtechnik unter Berücksichtigung der Instabilität der Umgebungsbedingungen mit der Vorhersage der Messsicherheit des Objekts unter den Bedingungen des bevorstehenden Betriebs. Das Informations- und Analysesystem ermöglicht es, Empfehlungen für die Betriebszeit des untersuchten Informations- und Messsystems von Objekten der elektrischen Energie für die Durchführung von Prüfmaßnahmen unter Berücksichtigung der Veränderungen der messtechnischen Eigenschaften des projektierten Informations- und Messsystems im Laufe der Zeit zu geben.

Évaluation de la fiabilité métrologique des systèmes d'information et de mesure des installations électriques dans des conditions d'instabilité des facteurs externes

Résumé: À l'aide d'un système d'information et d'analyse élaboré, est réalisée l'évaluation de la fiabilité métrologique des systèmes d'information et de mesure des installations électriques, en tenant compte de l'instabilité des facteurs externes. Le système d'information et d'analyse élaboré permet de procéder rapidement à une modélisation mathématique des caractéristiques métrologiques des instruments de mesure compte tenu de l'instabilité des conditions environnementales et en prévoyant la fiabilité métrologique de l'objet dans les conditions d'exploitation à venir. Le système d'information et d'analyse permet de formuler des recommandations pour la période de fonctionnement du système d'information et de mesure étudié pour des installations de l'industrie de l'électricité pour effectuer des mesures de calibrage, en tenant compte des changements dans le temps des caractéristiques métrologiques du système d'information et de mesure conçu.

Авторы: *Чернышова Татьяна Ивановна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»; *Каменская Мария Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия; *Артемова Светлана Валерьевна* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Защита информации», институт комплексной безопасности и специального приборостроения, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия.