

УДК 621.317.33

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КВАЗИОБРАЗЦОВОГО ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ ДЛЯ РАЗДЕЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Статья поступила в редакцию 12.09.2013, в окончательном варианте 04.10.2013.

Головин Павел Дмитриевич, инженер 2-й категории, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная 40, e-mail: GPD75@yandex.ru

Лысенко Алексей Владимирович, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная 40, e-mail: admin@r4f.su

Юрков Николай Кондратьевич, доктор технических наук, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная 40, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

Метод квазиобразцового интервала времени состоит в перемещении результатов измерений из измерительной цепи с потерями на измерительную цепь без потерь. При этом используются образцовые интервалы времени, равные постоянной времени для цепи без потерь. Предложен нетрадиционный подход, обеспечивающий получение раздельной информации об интересующих исследователя как информативных, так и неинформативных параметрах элементов схемы замещения параметрических датчиков физических величин, содержащих энергонакопительный элемент, по мгновенным значениям переходного процесса. Использование данного подхода позволяет значительно повысить точность измерений без структурного усложнения измерительных цепей при использовании элементов и узлов более высокого качества. Применение метода обосновано как для двухэлементной схемы замещения, так и трех и более элементной схемы. При этом обеспечивается сокращение времени измерения и улучшение метрологических характеристик средств измерений.

Ключевые слова: параметр, датчик, измерительная, цепь, переходной, процесс, емкость, метод, интервал

APPLICATION OF THE METHOD OF QUASI EXEMPLARY TIME INTERVAL FOR MEASUREMENT OF PARAMETERS OF SEPARATE PARAMETER PROBES

Golovin Pavel D., engineer of the 2nd category, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: GPD75@yandex.ru

Lysenko Alexey V., post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: admin@r4f.su

Yurkov Nikolay K., D.Sc. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

The method of quasi exemplary time interval is displacement-research Institute of the measurement results from the measuring circuit with losses and long-provisional chain without losses. It uses the standard inter-shafts of time equal to the time constant of the circuit without losses. Proposals wives unconventional approach, ensuring receipt of separate information on interest of the researcher as informative and non-informative parameters of elements of the circuit parametric substitution of sensors of physical quantities containing energy savings element, instant values of the transition process. The use of this approach can significantly improve the accuracy of measurements without structural complication of measuring circuits when using elements and units of higher quality. Application of the method to substan-Vano as for two-element equivalent circuits, and three or more elements ментной schemes. This ensures reduction of time measurement, and improve metrological characteristics of measuring instruments.

Keywords: parameter, sensor, measuring, chain, transition, process, capacity, method, interval

Возрастающие требования к достоверности и полноте описания исследуемых процессов измерения могут быть удовлетворены при учете всех возможных факторов, оказывающих влияние на результат преобразования физической величины в электрическую [7, 8]. Это достигается при рассмотрении параметрического датчика (ПД) как объекта исследования [2, 3], имеющего схему замещения в виде пассивного многоэлементного двухполюсника.

Существующие методики [4, 6] не позволяют в полной мере получать раздельную информацию как об информативных, так и неинформативных параметрах элементов схемы замещения ПД.

Поэтому целью статьи является разработка метода квазиобразцового интервала времени для его использования при раздельном измерении параметров ПД. Предлагаемый метод существенно упрощает получение раздельной информации о параметрах схемы замещения ПД – как емкостного, так и индуктивного.

Актуальность данной работы обуславливается принципиальным изменением подхода к проектированию измерительных цепей (ИЦ) ПД. Эти изменения в основном сводятся к тому, что при разработке схемы ИЦ не ставится задача получения наилучших характеристик преобразования благодаря структурному усложнению и использованию элементов и узлов более высокого качества со стабильными параметрами. Вместо этого появляется возможность переноса задач обработки сигналов с аппаратных средств на программное обеспечение, что обеспечивает сокращение времени измерений, повышение точности измерений и улучшение метрологических и эксплуатационных параметров средств измерения (СИ). Также появляется возможность измерения некоторых величин, которые не могли быть измерены прямыми методами. С учетом физических и математических моделей, описывающих поведение датчика, можно намного быстрее проводить более точные измерения, принимая во внимание влияние переходных процессов, внешних факторов и т.д.

Возможность использования цифровых методов обработки сигналов способствует появлению абсолютно новых датчиков, основанных на хорошо известных принципах, которые ранее не могли быть эффективно использованы при измерениях, например, быстротекущих величин.

ПД изменяют некоторые параметры выходного импеданса под воздействием измеряемой величины. Импеданс ПД и его изменения можно измерить не иначе, как включая датчик в специальную ИЦ, содержащую источник питания (напряжения e_s или тока i_s) и схему формирования сигнала.

Для понимания особенностей раздельного измерения параметров схемы замещения рассмотрим ИЦ на примере емкостного ПД, показанного на рис. 1, а, где C_x имитирует выходной информативный параметр, а R_x учитывает влияние паразитного неинформативного параметра, проявляющегося в виде сопротивления потерь в датчике. На рис. 1, б изображен частный случай ИЦ емкостного ПД при условии $R_x = \infty$ и тока утечки $I_{yt} = 0$.

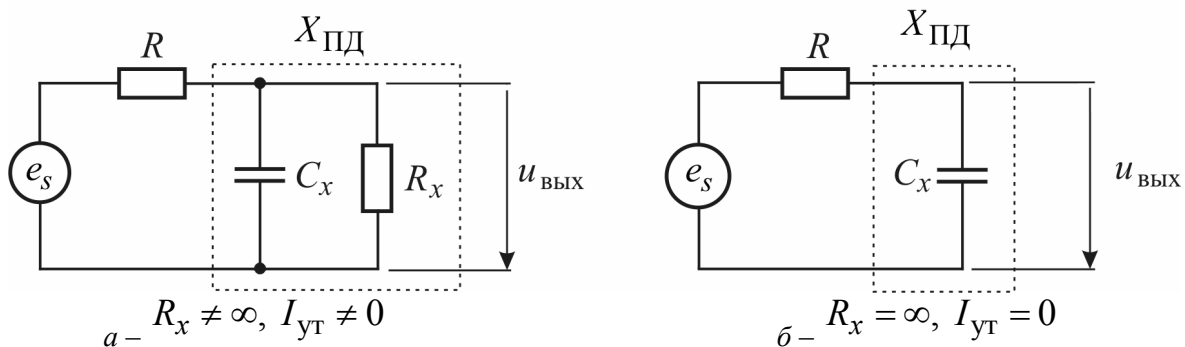


Рис. 1. ИЦ емкостного ПД

Пусть $e_s = E = \text{const}$. Дифференциальное уравнение (ДУ), описывающее работу ИЦ, изображенную на рис. 1а имеет вид

$$RC_x \frac{du_{\text{ВЫХ}}(t)}{dt} + \frac{R_x + R}{R_x} u_{\text{ВЫХ}}(t) = E, \quad (1)$$

Решение (1) имеет вид

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = E \frac{R_x}{R + R_x} \left(1 - \exp \left(- \frac{t(R_x + R)}{RR_x C_x} \right) \right). \quad (2)$$

Так как выражение (2) имеет две неизвестные переменные R_x и C_x , то для получения раздельной информации о параметрах схемы замещения необходимо иметь систему из двух уравнений (при двух значениях t_1 и t_2).

Рассматриваемый далее метод квазиобразцового интервала времени (МКИВ) при формировании одного переходного процесса (ПП) для получения раздельной информации об интересующих исследователя как информативных, так и неинформативных параметрах элементов схемы замещения ПД основывается на перемещении результатов измерения с ИЦ с потерями на ИЦ без потерь (рис. 2).

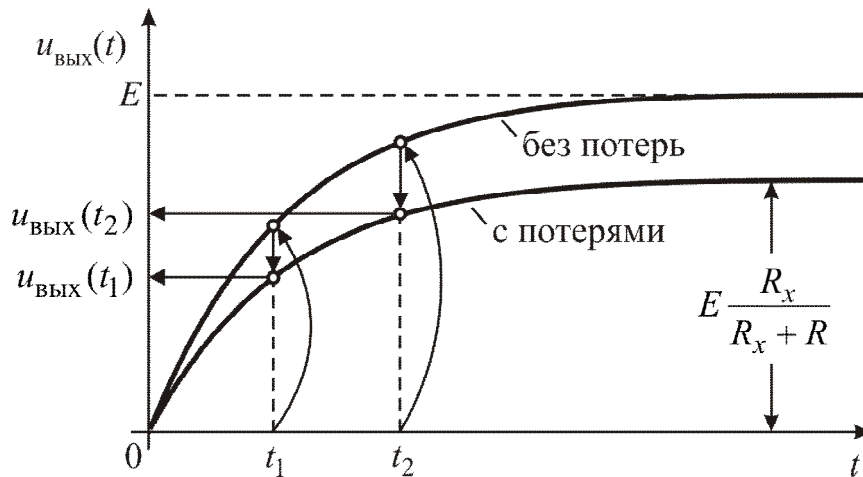


Рис. 2. Графическая интерпретация МКИВ при $e_s = E = \text{const}$

Пусть $u_{\text{ВЫХ}}(t_1) = u(t_1)$ – значение 1-го измерения с выхода ИЦ с потерями, а $u_{\text{ВЫХ}}(t_2) = u(t_2)$ – соответственного 2-го. Исходя из чего составим систему, где

$$K_0 = \frac{R_x}{R + R_x}$$

$$\left. \begin{aligned} u(t_1) &= EK_0 \left(1 - \exp \left(- \frac{t_1}{K_0 RC_x} \right) \right) \\ u(t_2) &= EK_0 \left(1 - \exp \left(- \frac{t_2}{K_0 RC_x} \right) \right) \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Теперь представим, что время t_1 равно постоянной времени ИЦ без потерь $t_1 = \tau_0 = RC_x$, а $t_2 = n\tau_0 = nRC_x$, где $n = t_2/t_1$.

В результате система (3) примет вид

$$\left. \begin{aligned} u(t_1) &= EK_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{K_0}\right) \right) \\ u(t_2) &= EK_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{n}{K_0}\right) \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Из первого уравнения системы (4) выразим $\exp\left(-\frac{1}{K_0}\right)$ и полученное выражение подставим во второе уравнение данной системы при этом, возведя его в степень n

$$\left(1 - \frac{u(t_1)}{EK_0} \right)^{t_2} = \left(1 - \frac{u(t_2)}{EK_0} \right)^{t_1}, \quad (5)$$

или

$$1 - \frac{u(t_1)}{EK_0} = \left(1 - \frac{u(t_2)}{EK_0} \right)^{\frac{t_1}{t_2}}. \quad (6)$$

Случай 1. Для нахождения K_0 следует разложить правую часть тождества (6) в ряд Тейлора [1] для показательной функции вида

$$\begin{aligned} (1+x)^m &= 1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3 + \dots + \\ &+ \frac{m(m-1)\dots(m-n+1)}{n!}x^n + \dots, \end{aligned} \quad (7)$$

где $x \in (-1, 1)$.

Для четырех членов получим следующее соотношение

$$\begin{aligned} 1 - \frac{u(t_1)}{EK_0} &= 1 - \frac{t_1}{t_2} \frac{u(t_2)}{EK_0} + \frac{t_1}{2!t_2} \left(\frac{t_1}{t_2} - 1 \right) \frac{u^2(t_2)}{(EK_0)^2} - \\ &- \frac{t_1}{3!t_2} \left(\frac{t_1}{t_2} - 1 \right) \left(\frac{t_1}{t_2} - 2 \right) \frac{u^3(t_2)}{(EK_0)^3} + \frac{t_1}{4!t_2} \left(\frac{t_1}{t_2} - 1 \right) \left(\frac{t_1}{t_2} - 2 \right) \left(\frac{t_1}{t_2} - 3 \right) \frac{u^4(t_2)}{(EK_0)^4} + \dots \end{aligned} \quad (8)$$

Случай 2. Предположим, что $t_2 = 2t_1$. В результате (6) примет вид

$$\left(1 - \frac{u(t_1)}{EK_0} \right)^2 = 1 - \frac{u(t_2)}{EK_0}. \quad (9)$$

Разрешим полученное тождество относительно K_0 :

$$K_0 = \frac{R_x}{R_x + R} = \frac{u^2(t_1)}{(2u(t_1) - u(t_2))E}, \quad (10)$$

откуда

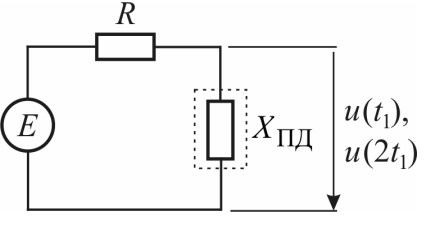
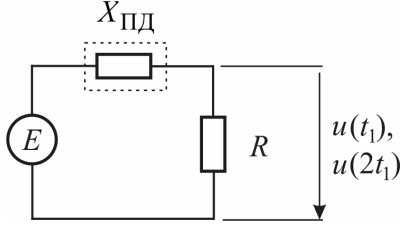
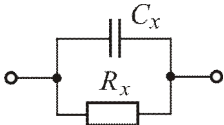
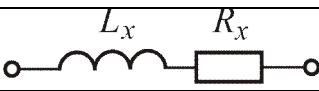
$$R_x = \frac{Ru^2(t_1)}{(2u(t_1) - u(t_2))E - u^2(t_1)}; \quad (11)$$

$$C_x = - \frac{(R + R_x)t_1}{RR_x \ln \left(\frac{u(t_2) - u(t_1)}{u(t_1)} \right)}. \quad (12)$$

Так как индуктивность и емкость обладают свойством дуальности, то использование этого принципа позволяет значительно облегчить исследование ПП в ИЦ. Далее с помощью разработанного метода можно аналогично рассчитать значения элементов схемы замещения индуктивного ПД, при различных способах включения. Полученные расчетные формулы занесем в табл. 1.

Таблица 1

**Раздельное измерение параметров схемы замещения ПД
с помощью МКИБ при $t_2 = 2t_1$**

Варианты включения ПД в ИЦ	
	
Емкостной датчик со схемой замещения 	
$K_0 = \frac{R_x}{R_x + R} = \frac{u^2(t_1)}{(2u(t_1) - u(2t_1))E}$ $R_x = R \frac{u^2(t_1)}{(2u(t_1) - u(2t_1))E - u^2(t_1)}$ $C_x = - \frac{(R + R_x)t_1}{RR_x \ln \left(\frac{u(2t_1) - u(t_1)}{u(t_1)} \right)}$	$K_0 = \frac{R_x}{R_x + R} = \frac{2u(t_1) - u^2(t_1)/E - E}{2u(t_1) - u(2t_1) - E}$ $R_x = R \frac{(u(t_1) - E)^2}{u(2t_1)E - u^2(t_1)}$ $C_x = - \frac{(R + R_x)t_1}{RR_x \ln \left(\frac{u(t_1) - u(2t_1)}{E - u(t_1)} \right)}$
Индуктивный датчик со схемой замещения 	
$K_0 = \frac{R}{R_x + R} = \frac{2u(t_1) - u^2(t_1)/E - E}{2u(t_1) - u(2t_1) - E}$ $R_x = R \frac{u(2t_1)E - u^2(t_1)}{(u(t_1) - E)^2}$ $L_x = - \frac{(R + R_x)t_1}{\ln \left(\frac{u(t_1) - u(2t_1)}{E - u(t_1)} \right)}$	$K_0 = \frac{R}{R_x + R} = \frac{u^2(t_1)}{(2u(t_1) - u(2t_1))E}$ $R_x = R \frac{(2u(t_1) - u(2t_1))E - u^2(t_1)}{u^2(t_1)}$ $L_x = - \frac{(R + R_x)t_1}{\ln \left(\frac{u(2t_1) - u(t_1)}{u(t_1)} \right)}$

В табл. 2 приведено сравнение полученных нами выражений с уже разработанными формулами.

Таблица 2

Сравнение полученных выражений с существующими формулами при $t_2 = 2t_1$

№ п/п	Источник	Неизвестный параметр	
		R_x	C_x
1	[4]	–	$C_x = \frac{t_2 - t_1}{R \ln \left(\frac{E - u(t_1)}{E - u(t_2)} \right)}$
2	[6]	–	$C_x = - \frac{t_2 - t_1}{R \ln \left(1 - \frac{u(t_2)}{u(t_1)} \right)}$
3	МКИВ	$R_x = \frac{R u^2(t_1)}{(2u(t_1) - u(t_2))E - u^2(t_1)}$	$C_x = - \frac{(R + R_x)t_1}{R R_x \ln \left(\frac{u(t_2) - u(t_1)}{u(t_1)} \right)}$

Рассмотрим раздельное измерение параметров индуктивного ПД за счет формирования двух ИП. ИЦ изображена на рис. 3а, а на рис. 3б – схема замещения индуктивного ПД.

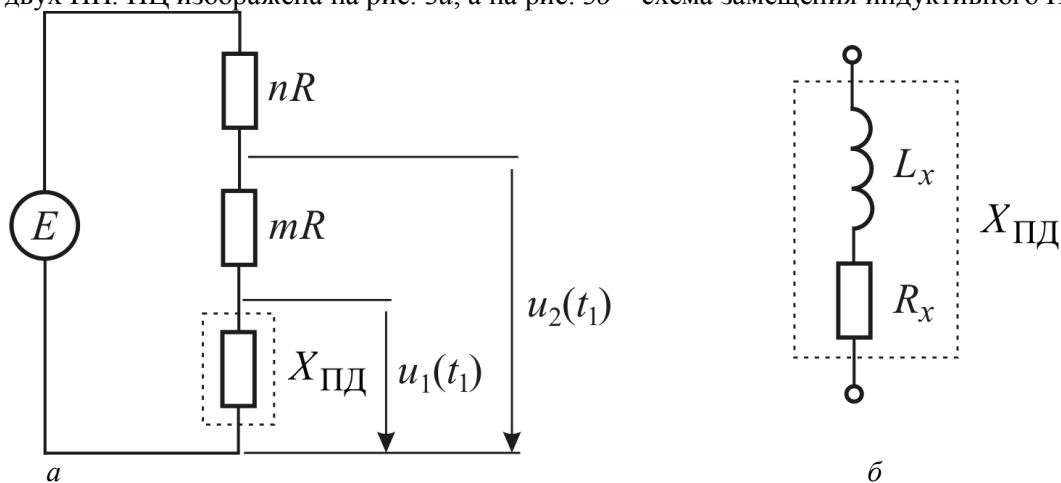


Рис. 3. ИЦ индуктивного ПД с формированием 2-х ИП

Так как ИЦ формирует два ИП, то работа данной цепи описывается следующей системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} EK_0 \left(\frac{1}{K_0} - 1 + \exp \left(- \frac{t_1}{\tau_0 K_0} \right) \right) &= u_1(t_1) \\ EK_0 \left(\frac{1}{K_0} - \frac{n}{m+n} \left[1 - \exp \left(- \frac{t_1}{\tau_0 K_0} \right) \right] \right) &= u_2(t_1) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где $K_0 = \frac{(m+n)R}{(m+n)R + R_x}$, $\tau_0 = \frac{L_x}{(m+n)R}$, m и n – любые числа.

В результате решением (12) будет выражение вида

$$(m+n)u_2(t_1) - nu_1(t_1) = mE. \quad (14)$$

Из (13) становится очевидным, что при формировании второго ПП можно лишь установить взаимосвязь между E и $u_1(t_1)$ с $u_2(t_1)$, где для простоты вычислений следует принимать $m = n = 1$.

В заключение в табл. 3 сравним полученные результаты с уже ранее разработанным методом (для одного значения R_x).

Таблица 3

Сравнение результатов полученных разными методами

№ п/п	Наименование метода (расчетная формула)
1	МКИВ
	$R_x = R \left[\frac{(2u_1(t_1) - u_2(t_1)) u_1(2t_1) - u_1^2(t_1)}{(u_1(t_1) - u_2(t_1))^2} - 1 \right]$
2	Аппроксимационный подход [5]
	$R_x = R \left[\frac{2u_1(t_1)[u_1(2t_1) + u_2(t_1) - u_1(t_1)] - u_1(t_2)[u_1(t_2) + u_1(2t_1)]}{(u_2(t_1) - u_1(t_1))^2} \right]$

Становится очевидным, что при одинаковой погрешности вычислений с помощью МКИВ появляется возможность выполнения расчетов на одну операцию меньше, а также упрощается получение раздельной информации о параметрах схемы замещения ПД – как емкостного, так и индуктивного.

Выводы.

1. Разработан и математически описан МКИВ, позволяющий получать раздельную информацию об интересующих как информативных (C_x , L_x), так и неинформативных (R_x) параметрах элементов схемы замещения ПД для любого интервала времени (случаи 1 и 2).

2. Реализация предложенного метода – позволит значительно повысить точность измерения. Данный метод может использоваться как в ИЦ ПД, так и для измерения значений емкости конденсаторов и индуктивности катушек.

3. С помощью МКИВ появляется возможность получения раздельной информации о параметрах ПД с 3-х и более элементной схемой замещения.

4. К недостаткам разработанного метода следует отнести ограничение на использование при $E = \text{const}$.

Список литературы

- Бертмант А. Ф. Краткий курс математического анализа для вузов / А. Ф. Бертмант, И. Г. Араманович. – Москва, 1971. – С. 736.
- Затылкин А. В. Управление исследованиями моделей радиотехнических устройств на этапе проектирования / А. В. Затылкин, А. Г. Леонов, Н. К. Юрков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2012. – № 1. – С. 138–142.

3. Кемалов Б. К. Краткий обзор методов имитационного моделирования / Б. К. Кемалов, А. В. Лысенко, И. Д. Граб, Н. В. Горячев, Б. К. Кемалов, Н. К. Юрков // Современные информационные технологии. – 2011. – № 14. – С. 171–176.
4. Мамиконян Б. М. Измеритель параметров датчиков физических величин / Б. М. Мамиконян, Х. Б. Мамиконян // Вестник РАУ. Сер. Физико-математические и естественные науки. – 2008. – № 1. – С. 41–47.
5. Мелентьев В. С. Аппроксимационный подход к анализу двухэлементных двухполюсных электрических цепей / В. С. Мелентьев, Е. В. Костенко // Математическое моделирование и краевые задачи. – 2009. – С. 98–101.
6. Мелентьев В. С. Методы измерения параметров линейных электрических цепей по мгновенным значениям нескольких переходных процессов / В. С. Мелентьев, А. В. Цапаев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2008. – № 2. – С. 80–90.
7. Хоменко Т. В. Сравнительный анализ совокупности эксплуатационных характеристик датчиков температуры и эксплуатационных характеристик автоматизированной системы поискового конструирования «ИНТЕЛЛЕКТ» / Т. В. Хоменко // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2008. – № 2. – С. 99–103.
8. Yurkevich E. V., Kryukova L. N. Problems with Regulating the Functional Reliability of Means of Measurement and Control in Industrial Processes / E. V. Yurkevich, L. N. Kryukova // Measurement Techniques. – 2013. – Vol. 56. – P. 25–30.

References

1. Bertmant A. F., Aramanovich I. G. *Kratkiy kurs matematicheskogo analiza dlya vuzov* [Short course of mathematical analysis for universities]. Moscow, 1971, p. 736.
2. Zatylnkin A. V., Leonov A. G., Yurkov N. K. Upravlenie issledovaniyami modeley radio-tekhnicheskikh ustroystv na etape proektirovaniya [Research management models of radiotechnical devices at design]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2012, no. 1, pp. 138–142.
3. Kemalov B. K., Lysenko A. V., Grab I. D., Goryachev N. V., Kemalov B. K., Yurkov N. K. Kratkiy obzor metodov imitatsionnogo modelirovaniya [A brief overview of simulation modeling]. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii* [Modern Information Technologies], 2011, no. 14, pp. 171–176.
4. Mamikonyan B. M., Mamikonyan Kh. B. Izmeritel parametrov datchikov fizicheskikh velichin [Meter of parameters of sensors of physical quantities]. *Vestnik RAU. Seriya. Fiziko-matematicheskie i estestvennye nauki* [Bulletin of Russian-Armenian University. Series. Physical and Mathematical and Natural Sciences], 2008, no. 1, pp. 41–47.
5. Melentev V. S., Kostenko Ye. V. Approksimatsionnyy podkhod k analizu dvukhelementnykh dvukhpolyusnykh elektricheskikh tsepey [Approximation approach to the analysis of two-element bipolar circuits]. *Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi* [Mathematical modeling and boundary value problems.], 2009, pp. 98–101.
6. Melentev V. S., Tsapaev A. V. Metody izmereniya parametrov lineynykh elektricheskikh tsepey po mgnovennym znacheniyam neskolkikh perekhodnykh protsessov [Methods of measuring the parameters of linear electric circuits on the instantaneous values of several transient processes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [News of Higher Educational Institutions. Volga region. Engineering Sciences], 2008, no. 2, pp. 80–90.
7. Khomenko T. V. Sravnitelnyy analiz sovokupnosti ekspluatatsionnykh kharakteristik datchikov temperatury i ekspluatatsionnykh kharakteristik avtomatizirovannoy sistemy poiskovogo konstruirovaniya «INTYeLLYeKT» [Comparative analysis of the aggregate performance of the temperature sensors and the performance of the automated system design search "INTELLIGENCE"]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2008, no. 2, pp. 99–103.
8. Yurkevich E. V., Kryukova L. N. Problems with Regulating the Functional Reliability of Means of Measurement and Control in Industrial Processes. *Measurement Techniques*, 2013, vol. 56, pp. 25–30.