

ПРОГРАММНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ БАЛАНСИРОВКИ МОСТОВЫХ СХЕМ МЕТОДОМ ИНЖЕКЦИИ ТОКА

И.Г. КЛЮЕВ, *магистрант каф. информационно-измерительных систем и технологий приборостроения МГУЛ,*

П.А. ТАРАСЕНКО, *проф. каф. информационно-измерительных систем и технологий приборостроения МГУЛ, канд. техн. наук,*

Е.А. КУЗНЕЦОВ, *вед. инженер, начальник отдела НПП «МЕРА», канд. техн. наук*

oxette4@rambler.ru, tarasenko@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Научно-производственное предприятие «МЕРА»

141002, Россия, Московская область, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2, кор. 13

Приведен метод балансировки тензоизмерительных мостов, основанный на инъекции тока в одно из плеч моста. Такой метод позволяет использовать для питания мостовой схемы как источник тока, так и источник напряжения. Для проверки предлагаемого решения была использована программная среда «Multisim», в которой были смоделированы мостовая схема, различные типы источников питания, источник инъекции тока для балансировки. Проведено моделирование, по итогам которого были получены результаты, свидетельствующие о том, что предлагаемую двухпроводную схему подключения источника инъекции тока возможно использовать в мостах, запитанных как от источника постоянного тока, так и от источника постоянного напряжения. Предлагаемая схема позволяет уменьшить начальный разбаланс мостовой схемы, а также температурный дрейф выходного сигнала.

Ключевые слова: инъекции тока, балансировка моста, тензодатчик.

В настоящее время для решения задач измерения деформаций широко используются системы измерений физических величин, использующие тензорезисторы (тензодатчики) в качестве первичных преобразователей [1, 2].

Наиболее распространенной схемой включения тензодатчиков для измерения упругих деформаций является мост Уитстона, называемый в этом случае тензомостом.

Использование тензомоста сопровождается, а в ряде случаев и ограничивается проблемой балансировки мостовой схемы, выраженной в необходимости компенсации начального смещения, то есть начального разбаланса [3].

Существуют различные методы балансировки мостовых схем, но они не являются универсальными, а имеют такие недостатки, как низкая точность балансировки, ограниче-

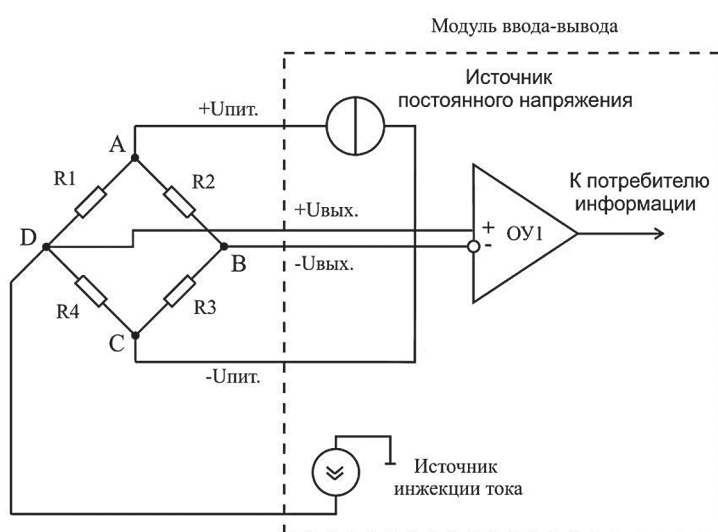


Рис. 1. Однопроводная схема подключения источника инъекции тока

Fig. 1. A single-wire connection scheme of a current injection source

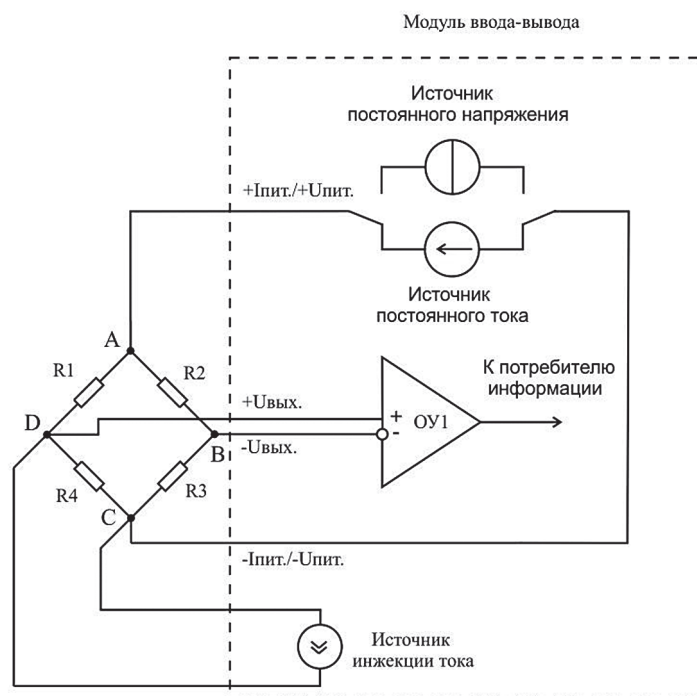


Рис. 2. Двухпроводная схема подключения источника инжекции тока

Fig. 2. A two-wire connection scheme of a current injection source

ние диапазона измерения, уменьшение чувствительности, внесение дополнительной погрешности при воздействии температурного поля на тензодатчик и другие [4–6].

Наиболее перспективным методом повышения точности и качества балансировки тензомостов является метод инжекции тока.

Инжекция тока – процесс добавления тока в одно из плеч мостовой схемы. Схема, иллюстрирующая принцип, на котором основан метод инжекции тока, показана на рис. 1.

Измерительный мост, состоящий из резисторов R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , подключен к источнику постоянного напряжения. На выходной диагонали моста CB возникает разность потенциалов, которая является выходным сигналом. Выходной сигнал поступает на вход инструментального усилителя ОУ1, а с его выхода – к потребителю информации [6, 7].

Для того чтобы привести тензомост к уравновешенному состоянию, в одно из плеч моста, например R_4 , направляется ток инжекции, в результате чего происходит перераспределение токов в мостовой схеме, приводящее к нулевому уровню выходного сигнала.

Схема балансировки тензомоста, запитанного от источника постоянного напряже-

ния методом инжекции тока, реализована на практике в экспериментальном устройстве – модуле ввода-вывода «МХ-340», изготовленного НПП «Мера» [8]. Однако при необходимости питания тензомоста от источника постоянного тока схема балансировки методом инжекции тока, представленная на рис. 1, непригодна.

Для решения задачи балансировки тензомоста, запитанного от источника постоянного тока, предлагается двухпроводная схема подключения источника инжекции тока, изображенная на рис. 2, которую можно использовать при любом типе питания мостовой схемы.

Для проверки эффективности предлагаемого решения был проведен машинный эксперимент, заключающийся в том, что с использованием пакета «*Multisim 11*» была смоделирована двухпроводная схема подключения источника инжекции [9]. А затем было исследовано влияние воздействия температуры на измерительный мост, сбалансированный методом инжекции тока, в сравнении с несбалансированным тензомостом, собранным на той же элементной базе. Измерительный мост собран из четырех резисторов,

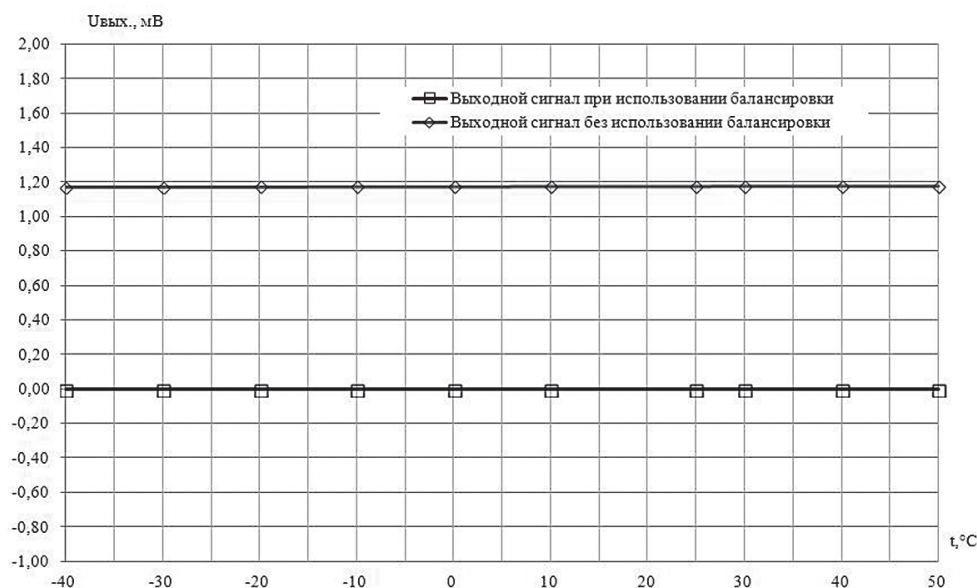


Рис. 3. Зависимости выходных сигналов от температуры при использовании двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока и без нее

Fig. 3. The dependence of the output signals on the temperature using a two-wire scheme of connection of a current injection source and without it

характеристики которых (номинал и значение ТКС) соответствовали характеристикам реального тензодатчика серии ЕА фирмы VISHAY [10]. Машинный эксперимент проводился для случаев моста, запитанного от источника постоянного тока и от источника постоянного напряжения.

В ходе эксперимента был смоделирован уравновешенный мост, состоящий из четырех резисторов. Были заданы следующие номиналы резисторов: $R_1 = 199,82 \text{ Ом}$, $R_2 = 200,12 \text{ Ом}$, $R_3 = 199,86 \text{ Ом}$, $R_4 = 199,95 \text{ Ом}$. Значения резисторов в смоделированной схеме соответствуют паспортным значениям выбранного типа тензодатчика номиналом в 200 Ом, со значением абсолютной погрешности $\Delta R = 0,2 \text{ Ом}$.

В ходе моделирования, в свойствах резистора, установлен температурный коэффициент сопротивления $0,000074 \text{ 1/}^\circ\text{C}$, который соответствует реальному температурному коэффициенту сопротивления тензодатчика, изготовленного из константана [11, 12].

Измерительный мост, запитанный от источника постоянного тока ($I_{\text{пит}} = 12 \text{ мА}$), был сбалансирован при температуре 25°C . При этом источник инжекции тока подключен к измерительному мосту по двухпровод-

ной схеме. В результате значение тока инжекции составило $I_{\text{инж}} = -11,8 \text{ мкА}$.

Затем было смоделировано воздействие температуры, которая изменялась в диапазоне от -40°C до $+50^\circ\text{C}$, на сбалансированный и несбалансированный измерительный мост, питающийся от источника постоянного тока ($I_{\text{пит}} = 12 \text{ мА}$), при этом регистрировалось падение напряжения на выходной диагонали моста.

В результате смоделированного эксперимента получены две зависимости выходного сигнала от температуры.

На рис. 3 представлены графики зависимостей выходных сигналов от температуры, при использовании двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока и без использования двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока к мосту, запитанного от источника постоянного тока.

Как видно из графиков, представленных на рис. 3, использование двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока для балансировки моста, питаемого от источника постоянного тока, позволяет значительно уменьшить начальное смещение сигнала на выходной диагонали моста в температурном диапазоне $[-40^\circ\text{C} \dots +50^\circ\text{C}]$.

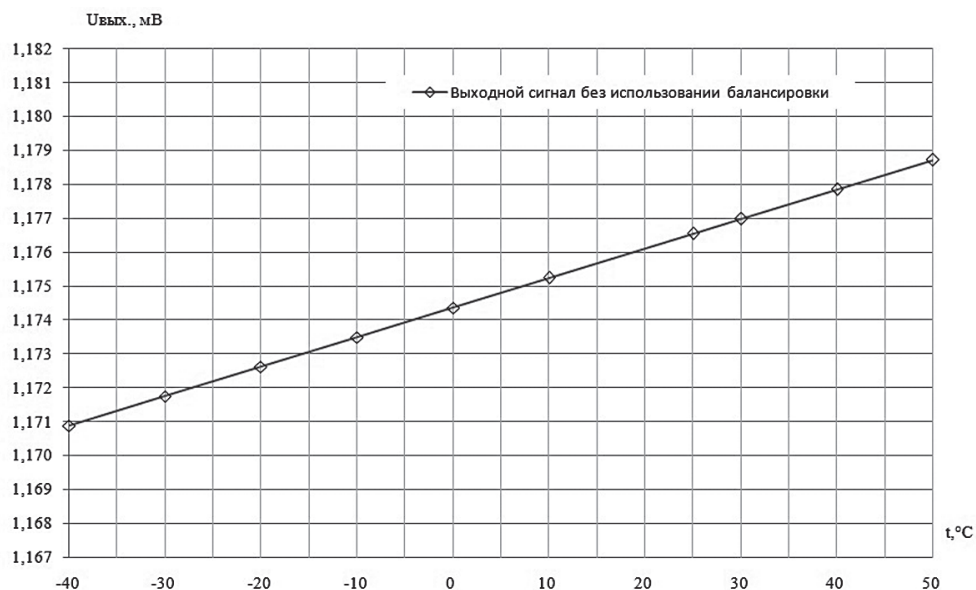


Рис. 4. Зависимость выходного сигнала от температуры без использования двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока к мосту, запитанного от источника постоянного тока
 Fig. 4. The dependence of the output signal on the temperature without using of a two-wire scheme of connection of a current injection source to the injection bridge, powered from a constant current source

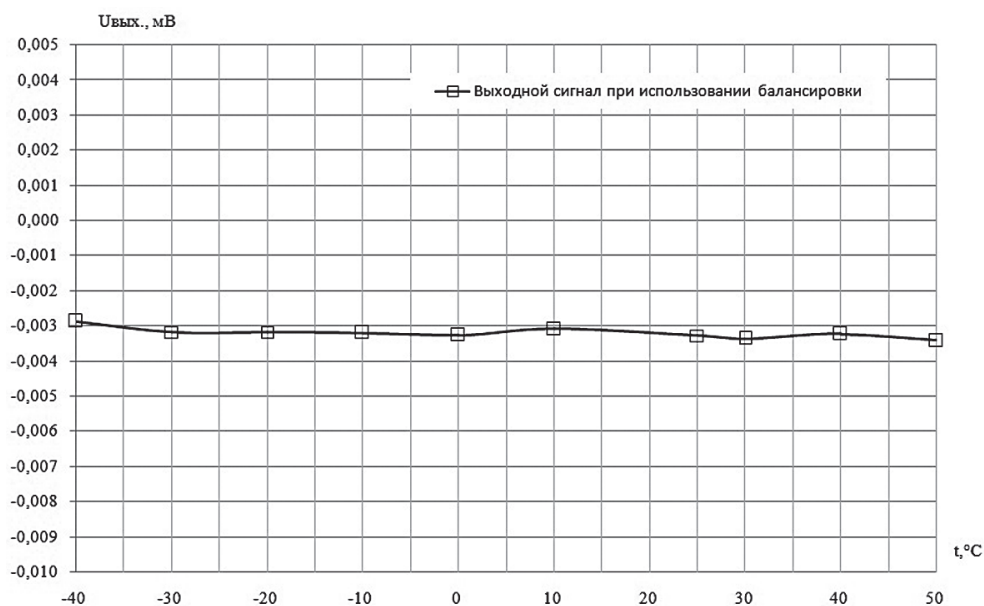


Рис. 5. Зависимость выходного сигнала от температуры при использовании двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока к мосту, запитанного от источника постоянного тока
 Fig. 5. The dependence of the output signal of the temperature using a two-wire scheme of connection of a current injection source to the injection bridge, powered from a constant current source

На рис. 4, 5 представлены графики зависимости выходного сигнала от температуры.

Как видно из графика, представленного на рис. 4, изменение выходного сигнала при воздействии температуры на мост, к которому не подключен источник инжекции тока, составляет приблизительно 0,0078 мВ.

Изменение выходного сигнала при воздействии температуры в случае моста, к которому подключен источник инжекции тока по двухпроводной схеме, составляет около 0,002 мВ.

Для исследования эффективности использования двухпроводной схемы балансировки (рис. 2) в мостах, запитанных от источника постоянного напряжения, была смо-

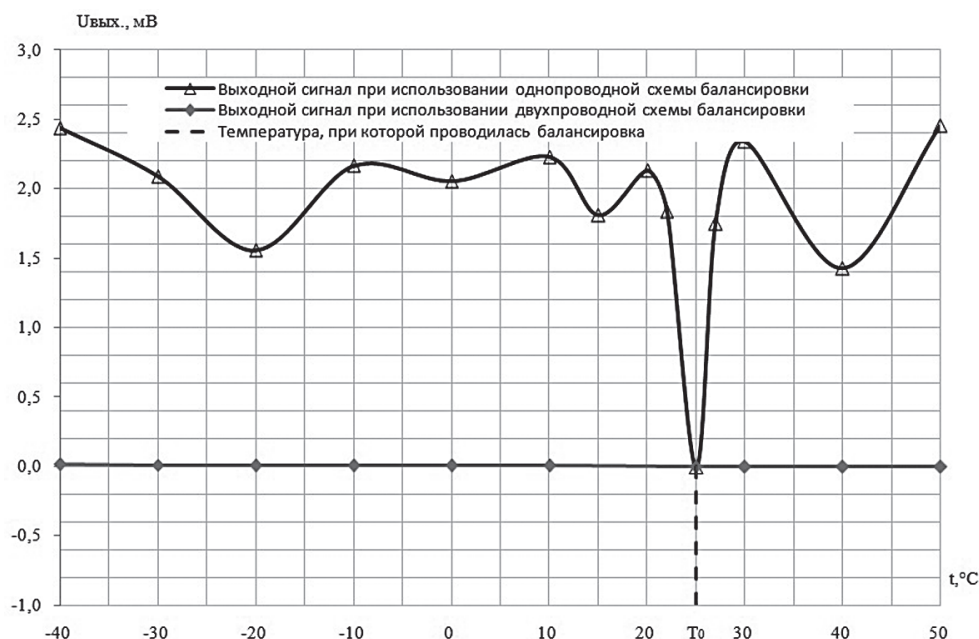


Рис. 6. Зависимости выходных сигналов от температуры при использовании однопроводной и двухпроводной схем подключения источника инжекции тока к мосту, запитанного от источника постоянного напряжения

Fig. 6. The dependence of the output signal on the temperature while using a single-wire and a two-wire schemes of connection of a current injection source to the injection bridge powered from a constant current source

делирована известная однопроводная схема балансировки (рис. 1). Это позволило сравнить значения дрейфов выходных сигналов от температуры при использовании двух различных вариантов подключения источника инжекции тока к одной и той же мостовой схеме.

Измерительный мост, запитанный от источника постоянного напряжения ($U_{\text{пит}} = 5 \text{ В}$), был сбалансирован при температуре 25°C , в случае использования двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока, а затем в случае использования однопроводной схемы подключения источника инжекции тока. В результате значение тока инжекции при использовании двухпроводной схемы подключения составило $I_{\text{инж.}} = -24,4 \text{ мкА}$, а при использовании однопроводной схемы подключения источника инжекции значение тока составило $I_{\text{инж.}} = -3,4 \text{ мкА}$.

Затем было смоделировано воздействие температуры, которая изменялась в диапазоне от -40°C до $+50^\circ\text{C}$, на измерительный мост, использующий однопроводную схему подключения источника инжекции тока, а также на измерительный мост, использующий двухпроводную схему подключения

источника инжекции тока, при этом регистрировалось падение напряжения на выходной диагонали моста.

В результате смоделированного эксперимента получены две зависимости выходного сигнала от температуры.

На рис. 6 представлены графики зависимостей выходных сигналов от температуры, полученные при условии питания моста от источника постоянного напряжения, с применением однопроводной (рис. 1.) и двухпроводной (рис. 2) схем балансировки моста.

Как видно из графиков, представленных на рис. 6, использование однопроводной схемы подключения источника инжекции тока к мосту, запитанному от источника постоянного напряжения, позволяет уменьшить начальное смещение выходного сигнала, но из-за воздействия температуры на мостовую схему нулевой уровень выходного сигнала не сохраняется.

При этом использование двухпроводной схемы подключения источника инжекции тока к мосту, запитанному от источника постоянного напряжения, обеспечивает нулевой уровень выходного сигнала при воздействии температуры в диапазоне $[-40^\circ\text{C} \dots +50^\circ\text{C}]$.

На основании результатов моделирования можно утверждать, что предлагаемую двухпроводную схему (рис. 2) подключения источника инъекции тока можно использовать в мостах, запитанных как от источников постоянного тока, так и от источников постоянного напряжения. Двухпроводная схема подключения источника инъекции тока уменьшает погрешность, вызванную начальным разбросом значений сопротивлений тензодатчиков. А также предлагаемая схема практически исключает температурный дрейф выходного сигнала измерительного моста.

Библиографический список

1. ГОСТ 20420-75. Тензорезисторы. Термины и определения – Введ. 1975-01-01. -М: Изд-во стандартов, 1987 – 3 с.
2. ГОСТ 21616-91. Тензорезисторы. Общие технические условия – Введ. 1992-01-01. -М: Изд-во стандартов, 1991 – 2,3 с.
3. Бутиков, Е.И. Физика для углубленного изучения: в 3 ч. Ч. 2 Электродинамика. Оптика / Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 101 с.
4. Андреев, А.А. Автоматические электронные показывающие, регистрирующие и регулирующие приборы / А.А. Андреев – Л. : Машиностроение, 1981. – 111 с.
5. Городовский, А.Ф. Мосты постоянного тока / Городовский А.Ф. – М. : Энергия, 1964.
6. Болтон, У. Карманный справочник инженера-метролога / У. М. Болтон: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002. – 100 с.
7. Загаевский, Т. Промышленная электроника / Т. Загаевский, С. Мальзахер, А. Квецинский; перевод с польского Климашевского В. А. и Горшенина Г. Д. под редакцией Баракаева Х. Ф. – М.: Энергия 1976.
8. НПП «Мера» МХ-340 Модуль АЦП с тензоусилителем. Руководство эксплуатации / НПП «Мера», 2011.
9. Хернтер, М.Е. Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств / Марк Е. Хернтер; перевод с англ. Осипов А.И. – М.: ДМК Пресс, 2006.
10. Tech Note TN-505-4 Strain Gage Selection: Criteria, Procedures, Recommendations – VISHAY corporation. опубли. 17.09.2007.
11. Калашников, С.Г. Электричество /С.Г. Калашников. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 127 с.
12. Ландсберг, Г.С. Элементарный учебник физики: учеб. пос. Т. 2 / под ред. Г.С. Ландсберга – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 117 с.

SOFTWARE STAND FOR CHECKING BRIDGE SCHEMES BALANCING USING CURRENT INJECTION METHOD

Klyuyev I.G., gr. MSFU; Tarasenko P.A., Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.); Kuznetsov E.A., «MERA», Ph.D. (Tech.)

oxette4@rambler.ru, tarasenko@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytisch, Moscow reg., Russia
SPE «MERA», st. Kolpakov, 2, cor. 13, 141002, Mytisch, Moscow reg., Russia

A new method of bridge schemes balancing based on current injection in one of the bridge's arms is described in the article. This method allows to use both current source and voltage source to power the bridge scheme. The software environment «Multisim» was used for the verification of the proposed solution. A bridge scheme, various types of sources of power and current injection source for balancing were modeled in it. The following results were received at the end of modeling: double-wire connection scheme of current injection source can be used in bridges, which are powered by both current injection source and voltage source; this scheme can reduce the initial imbalance of the bridge scheme. Also a new method of balancing allows to reduce the drift of the output signal of the bridge scheme, caused by the impact of the temperature.

Keywords: current injections, bridge balancing, strain gage.

References

1. GOST 20420-75. *Tenzorezistory. Terminy i opredeleniya* [State Standard 20420-75. Strain gauges. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 1987. 3 p.
2. GOST 21616-91. *Tenzorezistory. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard 21616-91. Strain gauges. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1982. 3 p.
3. Butikov E.I., Kondrat'ev A.S. *Fizika dlya uglublennogo izucheniya v 3 ch. Ch 2: Elektrodinamika. Optika* [Physics-depth study: in 3 parts, part 2 Electrodynamics. Optics]. Moscow, FIZMATLIT, 2008. 101 p.
4. Andreev A.A. *Avtomaticheskie elektronnye pokazivayushchie, registriruyushchie i reguliruyushchie pribory* [Automatic electronic showing recording and regulating devices]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1981. 111 p.
5. Gorodovskiy A.F. *Mosty postoyannogo toka* [DC bridges]. Moscow, Energy Publ., 1964.
6. Bolton U. *Karmannyi spravochnik inzhenera-metrologa* [Instrumentation & measurment Pocket book]. Moscow, Dodeka-XXI Publ., 2002. 100 p.
7. Zagaevskiy T., Mal'zakher S., Kvetsinskiy A. *Promyshlennaya elektronika* [Industrial electronics]. Moscow, Energy Publ., 1976.
8. SPE «MERA», *MX-340 Modul' ACP s tenzousilitelem. Rukovodstvo ekspluatatsii* [MX-340 module ADC with strain amplifier. User manual]. SPE «MERA», 2011.
9. Kherniter M.E. *Multisim. Sovremennaya sistema komp'yuternogo modelirovaniya i analiza skhem elektronnykh ustroystv* [The modern system of computer simulation and circuit analysis of electronic devices]. Moscow, DMK Press, 2006.
10. Tech Note TN-505-4 Strain Gage Selection: Criteria, Procedures, Recommendations – VISHAY corporation. Published 17.09.2007.
11. Kalashnikov S.G. *Elektrichestvo* [Electricity]. Moscow, FIZMALIT, 2003. 127 p.
12. Landsberg G.S. *Elementarnyy uchebnik fiziki: Ucheb. Posobie tom 2* [Elementary physics: part 2]. Moscow, FIZMATLIT, 2001. 117 p.