

DOI: 10.15593/2224-9400/2019.2.05

УДК 67.05

Е.П. Величко, Б.Г. Гершонок

ПАО «Метафракс», Губаха, Россия

**РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ
ДЛЯ КАЛИБРОВКИ УРОВНЕМЕРОВ**

Рассмотрен процесс создания установки, предназначенной для градуировки, калибровки, настройки и наладки микроимпульсных и волновых радарных уровнемеров. Необходимость такой установки продиктована увеличивающимся объемом проводимых работ по обслуживанию уровнемеров на предприятии ПАО «Метафракс». Выполнен анализ уровнемеров, используемых на предприятии. Определены требования, предъявляемые к разрабатываемой установке. На основании этого анализа выбран метод калибровки уровнемеров и выбраны образцовые средства измерения (СИ). Произведен анализ возможных факторов, влияющих на точность воспроизведения уровня, выполнены необходимые метрологические расчеты.

В соответствии с требованиями к установке разработано ее аппаратное оформление. Спроектированы и изготовлены трубопроводы, основной резервуар.

Для увеличения количества обслуживаемых уровнемеров установка оснащена микропроцессорным регулятором, позволяющим автоматизировать ряд работ по обслуживанию уровнемеров, а также автоматизировать формирование протоколов калибровки уровнемеров.

Разработан проект установки и оформлена рабочая документация.

Таким образом, создание уровнемерной установки позволит:

- 1) выполнять требования Федерального закона № 102 и нормативных документов по проведению калибровочных работ СИ уровня;*
- 2) заменить имитационный метод калибровки на метод непосредственного измерения уровня рабочей жидкости;*
- 3) расширить возможности калибровки СИ уровня за счет отказа от имитационного метода калибровки, устранить инструментальную и субъективную погрешности;*
- 4) значительно снизить затраты на приобретение готовой уровнемерной установки;*
- 5) снизить затраты на обслуживание парка СИ за счет отказа от обслуживания сторонними организациями.*

Ключевые слова: *уровнемер, проливной метод, калибровка, автоматизированная уровнемерная установка.*

E.P. Velichko, B.G. Gershonok

PAO Metafrax, Gubaha, Russian Federation

DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR SIZING LEVEL GAUGES

The paper deals with the creation of a facility designed for the calibration, calibration, adjustment and adjustment of micropulse and wave radar level gauges. The need for such an installation is dictated by the increasing volume of ongoing work on the maintenance of gauges at the enterprise of PJSC "Metafrax". The analysis of level gauges used in the enterprise has been performed. Developed requirements for the developed facility. Based on this analysis, the method of gauge calibration was selected and a selection of exemplary measuring instruments was made. The analysis of possible factors affecting the accuracy of the level, the necessary metrological calculations.

Based on the requirements for installation, its hardware design was developed. Designed and manufactured piping, the main tank.

To increase the number of serviced gages, the installation is equipped with a micro-processor controller, which allows to automate a number of works on servicing gages, as well as automate the formation of calibration protocols for gauges.

The project has been designed for installation and the working documentation has been drawn up.

Thus, the creation of a gage unit will provide:

- 1) compliance with the requirements of federal law No. 102 "On ensuring the uniformity of measurements";*
- 2) compliance with the requirements of regulatory documents for the calibration of the SI level;*
- 3) replacement of the simulation calibration method with the method of direct measurement of the working fluid level, in accordance with the requirements of regulatory documentation;*
- 4) extensions to the ability to calibrate the SI level by eliminating the imitational calibration method, eliminating instrumental and subjective errors;*
- 5) a significant reduction in the cost of purchasing a finished level unit;*
- 6) reduction in the cost of servicing the fleet of measurement due to the refusal of service by third parties.*

Keywords: *level gauge, pouring method, calibration, automated level gauge.*

В настоящее время на ПАО «Метафракс» калибровка уровнемеров осуществляется имитационным и проливным методом. На данный момент все эксплуатируемые уровнемеры можно условно разделить на две группы:

- 1) уровнемеры, подвергаемые калибровке имитационным методом, с помощью передвижного экрана и рулетки;
- 2) уровнемеры, подвергаемые калибровке проливным методом, с помощью ручной уровнемерной установки с диапазоном измерения от 0 до 1500 мм.

В связи с тем, что имеющиеся методы калибровки уровнемеров не обеспечивают желаемый диапазон и точность измерений и не удобны при проведении большого объема калибровочных работ, было решено разработать высокоточную автоматизированную установку для калибровки уровнемеров. Особенно предприятие интересуется калибровка микроимпульсных и волновых радарных уровнемеров.

Развитие предприятия, запуск новых производственных мощностей приводит к росту количества калибруемых средств измерения (СИ). В связи с этим все большую нагрузку принимает на себя служба главного метролога. В свою очередь ограниченный диапазон воспроизводимых значений уровня приведет к передаче работ по калибровке третьей стороне, что увеличит затраты на обслуживание парка уровнемеров.

Целью работы является обеспечение ПАО «Метафракс» высокоточным средством калибровки микроимпульсных и волновых радарных уровнемеров [1]. Для достижения этой цели была поставлена задача по созданию автоматизированной установки для калибровки уровнемеров.

Для расположения уровнемерной установки будут использоваться два помещения, расположенные на первом и втором этаже здания, которые соответствуют требованиям ГОСТ 8.395–80 «Нормальные условия при поверке». В качестве калибровочной среды будет использоваться вода пожарохозяйственная из сети предприятия согласно СанПиН 2.1.4.1074–2001 (далее – рабочая жидкость или вода).

В целях определения требуемой точности уровнемерной установки произведен анализ эксплуатируемых на ПАО «Метафракс» средств измерения уровня, который показал, что наиболее точные уровнемеры на ПАО «Метафракс» имеют абсолютную погрешность ± 3 мм. Исходя из этого можно определить допустимую погрешность проектируемой установки.

В соответствии с ГОСТ 8.477–82 средство поверки должно быть не менее чем в три раза точнее калибруемых уровнемеров. Необходимо определить предел допускаемой абсолютной погрешности и предел допускаемой приведенной погрешности уровнемерной установки [2].

Предел допускаемой абсолютной погрешности для уровнемерной установки

$$\Delta_{уст} = \Delta_{ур} / 3 = \pm 1 \text{ мм},$$

где $\Delta_{ур}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности калибруемого уровнемера; $\Delta_{уст}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности уровнемерной установки.

Пределы допускаемой приведенной погрешности уровнемерной установки рассчитываются по формуле

$$\gamma = \pm \frac{\Delta_{\text{уст}} \cdot 100}{A_{\text{ном}}},$$

где $\Delta_{\text{уст}}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности установки; $A_{\text{ном}}$ – нормирующее значение (принимаем равным предельно допустимому уровню рабочей жидкости) [3].

$$\gamma = \pm \frac{\Delta_{\text{уст}} \cdot 100}{A_{\text{ном}}} = \pm \frac{1 \cdot 100}{3270} = 0,031 \ %.$$

Результаты определения требуемой точности уровнемерной установки следующие:

минимальный уровень, мм.....	0,0
максимальный уровень, мм	3270
количество каналов измерения, шт.....	2
предел допускаемой абсолютной погрешности, мм	±1
пределы допускаемой приведенной погрешности, %.....	0,031

Функциональность установки, степень ее автоматизации.

Основным элементом установки является резервуар с внутренним диаметром 100 мм и длиной 3660 мм, установленный вертикально. Материал резервуара – нержавеющая сталь. В нижней части резервуара на высоте 390 мм от его днища установлен преобразователь разности давлений и на высоте 150 мм термометр сопротивления.

Преобразователь перепада давления должен иметь следующие метрологические характеристики [4]: диапазон измерений 0–40 кПа (0–4078 мм вод. ст.), приведенная погрешность не более 0,02 %.

В результате анализа рынка датчиков давлений и перепада давлений выбран датчик перепада давлений фирмы EMERSON типа Rosemount 3051 S, который удовлетворяет по точности и может использоваться в качестве эталона.

Технические и метрологические характеристики преобразователя давления EMERSON типа Rosemount 3051 S:

нижний предел измерения, мм вод.ст.....	0,0
верхний предел измерения, мм вод.ст.	21006
статическое давление или давление	
перегрузки, мм вод.ст.....	2 549 360
диапазон перенастройки	от P_{max} до $P_{\text{max}}/10$

предел допускаемой основной приведенной
погрешности, % ±0,025
межповерочный интервал, год 5

Для определения влияния температуры на погрешность установки произведен эксперимент, который показал, насколько меняется температура воды в трубопроводе и насколько будет меняться давление водного столба в трубопроводе.

В ходе эксперимента в установку была налита вода на максимальный уровень (3570 мм). При этом в течение рабочей смены каждый час производилась фиксация показаний температуры воды в трубопроводе. Показания температуры рабочей жидкости измерялись с помощью поверенного стеклянного ртутного термометра с ценой деления 0,1 °С. Температура в лаборатории, в которой находится измерительный трубопровод, поддерживается на постоянном уровне с помощью системы кондиционирования. За 6 часов изменение температуры воды в трубопроводе составило не более 0,5 °С.

Изменение давления из-за изменения уровня жидкости, обусловленного колебаниями температуры:

$$\Delta P = (\rho_{T_1} - \rho_{T_2}) gH,$$

где ρ_T – плотность воды, при определенной температуре, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$;
 g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$; H – высота столба жидкости, м.

Плотность воды при температуре 20,7 °С $\rho_{20,7^\circ} = 998,057 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; давление при температуре 20,7 °С $P_{20,7^\circ} = 998,057 \cdot 9,81 \cdot 3,66 = 35834,8374 \text{ Па}$ [5].

Плотность воды при температуре 21,2 °С $\rho_{21,2^\circ} = 997,949 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$; давление при температуре 21,2 °С $P_{21,2^\circ} = 997,949 \cdot 9,81 \cdot 3,66 = 35830,9597 \text{ Па}$.

Таким образом, дневное колебание давления столба жидкости, обусловленное изменением температуры, не будет превышать:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{20,7^\circ} - P_{21,2^\circ} = 35834,8374 - 35830,9597 = \\ &= 3,8777 \text{ Па} = 0,3954 \text{ мм вод.ст.} \end{aligned}$$

Данной величиной можно пренебречь и считать, что изменение температуры воды в трубопроводе не будет оказывать существенного влияния на изменение давления водного столба [6, 7].

Температура воды в начале и конце калибровки будет записываться в протокол калибровки. Поэтому для фиксирования температу-

ры в состав установки будет входить термопреобразователь сопротивления ТСМУ-205 фирмы «Элемер», имеющий следующие технические характеристики:

номинальное значение сопротивления	Pt100
диапазон измерения температур, °С	от 0 до 100
класс точности.....	0,25
длина монтажной части, мм.....	100
стоимость, руб.....	2000

Выходной сигнал преобразователя перепада давления токовый в диапазоне 4–20 мА, имеющий линейную функцию преобразования (т.е. изменение давления столба жидкости соответствует изменению уровня воды в резервуаре), поступает в регулирующий контроллер Базис-14.Р. По цифровому протоколу с HART коммуникатора Н-475, оператором установки снимаются показания преобразователя давления и фиксируются в протоколе калибровки. Выходной сигнал калибруемого уровнемера отображается на многофункциональном калибраторе модели TRX-IIR. Погрешность TRX-IIR равна $\pm 0,01$ % от показаний, поэтому она не будет оказывать существенного влияния на измеренное значение уровнемера. Показания калибруемого уровнемера снимаются с TRX-IIR и записываются в протокол калибровки [8].

На щите управления установлен регулирующий контроллер Базис-14.Р, с помощью которого устанавливаются калибровочные точки, а также контролируется температура рабочей жидкости. Также в состав установки входит термопреобразователь сопротивления для измерения температуры воды в резервуаре. Сигнал от термопреобразователя сопротивления поступает в регулирующий контроллер Базис-14.Р, который позволяет фиксировать изменение температуры в процессе калибровки уровнемера.

Принцип действия калибровочной уровнемерной установки основан на точном воспроизведении ряда дискретных значений уровня. При этом воспроизведение требуемых значений уровня осуществляется за счет непосредственного заполнения уровнемерной установки жидкостью (рис. 1).

Система налива/слива рабочей жидкости включает в себя измерительный резервуар *E1*, запорную арматуру для налива/слива рабочей жидкости *K1/ K2* (соленоидные клапаны).

Резервуар *E1* представляет собой емкость объемом $0,029 \text{ м}^3$, изготовленную из нержавеющей стали и предназначенную для создания столба рабочей жидкости. Вверху трубы *E1* предусмотрено отверстие

для установки калибруемых уровнемеров. В нижней части *E1* расположены преобразователь давления *LT* и термопреобразователь сопротивления *TE* [9,10].

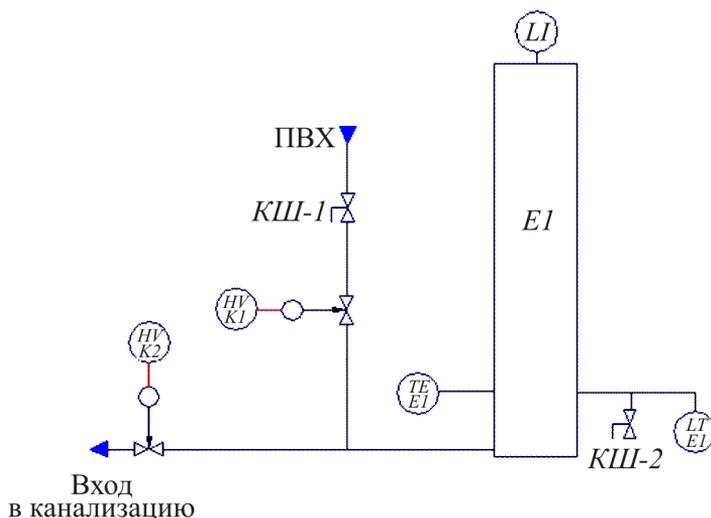


Рис. 1. Схема уровнемерной установки: *E1* – измерительная труба; *K1* – клапан регулирования уровня воды; *K2* – клапан слива воды; *LT* – преобразователь давления; *TE* – термопреобразователь сопротивления; *LI* – калибруемый уровнемер; *KШ-1*, *KШ-2* – краны шаровые

Для включения/выключения установки служит переключатель *SA2*, расположенный на щите ЦПУ (рис. 2). При переводе рукоятки *SA2* в правое положение уровнемерная установка включается в электросеть. При переводе (возврате) рукоятки *SA2* в первоначальное положение установка выключается из электросети.

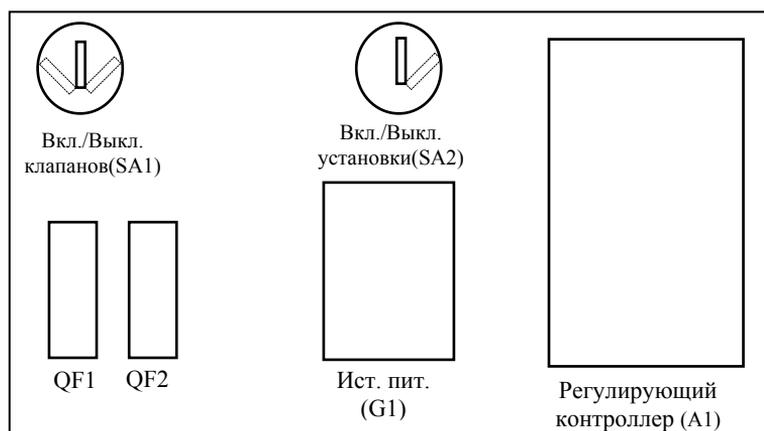


Рис. 2. Щит ЦПУ

При задании на регулирующем контроллере, необходимом для калибровки значения уровня рабочей жидкости, открывается клапан регулирования уровня воды *K1*, и по достижении заданного уровня рабочей жидкости в измерительной трубе *E1* клапан регулирования уровня воды *K1* закрывается. При этом клапан слива воды *K2* закрыт.

Для слива рабочей жидкости из измерительной трубы *E1* задается требуемое значение уровня регулирующим контроллером, клапан слива воды *K2* открывается и происходит слив рабочей жидкости из измерительной трубы *E1*. При этом клапан регулирования уровня воды *K1* закрыт.

Предусмотрено ручное управление электромагнитными клапанами, осуществляемое с помощью переключателя SA1. В зависимости от перевода рукоятки переключателя SA1 в правое либо в левое положение происходит открытие клапана регулирования уровня воды или клапана слива воды.

Термопреобразователь сопротивления *TE* предназначен для непрерывного измерения температуры рабочей жидкости в измерительной трубе *E1* в процессе калибровки. В соответствии с методикой калибровки в случае изменения температуры рабочей жидкости на 1 °С в процесс калибровки уровнемеров будет вноситься корректировка [11]. С этой целью значение температуры рабочей жидкости в начале и конце калибровки фиксируется калибровщиком и записывается в протокол калибровки.

Система управления, сбора и обработки информации состоит из щита ЦПУ, HART коммуникатора, многофункционального калибратора TRX-II, регулирующего контроллера Базис-14.Р [12].

Щит ЦПУ представляет собой металлическую конструкцию, на которой расположен регулирующий контроллер Базис-14.Р, источник питания 24 В постоянного тока, автоматические выключатели, переключатель SA1 – включение наливного/сливного клапанов, переключатель SA2 – включение/выключение калибровочной уровнемерной установки (см. рис. 2).

Выключатели автоматические QF1 и QF2 предназначены для защиты линий электросети от перегрузки и коротких замыканий [11].

Блок питания G1 преобразует напряжения сети до значения 24 В и предназначен для снабжения электроэнергией узлов уровнемерной установки, в частности регулирующего контроллера A1 и клапанов электромагнитных *K1* и *K2*.

Регулирующий контроллер А1 управляет клапанами *K1* и *K2*, тем самым регулируется уровень жидкости в измерительной трубе *E1*.

Если необходимо увеличить уровень жидкости в трубе *E1*, то необходимо ввести соответствующее значение уровня в регулирующий контроллер А1, выходной сигнал от регулирующего контроллера А1 подается на электромагнитный клапан *K1*, который в свою очередь открывается, тем самым происходит наполнение измерительной трубы *E1* рабочей жидкостью до заданного уровня.

Если необходимо уменьшить уровень жидкости в трубе *E1*, то необходимо ввести соответствующее значение уровня в регулирующий контроллер А1, выходной сигнал от регулирующего контроллера А1 подается на электромагнитный клапан *K2*, который в свою очередь открывается, тем самым происходит слив рабочей жидкости из измерительной трубы *E1* в канализацию.

Также к аналоговым входам регулирующего контроллера А1 подключен преобразователь давления *LT* и термопреобразователь сопротивления *TE*. Преобразователь давления *LT* измеряет гидростатическое давление столба жидкости (мм вод.ст.) в трубе *E1*. Преобразователь *LT* является высокоточным эталонным средством измерения, его показания сравниваются с показаниями калибруемого уровнемера [13]. Термопреобразователь сопротивления *TE* измеряет температуру рабочей жидкости в емкости *E1* в начале и конце калибровки. Данные значения температуры заносятся в протокол калибровки.

Таким образом, создание уровнемерной установки позволит:

- выполнить требования Федерального закона № 102 «Об обеспечении единства измерений»;
- выполнить требования нормативных документов по проведению калибровочных работ СИ уровня;
- заменить имитационный метод калибровки на метод непосредственного измерения уровня рабочей жидкости, в соответствии с требованиями нормативной документации (НД);
- расширить возможности калибровки СИ уровня за счет отказа от имитационного метода калибровки, устранить инструментальную и субъективную погрешности;
- значительно снизить затраты на приобретение готовой уровнемерной установки.

Разработан проект установки и оформлена рабочая документация [14].

Список литературы

1. Измерение уровня: теоретические и практические основы / пер. с англ. А.А. Прохорятова. – М.: Endress+Hauser, 2015. – 220 с.
2. Винокуров Б.Б. Метрология и измерительная техника. Уровнеметрия жидких сред: учеб. пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 187 с.
3. Мещеряков В.А., Бадеева Е.А., Шалобаев Е.В. Метрология. Теория измерений: учеб. / под общ. ред. Т.И. Мурашкиной. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2019. – 167 с.
4. Волегов А.С., Незнахин Д.С., Степанова Е.А. Метрология и измерительная техника: электронные средства измерений электрических величин: учеб. пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 103 с.
5. ГСССД 2–77. Вода. Плотность при атмосферном давлении и температурах от 0 до 100 °С. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 6 с.
6. Сергеев А.Г., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 838 с.
7. Уровнемеры микроволновые контактные VEGAFLEX 8*. Методика поверки / ГЦИ СИ «ВНИИМС». – М., 2013. – 5 с.
8. Основы автоматизации технологических процессов: учеб. пособие / А.В. Щагин, В.И. Демкин, В.Ю. Кононов, А.Б. Кабанова. – М.: Юрайт, 2019. – 163 с.
9. Ключев А.С. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 355 с.
10. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 400 с.
11. Жуков В.К. Метрология. Теория измерений: учеб. пособие. – М.: Юрайт, 2019. – 414 с.
12. Шидловский С.В. Автоматизация технологических процессов и производств. – Томск: НТЛ, 2005 – 100 с.
13. Латышенко К.П. Технические измерения и приборы: в 2 т. – Т. 1: в 2 кн. – Кн. 2. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2019. – 259 с.
14. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка. – М.: ИНФРА-Инженерия, 2008. – 928 с.

References

1. Izmerenie urovnia: teoreticheskie i prakticheskie osnovy [Level measurement: theoretical and practical foundations]. Translation A.A. Prokhoriatov, Moscow, Endress+Hauser, 2015, 220 p.
2. Vinokurov B. B. Metrologiia i izmeritel'naia tekhnika. Urovnemetriia zhidkikh sred: uchebnoe posobie dlia akademicheskogo bakalavriata [Metrology and measuring equipment. Levels of liquid media: a textbook for the academic undergraduate]. Moscow, Iurait, 2019, 187 p.

3. Meshcheriakov V. A., Badeeva E. A., Shalobaev E. V. Metrologiia. Teoriia izmerenii : uchebnik dlia srednego professional'nogo obrazovaniia [Metrology. Measurement theory: a textbook for secondary vocational education]. 2nd ed. Ed. T. I. Murashkina, Moscow, Iurait, 2019, 167 p.
4. Volegov A. S., Neznakhin D. S., Stepanova E. A. Metrologiia i izmeritel'naia tekhnika: elektronnye sredstva izmerenii elektricheskikh velichin : uchebnoe posobie dlia srednego professional'nogo obrazovaniia [Metrology and measuring equipment: electronic means of measuring electrical quantities: a manual for secondary vocational education]. Moscow, Iurait, 2019, 103 p.
5. GSSSD 2-77 Voda. Plotnost' pri atmosfernom davlenii i temperaturakh ot 0 do 100 ° C [GSSSD 2-77 Water. Density at atmospheric pressure and temperatures from 0 to 100 ° C]. Moscow, Izd-vo Standartov, 1978, 6 p.
6. Sergeev A. G., Teregeria V. V. Metrologiia, standartizatsiia i sertifikatsiia : uchebnik dlia bakalavrov [Metrology, standardization and certification: a textbook for bachelors]. 2nd ed. Moscow, Iurait, 2013, 838 p.
7. «Urovnemery mikrovolnovye kontaktnye VEGAFLEX 8*. Metodika poverki», utverzhdennoi GTsI SI «VNIIMS» v 2013 g. -5 p.
8. Shchagin A. V., Demkin V. I., Kononov V. Iu., Kabanova A. B. Osnovy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov [Fundamentals of automation of technological processes]. Moscow, Iurait, 2019, 163 p.
9. Kliuev A.S. Naladka sredstv avtomatizatsii i avtomaticheskikh sistem regulirovaniia [Adjustment of automation equipment and automatic control systems]. Moscow, Energoatomizdat, 1989, 355 p;
10. Rotach, V. Ia. Teoriia avtomaticheskogo upravleniia [Theory of automatic control]. Moscow, Energoatomizdat, 2008, 400 p.
11. Zhukov V. K. Metrologiia. Teoriia izmerenii [Metrology. The theory of measurement]. Moscow, Iurait, 2019, 414 p.
12. Shidlovskii S.V. Avtomatizatsiia tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv [Automation of technological processes and production]. Tomsk, NTL, 2005, 100 p.
13. Latyshenko K. P. Tekhnicheskie izmereniia i pribory. Tom 1, Kniga 2 [Technical measurements and devices. Vol. 1, Book 2]. 2nd ed. Moscow, Iurait, 2019, 259 p.
14. Fedorov Iu.N. Spravochnik inzhenera po ASUTP: proektirovanie i razrabotka [Handbook of engineer on process control: design and development]. Moscow, Infra – Inzheneriia, 2008, 928 p.

Получено 06.05.2019

Об авторах

Величко Екатерина Петровна (Губаха, Россия) – инженер по метрологии отдела автоматизации и метрологии ПАО «Метафракс» (618250, Пермский край, г. Губаха, ул. Заводская, 1; e-mail: Veli4ko.yekat@yandex.ru).

Гершонок Борис Григорьевич (Губаха, Россия) – начальник отдела автоматизации и метрологии ПАО «Метафракс» (618250, Пермский край, г. Губаха, ул. Заводская, 1; e-mail: Gershonok@metafrax.ru).

About the authors

Ekaterina P. Velichko (Gubakha, Russian Federation) – Metrology engineer of the Automation and Metrology Department of PAO Metafrax (1, Zavodskaya str., Gubakha, 618250, e-mail: Veli4ko.yekat@yandex.ru).

Boris G. Gershonok (Gubakha, Russian Federation) – Head of the Department of Automation and Metrology of PAO Metafrax, (1, Zavodskaya str., Gubakha, 618250, e-mail: Gershonok@metafrax.ru).