

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ ЭХОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ РАЗДЕЛЕНИЯ СРЕД В РЕЗЕРВУАРАХ

Аннотация.

Актуальность и цели. При коммерческом учете задача точного измерения уровня жидких и сыпучих материалов, хранимых и перевозимых в резервуарах, является весьма актуальной. Целью работы является анализ способов уменьшения влияния параметров среды распространения ультразвука на точность измерения эхолокационных уровнемеров и разработка рекомендаций по совершенствованию предложенного способа и устройства измерения уровня.

Материалы и методы. Экспериментальные и теоретические исследования ранее предложенного авторами способа и микропроцессорного устройства измерения уровня разделения сред в резервуарах показали наличие методической погрешности, определяемой радиальным распространением ультразвуковой волны в газовой среде при отражении от границ разделения сред и элементов конструкции резервуара. Анализ пути распространения отраженной и переотраженной ультразвуковых волн в резервуаре заданной конструкции показал наличие методической погрешности, которая может быть исключена введением поправки в цифровой форме в результат измерения.

Результаты. Рассмотрены известные методы повышения точности ультразвуковых измерителей уровня. Предложена микропроцессорная реализация уровнемера, отличающаяся независимостью скорости распространения ультразвуковой волны от параметров газовой среды резервуара, что обеспечивает высокие метрологические характеристики при относительно простой аппаратной реализации. Это позволяет использовать разработанный уровнемер при коммерческом учете различных жидких и сыпучих материалов в резервуарах.

Выводы. Введение поправки в цифровой форме в результат измерения, учитывающей конструктивные параметры резервуара и радиальное распространение ультразвуковой волны при отражении от поверхностей контролируемого вещества и элементов конструкции резервуара, обеспечивает высокие метрологические и эксплуатационные характеристики разработанного микропроцессорного уровнемера.

Ключевые слова: уровень разделения сред, газовая среда, скорость распространения ультразвука, методическая погрешность измерения, алгоритм преобразования, микропроцессор, коррекция результата измерения.

V. N. Ashanin, A. A. Mel'nikov, S. G. Isaev, S. A. Tsurikov

TO THE QUESTION OF INCREASING THE ACCURACY OF ECHOLOCATION MEANS OF MEASURING THE LEVEL OF MEDIUM SEPARATION IN RESERVOIRS

© Ашанин В. Н., Мельников А. А., Исаев С. Г., Цуриков С. А., 2020. Данная статья доступна по условиям всемирной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая дает разрешение на неограниченное использование, копирование на любые носители при условии указания авторства, источника и ссылки на лицензию Creative Commons, а также изменений, если таковые имеют место.

Abstract.

Background. In commercial accounting, the task of accurately measuring the level of liquid and bulk materials stored and transported in tanks is very relevant. The aim of this work is to analyze ways to reduce the influence of the parameters of the ultrasound propagation medium on the measurement accuracy of echolocation level gauges and develop recommendations for improving the proposed method and device for level measurement.

Materials and methods. Experimental and theoretical studies of the method and microprocessor-based device previously proposed by the authors for measuring the level of separation of media in tanks showed the presence of a methodological error determined by the radial propagation of an ultrasonic wave in a gaseous medium when reflected from the boundaries of separation of media and elements of the tank structure. Analysis of the propagation path of reflected and re-reflected ultrasonic waves in a tank of a given design showed the presence of a methodological error, which can be eliminated by introducing a digital correction in the measurement result.

Results. The well-known methods of increasing the accuracy of ultrasonic level meters are considered. A microprocessor-based implementation of the level meter is proposed, which differs in the independence of the propagation velocity of an ultrasonic wave from the parameters of the gas medium of the reservoir, which provides high metrological characteristics with a relatively simple hardware implementation. This allows the developed level gauge to be used in the custody transfer of various liquid and bulk materials in tanks.

Conclusions. The introduction of a digital correction into the measurement result, taking into account the design parameters of the tank and the radial propagation of an ultrasonic wave when reflected from the surfaces of the controlled substance and the elements of the tank structure, provides high metrological and operational characteristics of the developed microprocessor level gauge.

Keywords: level of medium separation, gas medium, ultrasound propagation velocity, methodical measurement error, conversion algorithm, microprocessor, correction of measurement result.

Введение

В связи с увеличением объема транспортных перевозок жидких и сыпучих материалов задача точного измерения уровня разделения сред в резервуарах является весьма актуальной. Для решения этой задачи промышленностью выпускается большое количество уровнемеров, использующих контактные и бесконтактные способы измерения, однако в силу известных преимуществ, связанных с отсутствием контакта с измеряемой средой, относительно низкой стоимостью, простотой конструкции и обслуживания, наибольшее распространение получили уровнемеры с ультразвуковыми датчиками [1–3].

1. Проблемы обеспечения точности измерения уровня

Основной проблемой реализации прецизионных ультразвуковых уровнемеров является зависимость точности измерения от влияющих величин на скорость распространения ультразвука, таких как температура, влажность и состав газовой среды, которые могут изменяться в достаточно большом диапазоне.

Наибольшую погрешность измерения дает температурная зависимость скорости ультразвука V в воздушной среде; в частности, скорость звука в сухом воздухе, содержащем 0,03 % углекислого газа, при увеличении температуры на t °С, вблизи 0 °С, определяется уравнением [4]:

$$V = 331,46 + 0,607 \cdot t \text{ [м/с]},$$

то есть на каждое изменение температуры воздушной среды на 1 °С скорость распространения ультразвука изменяется на 0,607 м/с (или более 1,8 % на 10 °С).

Несколько меньшее влияние на скорость распространения ультразвуковой волны в газовой среде имеют состав газовой среды и влажность. В частности, в работе [5] указывается, что при повышении содержания водяного пара на 0,1 % скорость возрастает на 0,05 м/с. Исследования, которые проведены в работе [6], показали, что при изменении относительной влажности воздуха в диапазоне от 0 до 86 % относительное изменение скорости ультразвука составляет 1,44 %.

В современных уровнемерах для коррекции результата измерения от температурной зависимости используются датчики температуры среды. Однако, учитывая достаточно широкий диапазон изменения градиента температуры газовой среды в резервуаре и неэффективность установки датчиков температуры по всему диапазону измерения, чаще всего используют для коррекции показания одного датчика [1–3, 7], находящегося в непосредственной близости от излучателя ультразвука, что весьма серьезно ограничивает точность измерения уровня. Кроме того, применение датчиков температуры не учитывает зависимость скорости распространения ультразвуковой волны от состава среды.

В работе [5] описывается эхолокационный способ измерения уровня с применением реперного отражателя, расположенного на расстоянии 1 м от источника ультразвуковых импульсов. Такая конструкция имеет преимущество перед традиционным эхолокационным методом, так как есть возможность учета параметров среды, влияющих на скорость ультразвука. Однако максимальная точность достигается только при уровне границы раздела сред в непосредственной близости к реперному отражателю. Чем дальше от отражателя, тем больше погрешность измерения, обусловленная температурным градиентом и наличием конвекционных потоков насыщенного паром воздуха – это ограничивает точность определения уровня в 10 см на 10 м диапазона измерения. В резервуарах большой вместимости при достаточно больших градиентах температуры возможно возникновение отражения за счет расслоения воздуха вблизи контролируемой среды. В работе [8] установлено, что погрешность измерения уровня эхолокационным методом из-за влияния среды распространения на скорость ультразвуковой волны может составить около 5 %.

Развитие цифровых методов обработки сигналов и микропроцессорной техники позволяет сегодня реализовывать достаточно сложные алгоритмы повышения точности измерения эхолокационных уровнемеров. В работе [9] предложено учитывать физические свойства среды на пути распространения ультразвуковой волны и таким образом теоретически исключить ее влияние на результат измерения уровня. Однако результаты моделирования не дают

ответа о достижимой точности измерения и возможности аппаратной реализации.

В работах [10–12] описываются тестовые методы повышения точности измерения эхолокационных уровнемеров. Правда, это сопряжено с весьма серьезным конструктивным усложнением измерителя. В частности, для формирования аддитивного теста требуется перемещение электроакустического преобразователя вдоль пути излучения на известное опорное расстояние с помощью шагового двигателя, а для формирования мультипликативного теста требуется реализовать дополнительный канал измерения температуры, где должна поддерживаться определенная стабильная температура, отличная от температуры среды в резервуаре. Поэтому два вышеприведенных метода измерения уровня пока носят больше теоретический характер, нежели практический.

Давление и плотность воздуха не будут оказывать влияние на скорость ультразвука, если только с изменением этих величин не будет происходить изменение температуры воздушной среды. Это следует из формулы для определения скорости ультразвука через плотность P и давление ρ [4]:

$$C = \sqrt{1,41 \frac{P}{\rho}}.$$

С увеличением давления растет плотность воздуха и наоборот. При этом соотношение P/ρ остается всегда постоянным.

Таким образом, краткий анализ проблемы точного измерения уровня разделения сред в резервуаре показывает, что известные методы и средства измерения не обеспечивают необходимый уровень учета и коррекции влияния на точность измерения параметров среды распространения ультразвуковой волны и, как следствие, не обеспечивают необходимую точность измерения.

2. Совершенствование акустических уровнемеров

Проведенный анализ показывает, что использование реперного отражателя, располагающегося на заданном расстоянии от излучателя, позволяет учесть на эталонном расстоянии все параметры среды, влияющие на скорость ультразвука. Однако указанные выше конструктивные ограничения и большая составляющая методической погрешности измерения из-за ограничения длины репера ограничивают точность измерения. Авторами была поставлена задача повышения точности измерения уровня за счет использования в качестве реперного отражателя конструктивных элементов резервуара и алгоритмических методов совершенствования средств измерения. В результате решения поставленной задачи был разработан способ измерения уровня разделения сред в резервуаре [13], в котором используется алгоритм, основанный на измерении отношения времени распространения ультразвуковой волны, отраженной от границы раздела сред, и времени распространения переотраженной ультразвуковой волны (рис. 1). Предложенный способ значительно уменьшает составляющую погрешности, обусловленную зависимостью скорости распространения ультразвука от параметров среды, поскольку в конеч-

ной формуле вычисления уровня исключается скорость распространения ультразвуковой волны.

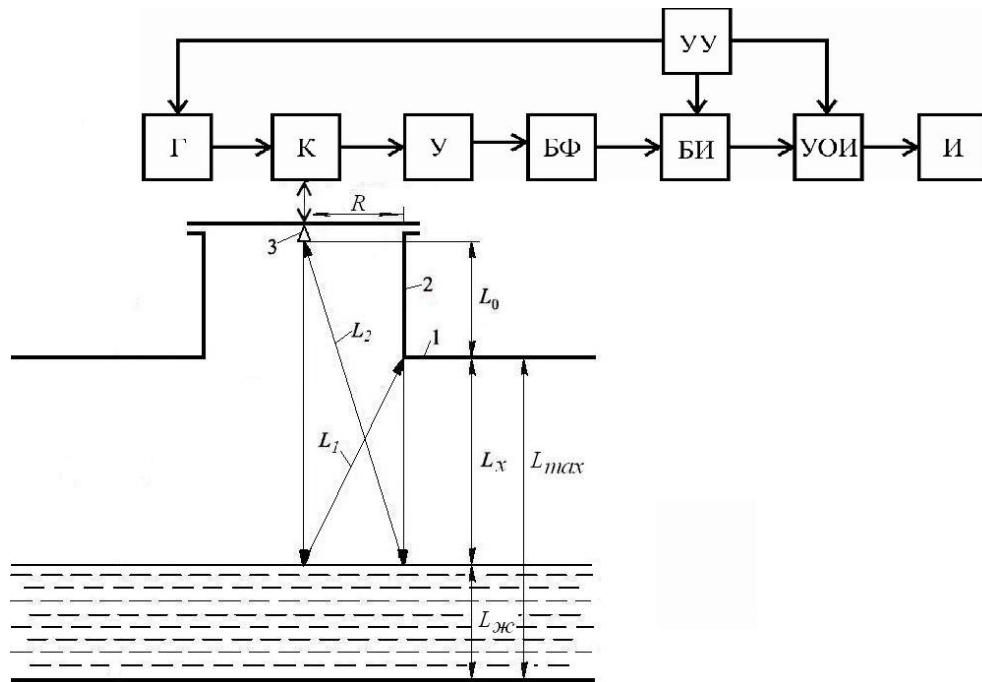


Рис. 1. Структурная схема уровнемера и пути распространения отраженной ($L_0+L_x+L_x+L_0$) и переотраженной ($L_0+L_x+L_1+L_x+L_2$) волн: Γ – генератор импульсов возбуждения электроакустического преобразователя; K – коммутатор выбора режима электроакустического преобразователя; $У$ – усилитель напряжения; $БФ$ – блок фильтрации и дешифрации отраженных сигналов; $БИ$ – блок измерения; $УОИ$ – устройство обработки информации; $И$ – индикатор; $УУ$ – устройство управления

Подробно описание алгоритма работы уровнемера и его реализация приведены в статье [14]. В предложенном способе реперным (эталонным) отражателем служит конструктивный параметр резервуара – глубина горловины резервуара (L_0). При этом время, за которое ультразвук проходит реперное расстояние, вычисляется из разности двух времен – T_1 и T_2 . За время T_1 сигнал от излучателя эхолокационного сигнала проходит к границе разделения сред, и, отразившись от нее, обратно возвращается к приемнику. За время T_2 сигнал проходит следующий путь: от ультразвукового излучателя направляется к границе разделения сред, отражается от границы раздела сред, отражается от верхней стенки резервуара, повторно отражается (переотражается) от границы раздела сред и возвращается к приемнику (в качестве излучателя и приемника служит один и тот же ультразвуковой преобразователь).

Время распространения отраженной и переотраженной ультразвуковой волны (T_1 и T_2 соответственно) определяется из выражений

$$T_1 = \frac{L_0 + L_x + L_x + L_0}{C} = \frac{2L_0 + 2L_x}{C}, \quad (1)$$

$$T_2 = \frac{L_0 + L_x + L_x + L_x + L_x + L_0}{C} = \frac{2L_0 + 4L_x}{C}, \quad (2)$$

где L_0 – эталонное расстояние; L_x – измеряемое расстояние; C – скорость распространения ультразвуковой волны.

Путем совместного решения уравнений (1) и (2) в УОИ ведется вычисление измеряемого уровня по формуле

$$L_x = \frac{L_0(T_2 - T_1)}{2T_1 - T_2}. \quad (3)$$

Формула (3) описывает случай, при котором отражение от верхней стенки происходит параллельно направлению движения эхо-сигнала от пьезоэлектрического преобразователя. Однако такой способ вычисления уровня не учитывает радиального распространения ультразвуковой волны и конструктивные параметры резервуара.

Для исключения указанной выше погрешности необходимо использовать следующие формулы, описывающие путь распространения отраженной и переотраженной волн:

$$T_1 = \frac{2(L_0 + L_x)}{C}, \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{L_0 + L_x + \sqrt{R^2 + L_x^2} + L_x + \sqrt{R^2 + (L_0 + L_x)^2}}{C}. \quad (5)$$

Решая данные уравнения, получаем следующее выражение:

$$\frac{2(L_0 + L_x)}{T_1} = \frac{L_0 + L_x + \sqrt{R^2 + L_x^2} + L_x + \sqrt{R^2 + (L_0 + L_x)^2}}{T_2}. \quad (6)$$

Из уравнения (6) вычисляем искомое значение L_x , которое не зависит от скорости ультразвуковой волны V .

В качестве примера представлена таблица, в которой показана разность расстояний, пройденных переотраженной волной, разность уровней, вычисленных с учетом радиального распространения волны и без него.

Таблица 1 построена с учетом следующих значений: расстояние $L_0 = 1$ м, диаметр горловины резервуара $R = 0,25$ м; $L_x = 1 \dots 5$ м; T_1 и T_2 – время распространения отраженного и переотраженного сигнала соответственно; S_1 и S_2 – расстояние, пройденное переотраженным сигналом, вычисленное без и с учетом радиального распространения волны соответственно; L_{x1} и L_{x2} – расстояние до границы раздела сред, вычисленное без и с учетом радиального распространения волны соответственно.

Если принять условно расстояние $L_0 = 1$ м, диаметр горловины резервуара $R = 0,25$ м, то получатся следующие значения методической составляющей погрешности измерения:

– при $L_{x \min} = 1$ м расстояние, которое пройдет вторая (переотраженная) ультразвуковая волна, будет равно 6,046 м, вместо 6 м в идеальном варианте;

– при $L_{x \max} = 5$ м длина траектории движения второго импульса будет равна 22,011 м вместо 22 м в идеальном случае.

Таблица 1

T_1 , мс	T_2 , мс	S_1 , м	S_2 , м	L_{X1} , м	L_{X2} , м
12,085	18,267	6	6,046	1,047	1
12,145	18,387	6,040	6,086	1,057	1,010
12,205	18,506	6,080	6,126	1,067	1,020
12,266	18,626	6,12	6,165	1,077	1,030
12,326	18,746	6,16	6,205	1,087	1,040
12,387	18,866	6,2	6,245	1,097	1,050
12,447	18,985	6,24	6,284	1,107	1,060
35,891	65,775	21,76	21,772	4,975	4,940
35,952	65,896	21,8	21,812	4,985	4,950
36,012	66,017	21,84	21,851	4,995	4,960
36,073	66,138	21,88	21,892	5,005	4,970
36,133	66,258	21,92	21,932	5,015	4,980
36,193	66,379	21,96	21,971	5,025	4,990
36,254	66,5	22	22,011	5,035	5

Рассчитываем относительную методическую погрешность способа вычисления уровня без учета радиального распространения волны:

– при $L_{x \min} = 1$ м:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_X}{L_X} \cdot 100\% = \frac{0,047}{1} \cdot 100\% = 4,7\%;$$

– при $L_{x \max} = 5$ м:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_X}{L_X} \cdot 100\% = \frac{0,035}{5} \cdot 100\% = 0,7\%.$$

Из приведенных вычислений можно сделать вывод, что при алгоритме вычисления уровня погрешность измерения будет уменьшаться с увеличением расстояния от пьезоэлектрического преобразователя до границы раздела сред.

Для уменьшения этой методической составляющей погрешности измерения целесообразно располагать датчик как можно ближе к краю горловины резервуара, тем самым уменьшая расстояние R , чтобы уменьшить угол между направлением сигнала от пьезоэлектрического преобразователя к границе раздела сред и от границы раздела сред к верхней стенке резервуара. Однако, как показали экспериментальные исследования, при этом из-за смещения электроакустического преобразователя относительно центра горловины резервуара ухудшаются условия определения времени прихода отраженного и переотраженного эхосигналов.

Методическую погрешность целесообразно скорректировать введением поправки в результат измерения, что осуществлено при реализации уровнемера на основе микропроцессора, в который заложена таблица корректирующих поправок, учитывающих радиальное распространение ультразвукового сигнала.

Заключение

Разработанный эхолотационный измеритель уровня разделения сред в резервуарах обеспечивает погрешность измерения уровня разделения сред

в резервуаре менее 1 %, что позволяет его использовать для решения задач коммерческого учета.

Библиографический список

1. **Мельников, А. А.** Ультразвуковые преобразователи в средствах измерения / А. А. Мельников, А. А. Мельников. – Москва : Спутник+, 2010. – 154 с.
2. **Воробьев, В. А.** Теория ультразвуковых колебаний как основа построения и применения технических средств получения информации : учеб. пособие / В. А. Воробьев. – Санкт-Петербург : СПбГУАП, 2002. – 54 с.
3. **Хамидуллин, В. К.** Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы / В. К. Хамидуллин. – Ленинград : Изд.-во Ленинградского университета, 1989. – 249 с.
4. **Кэй, Дж.** Таблицы физических и химических постоянных : пер. с англ. / Дж. Кей, Т. Лэби. – Москва : Физматгиз, 1962. – 248 с.
5. **Бабинцев, В. А.** Влияние влажности на скорость звука в воздухе / В. А. Бабинцев, Е. А. Виноградов, К. Ф. Шипилов // Исследовано в России. – 2003. – URL: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/215.pdf>- с. 2509-25136.
6. **Клюев, М. С.** О погрешностях акустического измерения уровня жидкости и методах их снижения / М. С. Клюев, С. П. Клюев, В. В. Краснобородько // Акустический журнал. – 1999. – Т. 45, № 6. – С. 825–831.
7. **Калинов, Г. А.** О точности измерения уровня жидкости в резервуарах акустическим эхо-методом // Г. А. Калинов, А. И. Кондратьев, О. А. Никитин, В. И. Римлянд // Акустический журнал. – 2001. – Т. 47, № 4. – С. 564–566.
8. **Громов, А. Н.** Метод измерения уровня, учитывающий физические свойства среды на пути распространения акустического сигнала / А. Н. Громов // Сборник трудов XI сессии Российского Акустического Общества. – 2001. – Т. 2. – С. 262–265.
9. **Громов, А. Н.** Моделирование процесса измерения уровня жидкости акустическим методом, учитывающим факторы среды / А. Н. Громов // Техническая акустика. – 2007. – URL: <http://www.ejta.org> 2007,10.
10. **Гусельников, В. К.** О применении тестовых методов для повышения точности ультразвуковых уровнемеров / В. К. Гусельников, Е. А. Борисенко. – Харьков : Метрология, 2012. – С. 531–534.
11. **Гусельников, В. К.** К вопросу о применении тестовых методов при измерении уровня ультразвуковым способом / В. К. Гусельников, Е. А. Борисенко // Вестник Национального технического университета «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып.: Автоматика и приборостроение. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2011. – № 11. – С. 22–26.
12. **Гусельников, В. К.** Способы компенсации погрешностей ультразвуковых уровнемеров / В. К. Гусельников, Е. А. Борисенко // Український метрологічний журнал. – 2011. – № 4. – С. 31–35.
13. Патент №2364841 Российская Федерация. Способ измерения уровня жидкости / Ашанин В. Н., Мельников А. А., Кисилев А. Н., Пивоваров П. В., Соколов В. А. ; 20.08.2009, БИ № 23.
14. **Ашанин, В. Н.** Прецизионный ультразвуковой измеритель уровня разделения сред в резервуарах / В. Н. Ашанин, А. А. Мельников // Датчики и системы. – 2014. – № 7 (182). – С. 39–42.

References

1. Mel'nikov An. A., Mel'nikov Ar. A. *Ul'trazvukovye preobrazovateli v sredstvakh izmereniya* [Ultrasonic transducers in measuring instruments]. Moscow: Sputnik+, 2010, 154 p. [In Russian]

2. Vorob'ev V. A. *Teoriya ul'trazvukovykh kolebaniy kak osnova postroeniya i primeneniya tekhnicheskikh sredstv polucheniya informatsii: ucheb. posobie* [Theory of ultrasonic vibrations as the basis for the construction and application of technical means of obtaining information: teaching aid]. Saint-Petersburg: SPbGUAP, 2002, 54 p. [In Russian]
3. Khamidullin V. K. *Ul'trazvukovye kontrol'no-izmeritel'nye ustroystva i sistemy* [Ultrasonic measurement inspection machine and systems]. Leningrad: Izd.-vo Leningradskogo universiteta, 1989, 249 p. [In Russian]
4. Key Dzh., Lebi T. *Tablitsy fizicheskikh i khimicheskikh postoyannykh: per. s angl.* [Tables of physical and chemical constants: translated from English]. Moscow: Fizmatgiz, 1962, 248 p. [In Russian]
5. Babintsev V. A., Shipilov K. F. *Issledovano v Rossii* [Researched in Russia]. 2003. Available at: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/215.pdf> - s. 2509-25136. [In Russian]
6. Klyuev M. S., Klyuev S. P., Krasnoborod'ko V. V. *Akusticheskiy zhurnal* [Acoustic journal]. 1999, vol. 45, no. 6, pp. 825–831. [In Russian]
7. Kalinov G. A., Kondrat'ev A. I., Nikitin O. A., Rimlyand V. I. *Akusticheskiy zhurnal* [Acoustic journal]. 2001, vol. 47, no. 4, pp. 564–566. [In Russian]
8. Gromov A. N. *Sbornik trudov XI sessii Rossiyskogo Akusticheskogo Obshchestva* [Proceedings of the 11th session of Russian Acoustical Society]. 2001, vol. 2, pp. 262–265. [In Russian]
9. Gromov A. N. *Tekhnicheskaya akustika* [Technical acoustic]. 2007. Available at: <http://www.ejta.org> 2007, 10. [In Russian]
10. Gusel'nikov V. K., Borisenko E. A. *O primeneni testovykh metodov dlya povysheniya tochnosti ul'trazvukovykh urovnemerov* [On the application of test methods to improve the accuracy of ultrasonic level meters]. Kharkov: Metrologiya, 2012, pp. 531–534. [In Russian]
11. Gusel'nikov V. K., Borisenko E. A. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI»: sb. nauch. tr. Temat. vyp.: Avtomatika i priborostroenie* [Bulletin of National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”: collected articles. Series: Automation and instrument engineering]. Kharkov: NTU «KhPI», 2011, no. 11, pp. 22–26. [In Russian]
12. Gusel'nikov V. K., Borisenko E. A. *Ukrains'kiy metrologichnyi zhurnal* [Ukrainian metrological journal]. 2011, no. 4, pp. 31–35.
13. *Patent №2364841 Rossiyskaya Federatsiya. Sposob izmereniya urovnya zhidkosti* [Patent No 2364841 Russian Federation. Liquid level measurement method]. Ashanin V. N., Mel'nikov A. A., Kisilev A. N., Pivovarov P. V., Sokolov V. A. BI № 23 от 20.08.2009. [In Russian]
14. Ashanin V. N., Mel'nikov A. A. *Datchiki i sistemy* [Sensors and systems]. 2014, no. 7 (182), pp. 39–42. [In Russian]

Ашанин Василий Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой электроэнергетики
и электротехники, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: eltech@pnzgu.ru

Ashanin Vasily Nikolaevich

Candidate of engineering sciences, associate
professor, head of the sub-department
of electric power and electrical engineering,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Мельников Анатолий Аркадьевич
ведущий инженер, кафедра
электроэнергетики и электротехники,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: eltech@pnzgu.ru

Mel'nikov Anatoliy Arkad'evich
Leading engineer, sub-department
of electric power and electrical
engineering, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Исаев Сергей Геннадьевич
кандидат технических наук, доцент,
кафедра электроэнергетики
и электротехники, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: eltech@pnzgu.ru

Isaev Sergey Gennad'evich
Candidate of engineering sciences, associate
professor, sub-department of electric
power and electrical engineering,
Penza State University (40 Krasnaya
street, Penza, Russia)

Цуриков Сергей Александрович
аспирант, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: eltech@pnzgu.ru

Tsurikov Sergey Aleksandrovich
Postgraduate student, Penza State
University (40 Krasnaya street,
Penza, Russia)

Образец цитирования:

Ашанин, В. Н. К вопросу о повышении точности эхолокационных средств измерения уровня разделения сред в резервуарах / В. Н. Ашанин, А. А. Мельников, С. Г. Исаев, С. А. Цуриков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2020. – № 3 (55). – С. 78–87. – DOI 10.21685/2072-3059-2020-3-8.