

Для цитирования: Васильев Т.Р., Кокуев А.Г. Прибор для измерения расхода многофазного потока на основе оптико-акустического эффекта. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;43 (4): 34-41 DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-34-41

For citation: Vasiliev T.R., Kokuev A.G. Aparatus for measuring multiphase current diffusion based on the optoacoustic effect. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;43 (4):34-41. (IN RUSS.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-43-4-34-41

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 681.5.08

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-43-4-34-41

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА НА ОСНОВЕ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Васильев Т.Р.¹, Кокуев А.Г.²

*Астраханский государственный технический университет,
414025, г. Астрахань, ул. Татищева, 16*

¹e-mail:vasilyev_tr@mail.ru, ²e-mail:kokuevag@gmail.com

Резюме: *Цель.* Цель исследования состоит в создании более совершенного многофазного расходомера, отвечающего метрологическим и техническим требованиям, в устройстве которого отсутствовали бы радиоактивные элементы. **Метод.** Вместо гамма-излучения в многофазном расходомере предлагается использовать оптико-акустический эффект. Приведена схема разрабатываемого расходомера и описание его работы. Рассматривается также возможность использования оптико-акустического эффекта для создания ультразвукового многофазного расходомера с излучателями высокой мощности. **Результат.** Проведен анализ современных многофазных расходомеров, в том числе самого популярного, в конструкции которого используются сопло Вентури и гамма-измеритель фракций. Определены преимущества и недостатки многофазных расходомеров. Предложено использовать вместо метода гамма-излучения оптико-акустический эффект. При облучении лазером среды образуются волны давления. По величине давления можно судить о параметрах среды: оптической плотности, плотности среды. **Вывод.** Главным требованием для многофазного расходомера является достижение точности уровня учета нефти при транспортировке. Многофазные расходомеры позволяют реализовать принцип раздельного учета добываемой газожидкостной смеси при разработке месторождений-спутников и скважин, принадлежащих разным владельцам, т. е. обеспечивают значительный экономический эффект. Доказано, что многофазный расходомер будет играть ключевую роль в оптимизации управления добычей на нефтяных и газовых месторождениях. Необходимо продолжить исследования и проведение ряда экспериментов в целях проверки его метрологических характеристик и возможности реализации.

Ключевые слова: *многофазные потоки, расход многофазного потока, многофазный расходомер, оптико-акустический эффект, трубопровод, экономический эффект*

TECHICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

APARATUS FOR MEASURING MULTIPHASE CURRENT DIFFUSION BASED ON THE OPTOACOUSTIC EFFECT

Timur R. Vasilyev¹, Andrey G. Kokuev².

Astrakhan State Technical University

16 Tatishcheva Str., Astrakhan 414025, Russia

¹e-mail:vasilyev_tr@mail.ru, ²e-mail:kokuevag@gmail.com

Abstract: Objectives. The purpose of the study is to provide an improved multiphase flow meter that meets the metrological and technical standards, the composition of which would exclude radioactive elements. **Method.** Instead of gamma radiation, the optoacoustic effect is proposed for use in the multiphase flow meter. The table shows the plan of the flow meter with a description of its assembly. The possibilities of using the optoacoustic effect for creating ultrasonic multiphase flow meter with high power emitters are also considered. **Results.** An analysis of modern multiphase flow meters, including the most popular, which utilise a nozzle within the design of the Venturi meter gamma densitometer. The advantages and disadvantages of the multiphase flow meters. Instead of the gamma ray method the use of the optical-acoustic effect is proposed. During laser irradiation of the medium, pressure wave were formed. Judging on the basis of pressure readings, the parameters of the medium can evaluated: optical density, medium density. **Conclusion.** The main requirement for a multi-phase flow meter is to achieve precision oil level readings during transport. Multiphase flow meters allow the principle implementation of the separate developed measure registering the quantity of produced gas-liquid mixture during the satellite fields development and wells belonging to different owners, i.e. offering a significant economic effect. It is evident that the multiphase flow meter will play a key role in optimising production control in oil and gas fields. It is necessary to continue research through series of experiments in order to verify the metrological characteristics and implementation possibilities of the technology.

Keywords: multi-phase current, flow rate of implementation multi-phase current, multi-phase flow meter, optical-acoustic effect, the pipeline, economic effect

Введение. Добываемое сырье из скважины является не только смесью жидких или газообразных углеводородов, а многофазовой смесью природного газа, нефти и пластовой воды с включениями твердой фазы (песок, гидраты и асфальтены), другими словами, многофазным потоком. Для измерения и учета нефти, газа и других компонентов используются многофазные расходомеры.

Многофазный расходомер - устройство, измеряющее скорость потока каждой фазы многофазного потока. Согласно данному определению к многофазным расходомерам можно отнести обычные системы с сепараторами (рис.1), в которых происходит полное разделение фаз, а затем измерение их расходов.



Рис.1. Трехфазный сепаратор фирмы Expro
Fig.1. Expro three-phase separator

Тем не менее, когда многофазный поток разделяется на два или более однофазных потоков, пропадает необходимость в использовании понятия многофазного потока. Поэтому сегодня многофазным расходомером называют устройство, которое измеряет скорость потока каждой фазы многофазного потока без какого-либо их разделения (рис.2).

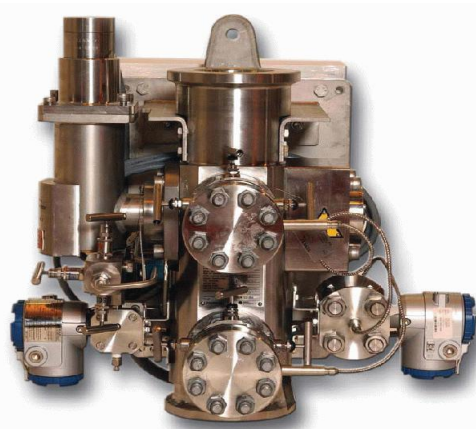


Рис. 2 Многофазный расходомер PhaseWatcher фирмы Schlumberger
Fig. 2 PhaseWatcher multiphase flow meter from Schlumberger

Постановка задачи. Цель нашего исследования заключается в создании многофазного расходомера, который бы отвечал метрологическим и техническим требованиям, и в устройстве прибора отсутствовали радиоактивные элементы.

Разработка многофазных расходомеров является одним из перспективных направлений в нефтяной и газовой промышленности. Если сравнивать с традиционными измерительными системами, включающими в себя сепараторы, то данный прибор имеет ряд преимуществ.

Компактные габариты. Обычные системы измерения с сепараторами с трубными обвязками и отдельными расходомерами для каждой фазы, являются громоздкими, массивными. Так габариты сепаратора, показанного на рис.1, составляют в длину 5,8 м, в ширину 2,4 м и в высоту 2,7 м без учета дополнительной трубной обвязки с однофазными расходомерами.

При выборе многофазных расходомеров освобождается пространство для других производственных нужд, снижается необходимость в дополнительном оборудовании, снижается себестоимость всего проекта. Размер многофазного расходомера PhaseWatcher фирмы Schlumberger: длина - 0,6м, высота – 0,5м, ширина 0,5м. Это важный фактор при создании объектов без обслуживающего персонала, глубоководных платформ. А в случаях, когда экономическая целесообразность стоит на первом месте, порой только установка многофазного расходомера – единственное решение, например, разработка небольшого месторождения на шельфе [1].

Применение многофазного расходомера позволяет упростить гидродинамические исследования скважин (ГДИС). Так как при ГДИС эксплуатация обычных сепараторов дорогостоящая, отнимающая много времени для необходимой стабилизации параметров потока. Для предотвращения остановки добычи тестовый сепаратор должен иметь отдельную линию, подключенную к подводному манифольду. В данном случае исследования проводятся циклично для каждой скважины отдельно, при этом добыча временно прекращается [2-5].

Многофазовый расходомер позволяет осуществлять постоянное измерение расхода фаз в режиме реального времени. Данное устройство будет играть ключевую роль в оптимизации управления добычей на нефтяных и газовых месторождениях.

У многофазных расходомеров существуют и недостатки. Измерение расхода многофазового потока является непростой задачей. Добываемое сырье из скважины является не только смесью жидких или газообразных углеводородов, а многофазовой смесью природно-

го газа и нефти, пластовой воды с включениями твердой фазы (песок, гидраты и асфальтены).

Такие параметры, как давление, температура, скорость потока, химический состав нефти и газа, плотности и вязкости фаз, тепловые параметры, минеральный состав воды, газонефтяной и газожидкостной факторы, влияют на смешивание или разделение газа, нефти и воды. И даже закачивание химических реагентов играет значительную роль в изменении режима потока и измерении его расхода в целом. Чтобы выбрать лучший для конкретного случая метод измерения, необходимо учитывать данные характеристики потока.

Методы исследования. Испытывалось множество методов и способов для измерения многофазного потока, таких как: объёмный расходомер, труба Вентури, расходомер вытеснительного типа, различные плотномеры, электромагнитные волны СВЧ диапазона, эффект Кориолиса, гамма-излучение, диэлектрическая проницаемость, радиоизотопный метод измерения, гомогенизаторы, статические смесители, кросскорреляционный метод, частичное разделение при большом содержании газа.

Самый популярный метод измерения многофазного потока, используемый в промышленных образцах – это гамма-излучение для определения объемной доли газа и воды в сочетании с соплом Вентури, предназначенного для вычисления массового потока.

Заявленные компанией-производителем показатели точности прибора приведены ниже:

1. Абсолютная ошибка измерения объемной доли воды составляет $\pm 2\%$ в диапазоне от 0 до 100% объемной доли воды.
2. Абсолютная ошибка измерения объемной доли газа составляет $\pm 2\%$ в диапазоне от 0 до 30% объемной доли газа, $\pm 5\%$ в диапазоне от 30 до 50%, $\pm 10\%$ в диапазоне от 50% и выше.
3. Измерение расхода жидкости – $\pm 5\%$; газа – $\pm 8\%$.

При объемной доли газа более 25% используется частичная сепарация, расход газа измеряется отдельно [6].

Преимущество данного расходомера заключается в его способности измерять соленость в режиме реального времени. Определение солености позволяет автоматически корректировать вычисление расхода без дополнительных калибровок прибора.

Соленость - один из показателей, контролируемый инженером при гидроразрыве пласта. Соленость также влияет на температурно-барический режим. Изменение режима может привести к закупорке трубопроводов [7-9].

Стоит отметить, что при использовании радиоактивных источников требуется выполнение дополнительных мер по защите окружающей среды: получение лицензии Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору и ряд других разрешений [10-12]. Следовательно, применение гамма-излучения является конструктивным недостатком подобных расходомеров.

Описание физического эффекта. Оптико-акустический (ОА) эффект – возникновение пульсаций давления при облучении лазером газа или жидкости. Еще в 1881 году оптико-акустический эффект был открыт А.Беллом и описан также в трудах В.Рентгена и Д.Тиндаля, но вскоре был забыт на долгие годы. И только с открытием лазера был начат новый этап исследований.

Количественные характеристики эффекта весьма чувствительные к составу смеси. Применение оптико-акустического эффекта для анализаторов характеризуется простотой и надежностью, высокой избирательностью и широким диапазоном концентрации компонентов [13].

Фокус мощного лазерного луча используется в качестве импульсного лазерного источника интенсивных звуковых колебаний с высоким коэффициентом преобразования оптической энергии в звуковую. Уровень сигнала давления достигает свыше 0,1 Мпа [14], позволяя авторам исследовательских работ предлагать данный источник для технологических

приложений. На данный момент времени применение эффекта становится решением для разнообразных прикладных задач.

Исследования оптико-акустических эффектов представляют фундаментальный и прикладной интерес. Например, применительно к жидким средам выделяются две задачи, для решения которых применяется импульсный оптико-акустический эффект. Это – задача комплексной экспресс-диагностики разнообразных жидких образцов и задача создания мощного дистанционно возбуждаемого источника звука для океанографических, технологических, хирургических и других приложений. Например, лазерная оптико-акустическая томография, гидролокатор для оптико-акустического обследования подводного объекта, ОА- спектрометрия, ультразвуковой контроль, исследование композитных материалов.

Описание предлагаемого устройства. Многофазные расходомеры построены на основе нескольких физических эффектов, которые необходимы для измерения тех или иных параметров потока. С помощью метода гамма-излучения производят измерение плотности жидкой фазы, а также для определения массовых, объемных долей содержания нефти, воды и газа. Измерение объемного расхода методом переменного перепада давления реализовано с помощью трубы Вентури и датчика перепада давления. Комбинация этих приемов с математической моделью дает информацию о многофазном потоке.

Предлагаем использовать вместо метода гамма-излучения оптико-акустический эффект. При облучении лазером среды образуются волны давления. По величине давления можно судить о параметрах среды: оптической плотности, плотности среды. На данный момент ОА эффект применяется в спектроскопии. Представляем схему предполагаемого многофазного расходомера (рис.3).

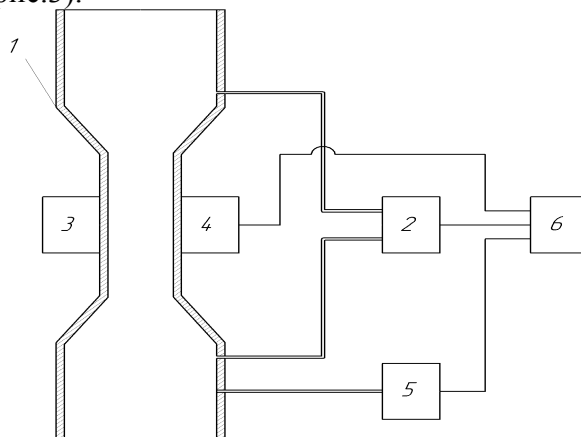


Рис. 3. Схема предлагаемого многофазного расходомера

Fig. 3. Schematic of the proposed multiphase flow meter

Труба Вентури 1, преобразователь перепада давления 2 являются элементами, предназначенными для измерения объемного расхода всей газожидкостной смеси. Излучатель 3, представляет собой лазер, облучающий среду для формирования волн давления. Приемник 4, устройство регистрации пульсации давления. Преобразователь температуры 5 измеряет температуру флюида. Вся информация с датчика перепада давления 2, приемника 4, преобразователя температуры 5 поступает в блок обработки информации 6, где происходит вычисление расхода потоков нефти, газа, воды.

Приведем описание работы данного прибора. Труба Вентури 1 является сужающим устройством, которое создает перепад давления в многофазном потоке. Преобразователь перепада давления 2 измеряет данную величину и формирует пропорциональный электрический сигнал, который поступает на входной канал блока обработки информации 6. Излучатель 3 является лазером. Фокус его мощного лазерного луча используется в качестве импульсного лазерного источника интенсивных звуковых колебаний с высоким коэффициентом преобразования оптической энергии в звуковую. Приемник 4 является преобразователем давления, способного измерять звуковые колебания, вызываемые лазером. Выходной электрический сигнал приемника 4 поступает в блок обработки информации 6.

Также к блоку обработки информации подключен преобразователь температуры 5, предназначенный для измерения температуры многофазного потока. На основе полученной информации от преобразователя перепада давления 2, приемника 4 и преобразователя температуры 5 и заложенной в памяти математической модели, блок обработки информации может производить расчет расходов каждой фазы многофазного потока.

Обсуждение результатов. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение возможности применения ОА эффекта в многофазном расходомере. В частности, необходимы: проведение экспериментов в газожидкостном потоке и измерение уровней сигнала при облучении потока лазером; создание математической модели процесса измерения; конструктивная разработка прибора; определение параметров лазера, устройства, принимающего сигнал; определение расположения излучателя и приемника; возможно, установка дополнительных излучателей и приемников. Все это требует дальнейшего изучения оптических свойств многофазного потока (газожидкостной смеси); проведение анализа метрологических характеристик прибора с целью их обоснования и выявления наилучших условий работоспособности прибора.

Также возможен второй вариант применения ОА эффекта. Существуют промышленные ультразвуковые многофазные расходомеры. Использование вместо пьезоэлектрических источников лазерно-ультразвуковых позволит улучшить измерение многофазного потока, так как пьезоэлектрические источники отличаются узкополосностью зондирующего сигнала.

Предлагаем организацию раздельного учета добываемой продукции. Многофазные расходомеры открывают новые возможности для нефтедобывающих компаний. Для удешевления разработки «месторождений-спутников» и скважин, которые принадлежат разным владельцам, происходит их объединение одним трубопроводом, по которому газожидкостная смесь поступает на первичный сепаратор и дальнейшую переработку (рис. 2).

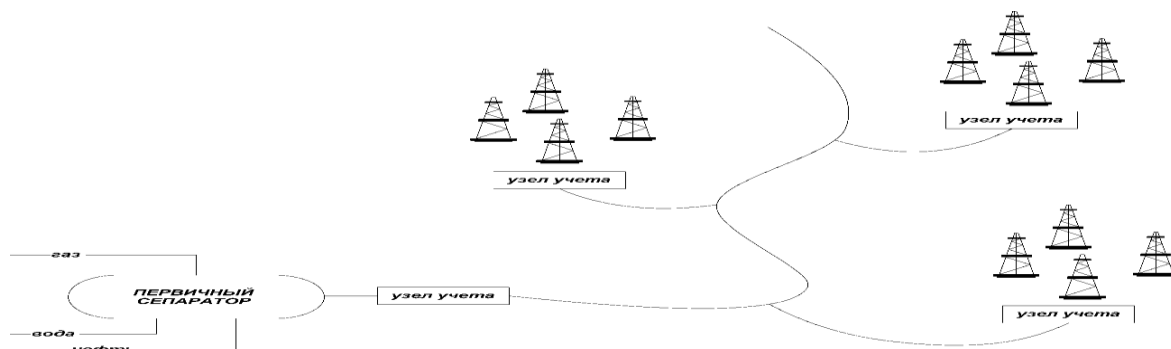


Рис. 4. Транспортировка газожидкостной смеси по общему трубопроводу от «месторождений-спутников»

Fig. 4. Transportation of a gas-liquid mixture through a common pipeline from «meta-satellite-satellites»

В данном случае выгода достигается за счет того, что не требуется закупка дополнительных сепараторов и прокладка дополнительных трубопроводов. Особенностью такой схемы является необходимость организации раздельного учета добываемой продукции и учета продукта перед началом его переработки, чтобы предотвращать спорные ситуации между владельцами.

Поставщики сырья и владельцы предприятий по переработке могут самостоятельно контролировать соответствие параметров продукта, поставляемого с «месторождений-спутников», нормам и правилам. Главным требованием для многофазного расходомера является достижение точности уровня учета нефти при транспортировке [15].

Без многофазных расходомеров сырье, добываемое из каждой скважины, должно проходить через тест-сепараторы до поступления его в общий трубопровод.

Это ведет к замедлению процесса добычи, общему удорожанию и потере целесообразности проекта.

Вывод. В результате проведенного исследования были составлены схемы прибора для измерения расхода многофазного потока, в котором применяется оптико-акустический эффект.

Рассмотрен принцип организации раздельного учета добываемой продукции для удешевления разработки «месторождений-спутников» и скважин, которые принадлежат разным владельцам. Необходимы дополнительные исследования и проведение ряда экспериментов для проверки возможности реализации прибора и определения его метрологических характеристик.

Библиографический список:

1. Falcone G., Hewitt G. F., Alimonti C. Multiphase flow metering. Principles and applications. Elsevier Science, 2009. 328 p.
2. Lanasa P. J., Upp E. L. Fluid Flow Measurement. Elsevier Inc., 2014. 280p.
3. Васильев Т.Р., Кокуев А. Г. Современные тенденции в развитии многофазных расходомеров // Научный обозреватель. 2014. № 7(43). С. 56–58.
4. Денисов С. Список физических явлений и эффектов: Справочник. Горький: ГНУНТТ, 1979. 166 с.
5. URL.: http://akin.ru/r_optoac.htm#top.
6. Falcimaigne J., Decarre S. Multiphase Production: Pipeline Transport, Pumping and Metering. Editions Technip, Paris, 2008. 153 p.
7. Handbook of multiphase flow metering. The Norwegian Society for Oil and Gas Measurement, Revision 2, March 2005. 115 p.
8. Falcone G., Mehdizadeh P. Multiphase flow metering. Society of Petroleum Engineers, 2012. 129 p.
9. Vieugue V. The Growth of Multiphase Meters and the Key Challenges They Are Addressing. Rogtec Magazine Article. 2010. 98-104p.
10. Kari Johnson. Projects Proving Merits Of Multiphase. American Oil and Gas Reporter Magazine Article. June 2009.
11. Dr. Stuart L. Scott. Status Multiphase Metering. Rogtec Magazine Article. 2007. 32-47p.
12. Киясбейли А.Ш., Лифшиц Л.М. Счетчики и расходомеры жидкости с овальными шестернями. 1983. 144 с.
13. Лепявко А.П. Расходомеры и счётчики жидкости и газа. Поверка и калибровка. 2005. 98 с.
14. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник. Книга 22004. 412 с.
15. Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. 1990. 287 с.

References:

1. Falcone G., Hewitt G.F., Alimonti C. Multiphase flow metering. Principles and applications. Elsevier Science. 2009. 328 p.
2. Lanasa P.J., Upp E.L. Fluid Flow Measurement. Elsevier Inc. 2014. 280 p.
3. Vasilyev T.R., Kokuev A.G. Sovremennyye tendentsii v razvitii mnogofaznykh raskhodomero. Nauchnyy obozrevatel. 2014;7(43):56–58. [Vasilyev T.R., Kokuev A.G. Present tendencies in the development of multiphase flow meters 2014;7(43):56–58. (In Russ).]
4. Denisov S. Spisok fizicheskikh yavleniy i effektov: Spravochnik. Gorky: GNUNTT; 1979. 166 s. [Denisov S. List of physical phenomena and effects: reference. Gorky: GNUNTT Publ.; 1979. 166 p. (In Russ).]
5. Available from: http://akin.ru/r_optoac.htm#top.
6. Falcimaigne J., Decarre S. Multiphase Production: Pipeline Transport, Pumping and Metering. Editions Technip, Paris; 2008. 153 p.

7. Handbook of multiphase flow metering. The Norwegian Society for Oil and Gas Measurement, Revision 2. March 2005. 115 p.
8. Falcone G., Mehdizadeh P. Multiphase flow metering. Society of Petroleum Engineers. 2012. 129 p.
9. Vieugue V. The Growth of Multiphase Meters and the Key Challenges They Are Addressing. Rogtec Magazine Article. 2010. 98-104.
10. Johnson K. Projects Proving Merits Of Multiphase. American Oil and Gas Reporter Magazine Article. June 2009.
11. Dr. Stuart L. Scott. Status Multiphase Metering. Rogtec Magazine Article. 2007. 32-47.
12. Kiyasbeyli A.Sh., Lifshits L.M. Schyotchiki i raskhodomery zhidkosti s ovalnymi shesternyami. 1983.144 s. [Kiyasbeyli A.Sh., Lifshits L.M. Meters and liquid flow meters with oval gears. 1983.144 p. (In Russ).]
13. Lepyavko A.P. Raskhodomery i schyotchiki zhidkosti i gaza. Poverka i kalibrovka. 2005. 98 s. [Lepyavko A.P. Flow meters and counters of liquid and gas. Verification and calibration. 2005. 98 p. (In Russ).]
14. Kremlevskiy P.P. Raskhodomery i schetchiki kolichestva veshchestv: Spravochnik. Kniga. 2004. 412 s. [Kremlevskiy P.P. Flow meters and counters number of substances: Handbook. 2004. 412 p. (In Russ).]
15. Khansuvarov K.I., Tseytlin V.G. Tekhnika izmereniya davleniya, raskhoda, kolichestva i urovnya zhidkosti, gaza i para. 1990. 287 s. [Khansuvarov K.I., Tseytlin V.G. Technique of measuring pressure, flow, level of liquids, gas and steam. 1990. 287 p. (In Russ).]

Сведения об авторах.

Васильев Тимур Рафаэльевич - аспирант кафедры «Автоматика и управление»

Кокуев Андрей Геннадьевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и управление»

Information about the authors.

Timur R. Vasilyev - Postgraduate student, Department Automation and control

Andrey G. Kokuev – Cand. Sc.(Technical), Assoc.Prof., Department Automation and control.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 17.09.2016.

Received 17.09.2016.

Принята в печать 22.11.2016.

Accepted for publication 22.11.2016.