

**УТВЕРЖДАЮ:**

Проректор по научной работе

ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,

доктор технических наук, доцент

\_\_\_\_\_ А.В. Коржов

«05» ноября 2020 г.



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Диссертация «Алгоритмы обработки информации для повышения точности измерения вихреакустических расходомеров в составе АСУ ТП» выполнена на кафедре информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

В период подготовки диссертации соискатель Дружков Александр Михайлович с 2012 года по 2016 год проходил обучение в аспирантуре на кафедре информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», с 2012 года и по настоящее время работает в АО «Промышленная группа «Метран» в должности отраслевой эксперт по метрологии и сертификации подразделения операционного директора Measurement Solutions в регионе СНГ.

В 2012 г. Дружков Александр Михайлович с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» по специальности «Информационно-измерительная техника и технология».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2020 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Тема диссертации утверждена советом факультета Компьютерных технологий, управления и радиоэлектроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), протокол №2 от «19» октября 2015 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Алгоритмы обработки информации для повышения точности измерения вихреакустических расходомеров в составе АСУ ТП» принято следующее **заключение:**

*Актуальность* диссертационной работы Дружкова А.М. «Алгоритмы обработки информации для повышения точности измерения вихреакустических расходомеров в составе АСУ ТП» не вызывает сомнений и обусловлена широким распространением таких средств измерения расхода как вихреакустические расходомеры в самых разных автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП) во многих отраслях промышленности, например, жилищно-коммунальное хозяйство, нефтедобыча. В работе автора предложен новый алгоритм поиска функции преобразования вихреакустического расходомера, основанный на методе поиска всех возможных регрессий и показателе сложности. Автором разработан метод поиска функции преобразования вихреакустического расходомера, основанный на анализе уравнения измерения вихреакустического расходомера. Результатом применения предложенных автором алгоритма поиска функции преобразования и метода поиска функции преобразования являются модели функции преобразования вихреакустического расходомера, позволяющие повысить точность измерения малых расходов вихреакустических расходомеров в широком диапазоне температур измеряемой среды. В работе предложен адаптивный алгоритм обработки информации о частоте вихреобразования, позволяющий повысить точность измерения малых расходов вихреакустических расходомеров при установившемся и переменном (изменяющемся) режимах расхода. Применение комплекса вышеперечисленных алгоритмов и метода к вихреакустическим расходомерам позволяет повысить точность их измерения в области малых расходов за счет изменения алгоритмов обработки данных в вихреакустическом расходомере, то есть без изменения конструктивной части расходомера. Таким образом, предложенные автором решения позволяют повысить эффективность функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами.

В диссертации рассмотрены задачи по разработке математических моделей, методов, алгоритмического обеспечения и критериев получения и обработки

информации с целью повышения эффективности функционирования средств измерения расхода и, как следствие, всей АСУ ТП в целом, что соответствует паспорту специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации». В диссертации разработан алгоритм и метод поиска моделей функции преобразования. Выбраны и обоснованы модели функции преобразования вихреакустического расходомера. В диссертации предложено алгоритмическое обеспечение обработки информации, в основе которого лежит предложенный автором критерий определения режима течения жидкости в вихреакустическом расходомере. В диссертации представлена имитационная модель временного ряда мгновенных частот вихреобразования.

В диссертации разработан алгоритм поиска модели функции преобразования, основанный на методе всех возможных регрессии и предложенном показателе сложности исследуемых моделей, позволяющий произвести поиск моделей функции преобразования, обеспечивающих повышение точности измерения малых расходов в вихреакустических расходомерах, что соответствует пункту 4 области исследований паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

В диссертации предложен метод поиска модели функции преобразования на основе анализа уравнения измерения вихреакустического расходомера, позволяющий произвести поиск модели функции преобразования, обеспечивающей повышение точности измерения малых расходов в вихреакустических расходомерах, что соответствует пункту 4 области исследований паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

В диссертационной работе разработана имитационная модель временного ряда мгновенных частот вихреобразования, учитывающая ключевую особенность вихреакустического расходомера, а именно зависимость скорости поступления информации о мгновенных частотах вихреобразования от измеряемого расхода, позволяющая проводить сравнения алгоритмов обработки информации о частоте вихреобразования, что соответствует пункту 1 области исследований паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

В диссертационной работе предложено алгоритмическое обеспечение обработки информации о мгновенных частотах вихреобразования, основанное на предложенном критерии определения режимов работы вихреакустического расходомера и применения различных методов обработки временного ряда мгновенных частот в зависимости от определенного режима расхода, позволяющее повысить точность измерения вихреакустического расходомера в установившемся и изменяющемся режимах расхода, что соответствует пункту 5 области исследований паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Таким образом, работа полностью соответствует паспорту специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Содержание диссертационной работы указывает на то, что соискатель достаточно хорошо владеет современными подходами, математическими моделями и методами обработки информации и системного анализа применительно к средствам измерения в АСУ ТП.

*Теоретическая значимость* работы соискателя заключается в создании алгоритма поиска модели функции преобразования вихреакустического расхода на основе метода всех возможных регрессий и показателя сложности модели с применением взвешенного метода наименьших квадратов, а также в разработанном методе покомпонентного анализа уравнения измерения вихреакустического расходомера, позволяющих повысить точность измерения в области малых расходов за счет выбора и обоснования функции преобразования; в разработке алгоритмического обеспечения обработки информации о мгновенных частотах вихреобразования позволяющего повысить точность измерения в установившемся и изменяющемся режимах расхода.

*Практическая значимость* заключается в создании моделей функции преобразования для вихреакустических расходомеров и алгоритма обработки информации о мгновенных частотах вихреобразования, позволяющие повысить точность измерения на малых расходах в широком диапазоне температур измеряемой среды при установившемся и изменяющемся расходах. Результаты были использованы при разработке нового поколения вихреакустического расходомера типа «Метран».

*Научная новизна* работы заключается в следующем:

1) Разработан алгоритм поиска математической модели функции преобразования вихреакустических расходомеров методом всех возможных регрессий с использованием показателя сложности и взвешенного метода наименьших квадратов, позволяющей повысить точность измерения на малых расходах.

2) Предложен метод поэлементного анализа уравнения измерения вихреакустического расходомера и разработана модель функции преобразования вихреакустического расходомера, позволяющая повысить точность измерения на малых расходах, распространить ее на расходомеры больших типоразмеров и сократить затраты на калибровку расходомера.

3) Разработано алгоритмическое обеспечение для обработки информации о частоте вихреобразования за телом обтекания, позволяющее повысить точность измерения при установившемся и изменяющемся режимах расхода.

4) Создана имитационная модель получения информации о частоте вихреобразования, позволяющая моделировать временной ряд мгновенных частот вихреобразования.

*Личным вкладом* соискателя является: постановка задачи повышения точности измерения малых расходов вихреакустических расходомеров посредством разработки функции преобразования, а также алгоритмического обеспечения обработки информации о частоте вихреобразования; разработка алгоритма и метода получения функции преобразования вихреакустического расходомера и нахождения с помощью их моделей функции преобразования для серийно выпускаемого расходомера, обеспечивающих повышение точности измерения малых расходов; разработка имитационной модели временного ряда частот вихреобразования и программного обеспечения, основанного на ней, позволяющего проводить численные эксперименты с применением различных алгоритмов обработки информации; проведение всех указанных в работе натуральных экспериментов.

*Степень достоверности результатов проведенных исследований.*

Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается корректной постановкой и формализацией исследовательской задачи, адекватными решаемой задаче методами исследования, корректным использованием методов регрессионного анализа, дисперсионного анализа, статистических методов обработки данных и проверки статистических гипотез и других классических современных научных положений. Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, подкреплены убедительными фактическими данными, полученными в ходе экспериментальных исследований. Разработанные автором модели и алгоритмы использованы в деятельности АО «Промышленная группа» Метран», что подтверждается соответствующим актом внедрения.

По объему выполненных научно-технических исследований и полученным практическим результатам диссертационная работа Дружкова А.М. является законченной научно-исследовательской работой, результаты которой можно квалифицировать как решение конкретной, практически значимой научно-технической задачи, которая соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям.

Результаты и выводы не противоречат ранее полученным результатам других авторов. В диссертацию включены только результаты, полученные Дружковым А.М., они не затрагивают интересы соавторов в представленных публикациях. Научному руководителю принадлежит общая постановка задачи диссертационного исследования.

Основные разработки и научные положения диссертации представлены в 11 научных работах, в числе которых 9 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем.

**Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1 Дружков, А.М. Выбор модели функции преобразования вихреакустических расходомеров / А.П. Лапин, А.М. Дружков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – Вып. 17 (294). – С. 161–164. Авторская доля (3с./4с.)

2 Дружков, А.М. Применение взвешенного метода наименьших квадратов при исследовании функции преобразования вихреакустических расходомеров / А.П. Лапин, А.М. Дружков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т. 12, № 2. – С. 109–113. Авторская доля (4с./5с.)

3 Дружков, А.М. Выбор и исследование двухфакторной модели функции преобразования вихреакустических расходомеров / А.П. Лапин, А.М. Дружков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2013. – Т.13, № 3. – С. 4–12. Авторская доля (6с./9с.)

4 Дружков, А.М. Анализ зависимости числа Струхала в уравнении измерения вихреакустического расходомера / А.П. Лапин, А.М. Дружков, К.В. Кузнецова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2013. – Том.13, № 4. – С. 70-77. Авторская доля (4с./8с.)

5 Дружков, А.М. Вихревой метод измерения расхода: история вопроса и направления исследований / А.П. Лапин, А.М. Дружков, К.В. Кузнецова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2014. – Том. 14, № 3. – С 19-28. Авторская доля (5с./10с.)

6 Дружков, А.М. Исследование стабильности частоты вихреобразования в вихреакустическом расходомере. / А.П. Лапин, А.М. Дружков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2014. – Том.14, № 4. – С 89-98. Авторская доля (8с./10с.)

7 Дружков, А.М. Вихревой метод измерения расхода: модели вихреобразования и современные средства моделирования / А.П. Лапин, А.М. Дружков, К.В. Кузнецова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2014. – Том. 14, № 4. – С.28-34. Авторская доля (3с./7с.)

8 Druzhkov, A.M. Adaptive algorithm for estimating vortex frequencies in vortex sonic flowmeters / A.P. Lapin, A.M. Druzhkov // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии управление, радиоэлектроника». – 2016. – Том.16, № 3. – С. 75-82. Авторская доля (4с./8с.)

9 Дружков, А.М. Проблемы поверки средств измерений в «Индустрии 4.0» на примере удалённой поверки расходомеров / А.М. Дружков, Н.Ю. Петров, А.Л. Шестаков // Приборы. – 2020. – № 6 (240). – С. 1-8. Авторская доля (4с./9с.)

Патент:

10 Пат. 2717701 Российская Федерация, МПК G 01 F 1/32. Способ измерения объемного расхода в вихревых расходомерах / Богданов В.Д., Дружков

А.М. – № 2019128486; заявл. 10.09.19; опубл. 25.03.20, Бюл. № 9 – 16 с. Авторская доля (10с./16с.)

Публикации в других изданиях:

11 Дружков, А.М. Алгоритм обработки информации в вихреакустических расходомерах В кн.: Научная сессия ТУСУР - 2016: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых. Томск, 25-27 мая 2016 г. – С. 50-52. Авторская доля (3с./3с.)

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация «Алгоритмы обработки информации для повышения точности измерения вихреакустических расходомеров в составе АСУ ТП» Дружкова Александра Михайловича **рекомендуется к защите** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность).

**ПРИСУТСТВОВАЛИ:** Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-измерительной техники (ИнИТ) Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ); Некрасов Сергей Геннадьевич, доктор технических наук, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Лапин Андрей Павлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Усачев Юрий Александрович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Юрасова Екатерина Валериевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Волосников Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Константинов Владимир Игоревич, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ, Лысова Алена Александровна, доцент кафедры ИнИТ ЮУрГУ; Николайзин Никита Владимирович, старший преподаватель кафедры ИнИТ ЮУрГУ

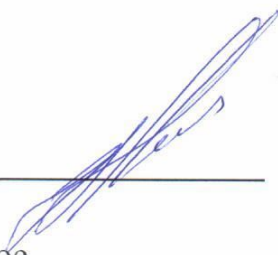
**ПРИГЛАШЕНЫ:** Казаринов Лев Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и управления (АиУ) ЮУрГУ; Логиновский Олег Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах (ИАОУ) ЮУрГУ; Голлай Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент кафедры ИАОУ ЮУрГУ; Ширяев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системы автоматического управления (САУ) ЮУрГУ;

**ВЫСТУПИЛИ:** Казаринов Лев Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АиУ ЮУрГУ; Ширяев Владимир Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой САУ ЮУрГУ; Логиновский Олег Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий

кафедрой ИАОУ ЮУрГУ; Шестаков Александр Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ИнИТ ЮУрГУ.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры информационно-измерительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». Результаты голосования «за» – 13 чел., «против» – 0 чел., «воздержались» – 0 чел., протокол № 2 от «5» ноября 2020 г.

и.о. заведующего кафедрой  
Информационно-измерительная техника  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»  
к.т.н., доцент



А.П. Лапин

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Россия, 454080 Челябинск, проспект Ленина, 87,  
<http://susu.ru/>, телефон: (351) 267-90-11  
e-mail: [aiu@susu.ru](mailto:aiu@susu.ru)

Подпись Лапина А.П. Удостоверяю  
Начальник управления Минакова С.  
по работе с кадрами

