



**ВНИИМ**  
им. Д.И.Менделеева

Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии – филиал  
Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский  
научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»  
ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

420088, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. 2-я Азинская, д. 7 «а»  
тел. (843) 272-70-62; факс (843) 272-00-32; сайт: www.vniir.org; e-mail: office@vniir.org

ИНН 7809022120, КПП 166043001, ОКПО 43333315, ОГРН 1027810219007,  
ОКТМО 92701000001, ОКОПФ 30002, ОКОГУ 1323565, ОКФС 12

№ \_\_\_\_\_  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
И.о. директора филиала ВНИИР –  
филиала ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»  
Алексей Семенович Табинский  
«12» января 2021 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Дружкова Александра Михайловича «Алгоритмы обработки информации для повышения точности измерения вихреакустических расходомеров в составе АСУ ТП», представленную на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

### ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАБОТЫ

На рецензию представлена диссертация, состоящая из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка (104 наименования) и семи приложений. Полный объем диссертации составляет 151 страница, включая 25 рисунков и 24 таблицы.

**Во введении** диссертационной работы представлено обоснование актуальности темы работы, приведены цели и задачи, дано краткое описание глав диссертационной работы, а также сформулирована научная новизна.

**В первой главе** представлен анализ типов автоматизированных систем управления техническими процессами. Выполнен критический обзор и систематизированы методы повышения точности измерений вихревых расходомеров в целом (и вихреакустических как подвид вихревых) расходомеров. Обоснован выбор алгоритмического метода повышения точности измерений вихреакустического расходомера, основанного на выборе модели функции преобразования расходомера и способе обработки информации о частоте вихреобразования. На основе выполненного обзора сформулированы и обоснованы цели и задачи исследования.



**Во второй главе** выполнено планирование эксперимента. Разработаны два различных подхода к выбору модели функции преобразования для вихреакустического расходомера. Первый подход основан на регрессионном анализе (методе всех возможных регрессий) и применим в случаях ограниченности знаний об объекте исследований, однако при должной адаптации легок в последующем применении к объектам подобного типа. Второй подход основан на детальном анализе уравнения измерений вихревого принципа измерения, оценке и компенсации каждой из составляющих. В заключении главы проведено сравнение двух предложенных подходов и дано описание области их применения.

**В третьей главе** подробно разобран принцип формирования информации о частоте вихреобразования за телом обтекания в вихреакустическом расходомере. Продемонстрирована особенность вихревых расходомеров, отличающая их от других типов расходомеров, а именно: зависимость скорости поступления информации о частоте вихреобразования от измеряемого расхода. Предложен алгоритм обработки информации о частоте вихреобразования, позволяющий детектировать режим течения жидкости в проточной части расходомера (нестационарный или стационарный).

**В четвертой главе** представлена апробация моделей функции преобразования вихреакустических расходомеров, выполненная в широком диапазоне режимных и конструктивных параметров исследуемых расходомеров на горячеводном стенде. Выполнен сравнительный анализ разработанного адаптивного алгоритма обработки информации о частоте вихреобразования с другими широко распространенными методами. Продемонстрированы результаты применения алгоритмических методов на практике.

**В заключении** представлены обобщенные результаты исследования.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ**

Автоматизированные системы управления техническими процессами (АСУ ТП) являются материально-технической основой любого современного производства, от эффективности функционирования таких систем, зачастую зависит эффективность и успех всего предприятия. Основным источником информации во время функционирования АСУ ТП являются средства измерений (СИ), при этом в АСУ ТП часто возникает задача измерения расхода жидкости. В жестких условиях эксплуатации в качестве СИ расхода прочно зарекомендовали себя вихреакустические расходомеры в виду того, что они обладают надежной и устойчивой к загрязнениям конструкцией и могут производить измерения в широком диапазоне расходов и температур измеряемой жидкости.

В диссертационной работе Дружкова Александра Михайловича предложены алгоритмические методы повышения точности измерения вихреакустических расходомеров. Данная тема актуальна, так как повышение точности измерений является существенным резервом повышения качества продукции и эффективности производства (МИ 2301-2000), а алгоритмические



методы наименее затратными для внедрения, так как требуют лишь изменения программного обеспечения микроконтроллеров в составе современных СИ.

Актуальность диссертационной работы определяется поиском методов и способов повышения точности измерений в области малых расходов жидкости вихреакустическими расходомерами как на этапе их разработки, так и на этапе эксплуатации.

### **ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ**

Достоверность результатов работы подтверждена корректным использованием математических методов регрессионного анализа, использованием аттестованных эталонов при проведении эксперимента, корректным применением статистических методов обработки информации, экспериментальными результатами исследования.

### **НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ОБОСНОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

В диссертации получен ряд новых научных результатов, наиболее важными из которых являются:

- алгоритм поиска математической модели функции преобразования вихреакустических расходомеров методом всех возможных регрессий с использованием показателя сложности и взвешенного метода наименьших квадратов, позволяющей повысить точность измерений на малых расходах;

- метод поэлементного анализа уравнения измерения вихреакустического расходомера и модель функции преобразования вихреакустического расходомера, позволяющая повысить точность измерений на малых расходах, распространить ее на расходомеры больших номинальных диаметров ( $DN$ ) и сократить затраты на калибровку расходомера;

- алгоритмическое обеспечение для обработки информации о частоте вихреобразования за телом обтекания, позволяющее повысить точность измерения при установившемся и изменяющемся режимах расхода;

- имитационная модель поступления информации о частоте вихреобразования, позволяющая моделировать временной ряд мгновенных частот вихреобразования.

### **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ**

В работе описано создание алгоритма поиска модели функции преобразования вихреакустического расходомера на основе метода всех возможных регрессий и показателя сложности модели с применением взвешенного метода наименьших квадратов; в разработанном методе покомпонентного анализа уравнения измерений вихреакустического расходомера, позволяющего повысить точность измерений в области малых расходов за счет выбора и обоснования модели функции преобразования; в разработке алгоритмического обеспечения обработки информации о мгновенных частотах вихреобразования, позволяющего повысить точность измерений в установившемся и изменяющемся режимах расхода.



## ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

В работе предложены модели функции преобразования и адаптивные алгоритмы обработки информации о частоте вихреобразования, которые достаточно просто могут быть интегрированы в конструкцию почти любого современного вихреакустического расходомера. Таким образом, ключевая практическая значимость диссертационной работы Дружкова А.М. заключается в реализуемости разработанных алгоритмических методов на практике, о чем свидетельствует полученный патент на изобретение и акт внедрения разработанных алгоритмов в деятельность АО «Промышленная группа «Метран», подтверждающие и актуальность проведенной экспериментальной работы, и практическую ее значимость.

По нашему мнению, при должной адаптации предложенного алгоритма поиска модели функции преобразования, основанного на методе всех возможных регрессий и показателя сложности, его можно применить и к другим средствам измерений, например, к тем, для которых в ходе производственного процесса возможно (экономически целесообразно) проводить большое количество экспериментов при двух и более влияющих факторах.

## ЗАМЕЧАНИЯ

1. В тексте диссертации и автореферата отсутствуют диапазоны чисел Рейнольдса основного потока в напорном трубопроводе  $Re_D$ , позволяющие оценить режимы течения, реализованные в экспериментах на горячеводном стенде. Согласно прикидочным расчетам весь исследованный диапазон расходов принадлежит области развитого турбулентного течения.

2. В тексте диссертации и автореферата отсутствуют диапазоны локальных чисел Рейнольдса  $Re_d$ , в окрестности тела обтекания, что так же затрудняет оценку диапазона изменения чисел Струхалия, а также наличие, либо отсутствие дополнительных влияющих факторов.

3. В работе не представлена апробация разработанных алгоритмических методов для других типов вихревых расходомеров, используемых для измерений расхода жидкости.

4. Возникает вопрос о возможности переноса разработанных алгоритмических методов на проблематику изменений расхода газов вихревыми расходомерами.

5. В структуре текста автореферата результаты экспериментальных исследований, полученных в главе 4 текста диссертационной работы, затруднительно разделить на три независимые группы:

- исследование разработанных моделей функции преобразования;
- сравнение работы предложенного адаптивного алгоритма;
- сравнение на горячеводном стенде двух вихреакустических расходомеров с различным алгоритмическим обеспечением.

Считаем, что сделанные выше замечания не снижают общей положительной оценки проведенного автором исследования.

Диссертационная работа выполнена на современных научно-методическом и техническом уровнях.



Все основные результаты соответствуют современным физическим и техническим представлениям, и их следует признать правильными.

Все результаты опубликованы в центральной рецензируемой печати и обсуждались на различных конференциях и совещаниях. Основное содержание диссертационной работы изложено в 11 опубликованных работах, из них 9 опубликовано в рецензированных научных изданиях, рекомендованных ВАК. Автореферат в достаточной мере отражает личный вклад автора и полностью соответствует содержанию данной диссертационной работы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая работу в целом, считаем, что диссертация Дружкова Александра Михайловича представляет собой законченную научно - исследовательскую работу, в которой предложено решение актуальной задачи, разработанные решения обладают научной новизной и вносят практический вклад в развитие метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества жидкости. Методы исследования и анализа полученных данных являются корректными, а выводы логичными и обоснованными. Результаты диссертационной работы соответствуют поставленным целям и задачам. Основное содержание диссертационной работы представлено автором в виде автореферата, а также опубликовано в изданиях, рецензируемых ВАК.

Считаем, что диссертационная работа Дружкова Александра Михайловича на тему «Алгоритмы обработки информации для повышения точности измерения вихреакустических расходомеров в составе АСУ ТП», соответствует требованиям п. 9, п. 10, п. 11, п. 13 и п. 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в части требований, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)».

Начальник научно-исследовательского отдела метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества жидкости ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»,  
e-mail: rak\_1985@mail.ru



/ Р.А. Корнеев /

Доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества жидкости ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»,  
e-mail: lexa\_kzn@mail.ru



/ А.В. Щелчков /

Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии – филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им.Д.И.Менделеева»  
Адрес: 420088, Россия, Республика Татарстан, г.Казань, ул. 2-ая Азинская, д. 7 «а».  
Телефон: +7 (843) 272-70-62 e-mail: office@vniir.org, веб-сайт http://vniir.org/.

Подпись ЗАЯВЛЯЮ  
Специальный  
КАДР РАМ :




Я, Корнеев Роман Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Дружкова Александра Михайловича и их дальнейшую обработку.

 / Р.А. Корнеев / «12» января 2021 г.

Я, Щелчков Алексей Валентинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Дружкова Александра Михайловича и их дальнейшую обработку.

 / А.В. Щелчков / «12» января 2021 г.