

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра компьютерной физики и метаматериалов
на базе Саратовского филиала Института радиотехники
и электроники им. В. А. Котельникова РАН

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС
СБОРКИ ДАТЧИКОВ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА
ДЛЯ ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Лавринова Игоря Сергеевича
студента 2 курса, 2225 группы,
направления подготовки 03.04.02 Физика
Института физики

Научный руководитель
д.ф.-м.н. профессор

В.В. Петров

Заведующий кафедрой
компьютерной физики и метаматериалов
на базе Саратовского филиала Института радиотехники
и электроники им. В. А. Котельникова РАН
д.ф.-м.н. профессор

В.М. Аникин

Саратов 2021 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Расходомеры (счетчики) количества вещества являются важными элементами систем учета потребления энергоресурсов и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве. Наиболее универсальными и востребованными до настоящего времени являются расходомеры, в которых реализуется метод, основанный на измерении перепада давления на сужающем устройстве. Но его недостатком является квадратичная зависимость перепада давления от расхода и значительная погрешность, достигающая в нижней части диапазона 3-5%.

Цель работы – рассмотрение метода сбора пьезоэлектрического датчика.

Задачами работы являются разработка и практическая реализация такого метода, который мог обеспечивать более высокую точность измерений в широком динамическом диапазоне. Перспективными для решения этой задачи являются вихревые расходомеры, которые в настоящее время уже нашли широкое применение для контроля расхода жидкости, газа и пара и обеспечивают около 5% мирового рынка приборов учета расхода.

Методы исследования – экспериментальные.

Объект исследования – вихревые датчики расхода газа, жидкости или пара, **предмет исследования** – метод сбора пьезоэлектрического датчика.

Достоверность результатов подтверждается использованием высокоточного оборудования.

Практическая значимость работы обусловлена возможностью использования рассмотренного процесса в методическом пособии.

Структура ВКР. Выпускная квалификационная работа (ВКР) содержит введение, 5 глав, заключение, список использованных источников (18 наименований).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении формулируются аспектные характеристики выпускной работы (актуальность, цель, задачи, методы исследования, объект и предмет исследования, новые результаты и т.д.).

В первой, обзорной по характеру главе, проводится рассмотрение основных видов расходомеров, а также принцип их действия. В химическом производстве измерение расхода и массы материалов (жидких, газообразных, сыпучих, паров и т.д.) широко используется как в учете и отчетности товаров, так и в мониторинге, контроле и управлении технологическими процессами.

Расход вещества – это масса или объем вещества, проходящего через данное сечение канала средства измерения расхода в единицу времени. В за-

зависимости от единицы измерения расхода различают объемный и массовый расход. Объемный расход измеряется в м³/с (м³/ч и т.д.), массовый расход - в кг/с (кг/ч, т/ч и т.д.).

Расход вещества измеряется расходомерами, которые представляют собой измерительные приборы или расходомеры. Многие расходомеры предназначены для измерения не только скорости потока, но и массы или объема вещества, протекающего через расходомер за любой период времени. В этом случае они называются расходомерами или просто счетчиками. Масса или объем вещества, протекающего через счетчик, определяется по разнице между двумя последовательными показаниями счетчика или интегратора. По принципу действия их можно разделить на следующие основные группы: переменного перепада давления; потоковые - постоянного перепада давления; тахометрические; электромагнитные; переменного уровня; тепловые; вихревые; акустические. Существуют также расходомеры, основанные на других принципах работы: резонансные, оптические, ионизационные, дозирующие и т.д. Однако многие из них находятся в стадии разработки и еще не нашли широкого применения.

В настоящее время разработаны и имеют весьма широкие перспективы применения вихревые расходомеры, принцип действия которых основан на зависимости от расхода частоты колебаний давления среды, возникающих в потоке в процессе вихреобразования.

Измерительный преобразователь вихревого расходомера (рис. 1) представляет собой завихритель 1, вмонтированный в трубопровод, с помощью которого поток, завихряется (закручивается) и поступает в патрубок 2.

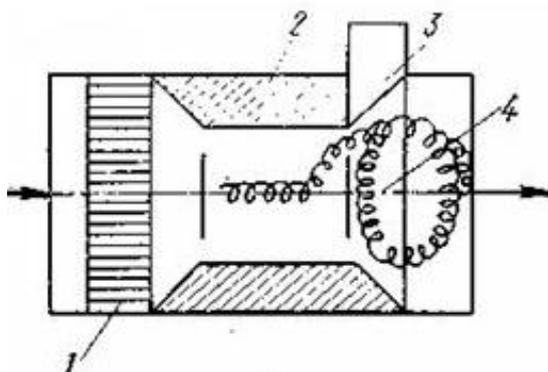


Рис. 1. Функциональная схема вихревого расходомера

На выходе из патрубка в расширяющейся области 4 установлен пьезометрический преобразователь 3, воспринимающий и преобразующий вихревые колебания потока (для которых имеет силу зависимость

$$f = St * \frac{v}{d}, \text{ где}$$

f – частота пульсаций на преобразователе,

$St \approx 0,17 = const$ – константа Струхала,

d – диаметр лицевой, относительно потока, части препятствия,

v – скорость потока) в электрический сигнал (переменное напряжение), который далее приводится к нормализованному виду, отвечающему требованиям ГСП.

Завихрения потока формируются таким образом, что внутренняя область вихря - ядро, поступая в патрубок 2, совершает только вращательное движение. На выходе же из патрубка в расширяющуюся область 4 ядро теряет устойчивость и начинает асимметрично вращаться вокруг оси патрубка.

Достоинства: широкий диапазон температур, возможность использования практически на любых средах.

Недостатки: чувствительность к влиянию внешних помех (вибрации), ненулевая шкала.

Вторая глава содержит информацию об области применения датчиков, их достоинствах и недостатках. Рассматриваемый вид расходомеров в последние годы получает все более широкое распространение благодаря следующим положительным чертам:

- значительному динамическому диапазону до 500;
- высокой точности измерения, составляющей $\pm(1;2)$ %;
- возможности измерения расхода неэлектропроводных сред (нефтепродукты), загрязненных сред, суспензий;
- широкому диапазону диаметров трубопроводов от 10 мм и выше без ограничений;
- малой инерционности;
- отсутствию потери давления;
- широкому диапазону температур и давлений.

К недостаткам этого метода измерения расхода следует отнести:

- необходимость значительных длин линейных участков до и после преобразователя;
- влияние на показания пузырьков воздуха в потоке;
- необходимость контроля отложений в трубопроводе на его рабочем участке;
- сложность и высокая стоимость приборов, которая при прочих равных условиях в 3—4 раза превышает стоимость тахометрических и электромагнитных расходомеров;
- ограничения по минимальной скорости потока.

Третья глава повествует о расходомерах жидкости и газа, применяемых на российском рынке. последнее время российский рынок постепенно начали завоевывать накладные ультразвуковые расходомеры, которые обладают одним неоспоримым достоинством – они позволяют производить измерения без врезки в трубопровод. Еще лет 15–20 назад, на заре становления накладной ультразвуковой расходомерии, первые приборы оставляли желать лучшего по таким параметрам, как качество измерений, точность, возможность работать в жестких условиях эксплуатации.

Расходомеры FLUXUS® Energy от FLEXIM (рис. 2) оказались идеальным выбором: ультразвуковые накладные датчики имеют высокий запас прочности и способны к измерению очень малых потоков. Кроме того, приборы показали точное и надежное температурное измерение без нулевого дрейфа. Износ и поломка не оборачиваются неразрешимой проблемой, так как датчики потока просто прижаты к внешней стороне трубы и не контактируют с измеряемой средой.

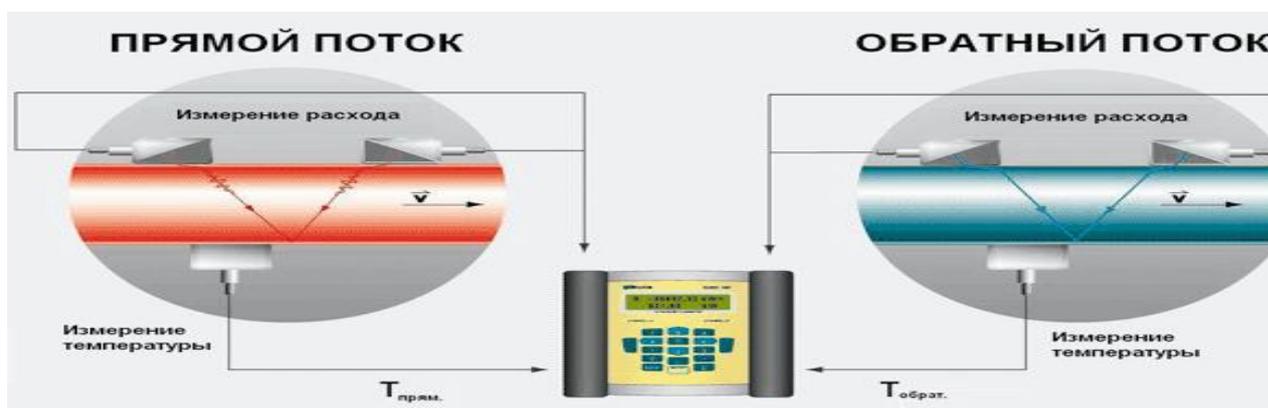


Рис.2 Функциональная схема измерений теплового потока расходомером FLUXUS

Помимо расширенного диапазона измерения расходомер не требует прямых участков на входе и выходе благодаря запатентованной конструкции первичного преобразователя. Это изделие создано специально на замену турбинных и ротационных счетчиков без перепроектирования места установки, поскольку имеет малое межфланцевое расстояние — $3D$, где D — условный диаметр трубопровода. Широко применение ультразвуковых расходомеров на объектах с условиями ограниченного пространства: в узлах учета компрессорных и газораспределительных станций, в установках по производству технологических газов и др.

Для задач коммерческого учета, в том числе на приграничных газоизмерительных станциях, разработан многоканальный ультразвуковой расходомер повышенной точности «Вымпел-500».

Применяют ультразвуковой расходомер «Вымпел-500» для определения эпюры потока и обеспечения максимальной точности измерения.

С целью получения детальной информации о функции распределения скорости число каналов зондирования доведено до 8. Измерительная схема расходомера характеризуется наличием двух плоскостей, расположенных под углом 90° или 60° друг к другу, образуя в проекции на сечение трубопровода четыре хорды.

Прибор оснащен 8-канальным блоком электроники, выполненным на современной элементной базе с малым энергопотреблением. Программное обеспечение прибора позволяет выводить все текущие данные о состоянии измерительной системы и результатов измерений в реальном времени. Кор-

ректор, производящий приведение измеренного расхода к стандартным условиям, встроен в блок электроники в штатном исполнении.

В четвертой главе решается задача сбора корпуса блока вихревого расходомера. В нашей работе рассматриваются два вида датчиков: Датчики изгибающего момента SA SL 16 и SA-L32G. Они предназначены для преобразования изгибающего момента в электрический сигнал при работе в составе вихревых расходомеров жидкостей и/или газов. Электрическая схема представлена на рисунке 3.

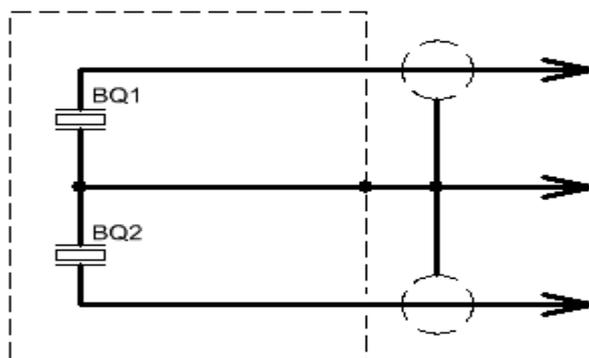


Рисунок 3. Электрическая схема пьезоэлектрического датчика изгибающего момента

Подключение датчиков производится в соответствии с Рисунком 4. По нему, контакты от датчика подключаются к разноименным полюсам зарядового усилителя, который, в свою очередь, связывается с измерительной схемой, считывающей изменение электрического сигнала.

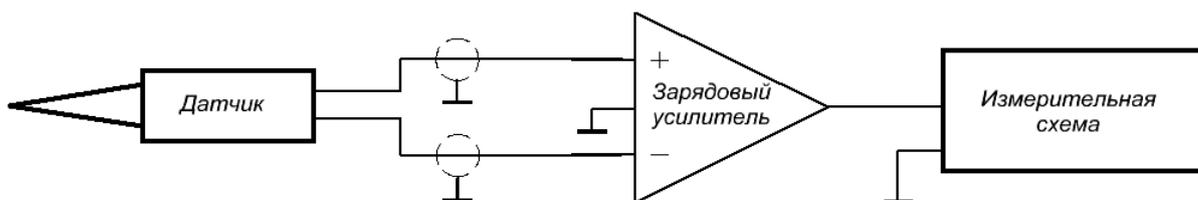


Рисунок 4. Схема подключения датчика

Основные технические характеристики, необходимые для полноценной работы, указаны в таблице, что основана на информации из паспорта представленных вихревых датчиков.

Используя полученную в паспортах информацию, можно приступить непосредственно к работе, а именно – сбору блока. В работе используется пьезокерамика марки ЦТС84Г, провода – РК 50-0.6 – 23, что позволяет минимизировать потери энергии на внутреннем сопротивлении. Корпус из титана и латунная втулка обеспечивают прочность готового блока. Флюс марки ЛТИ 120 и припой ПСР 2.5 выбраны из-за их общей распространенности. Помимо этого, используется электронный герметик «Силагерм 2108».

Таблица 1. Основные технические характеристики датчика

№ п/п	Характеристика	Единицы измерения	Значение
1	Диапазон рабочих температур	°С	-60 .. 250
2	Максимальное рабочее давление среды	МПа	35
3	Коэффициент преобразования при нормальных условиях	нКл/Н·м,	≥70
4	Изменение коэффициента преобразования от температуры	%	10 .. -40
5	Изменение коэффициента преобразования от давления	%	-20 .. 10
6	Электрическая емкость (каждого канала)	пФ	≥700
7	Относительная разность электрических емкостей	%	≤±10
8	Электрическое сопротивление контакта между корпусом и экраном кабеля (в нормальных условиях)	Ом	≤5
9	Сопротивление изоляции между центральными жилами кабелей	Ом	≥108
10	Степень защиты от воды и пыли по ГОСТ 14254-96	-	IP68
11	Устойчивость к воздействию синусоидальных вибраций высокой частоты	-	G2

В пятой главе работы решается задача проверки готового датчика. Для проверки датчика на работоспособность измеряют его чувствительность, которая определяется, как отношение уровня электрического сигнала, снимаемого с выхода каждого из каналов датчика к механическому воздействию, производимому на лопатку датчика. Чувствительность измеряется в единицах нКл/Н (Нанокulon / Ньютон). Другой испытываемой величиной является симметричность (двух) каналов датчика, которая определяется, как отношение разности амплитуд выходных сигналов каждого из двух каналов, к их сумме, выраженное в процентах. На рисунке 6 предоставлен скриншот рабочего экрана. На нем видно, что по различным направлениям оси абсцисс происходили колебания примерно одинаковой амплитуды, а разница между их максимальными значениями является причиной человеческого фактора при проведении опыта и является несущественной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрен процесс сборки вихревого датчика расходомера. Текст выпускной работы может использоваться в методических пособиях по разработке вихревых датчиков расхода газа, жидкости или пара.

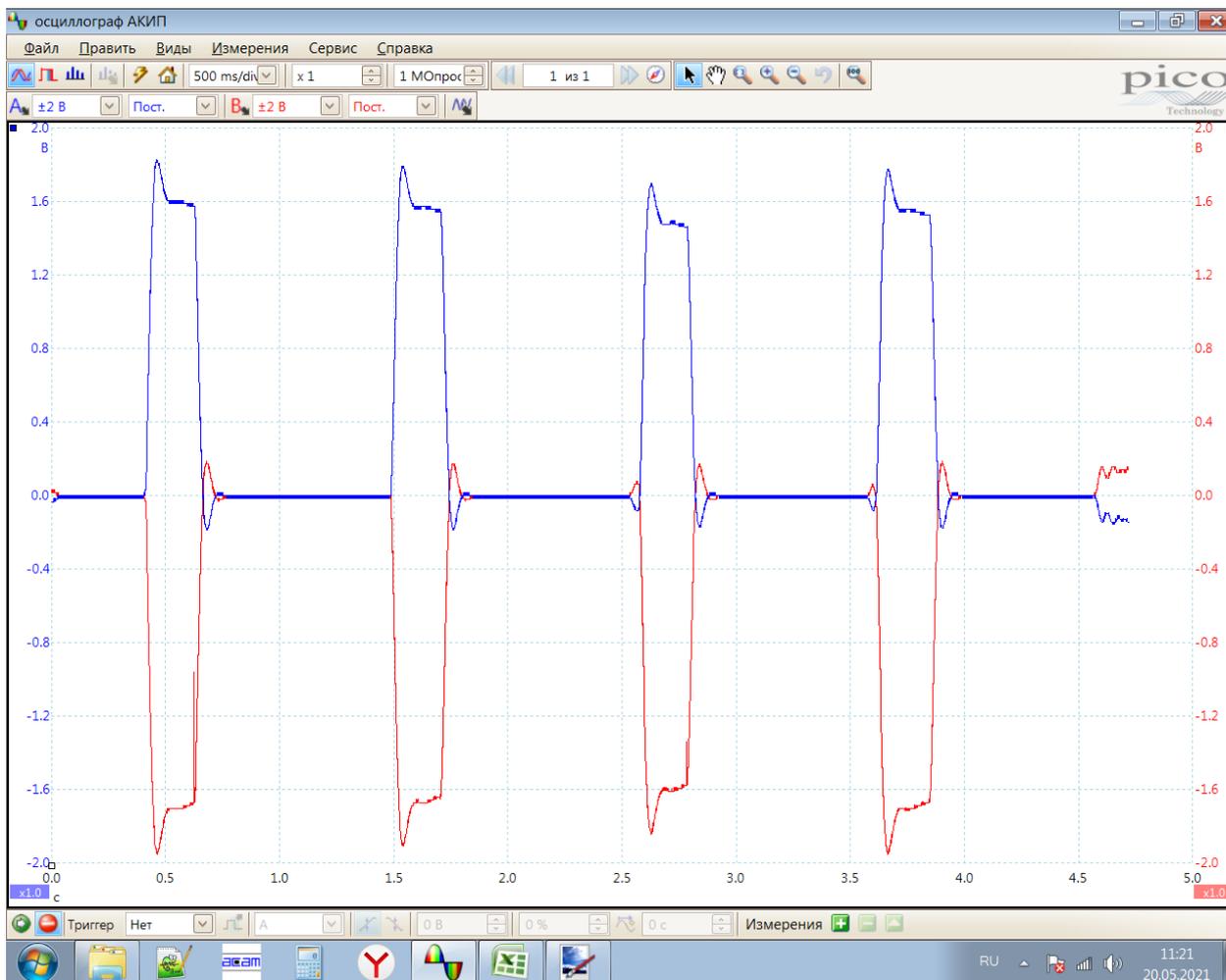


Рис. 5 Скриншот работы программы

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Измерительная техника, URL: https://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_529.html (дата обращения: 20.03.2021)
2. Выбор вихревого расходомера. URL: <https://rusautomation.ru/stati/vybor-vykhrevogo-rashodomera> (Дата обращения: 24.04.2021)
3. Техническое устройство расходомера US-800. URL: http://www.us800.ru/tech_har_us800_123.htm (дата обращения: 14.04.2021)
4. Справочное пособие "Приборы измерения расхода, давления, уровня", АГ-ТУ, 1999
5. Журнал «Информатизация и Системы Управления в Промышленности», № 6(48)2013
6. Руководство по эксплуатации стационарного ультразвукового расходомера-счетчика Streamlux SLS-700F
7. С.Г. Марченко, А.М. Ляшенко, А.М. Деревягин, В.В. Козлов, Г.А. Деревягин. Сравнение расходомеров. Применение ультразвуковых расходомеров.
8. Датчики изгибающего момента SA SL 16. Паспорт. ООО Корпорация «Спектр-Акустика»

9. *Богущи М.В., Пикалев Э.М.* Оценка допустимых условий эксплуатации пьезоэлектрических датчиков изгибающего момента для вихревых расходомеров газа и пара // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2008, №5, с. 50-54.
10. *Богущи М.В.* Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электроупругих моделей // Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. IX. Техносфера, М., 2014, 312 с.
11. Расходомеры и счётчики количества веществ. Справочник. -- Изд. 5-е, пер. и доп.. -- СПб.: Машиностроение, 2002.
12. Авторы патента: Рогожин С. С., Петров В. В., Лапин С. А., Вельмогин А. М., Петров А. В., Костарев Е. В. Патент № 2709430 «Датчик изгибающего момента для вихревых расходомеров».
13. Измерение расхода и количества жидкости и газов методом переменного перепада давления. Под ред. *А. Б. Васильева*. -- Минск: Изд-во стандартов, 1997.
14. *Лунеев Д.Е.* Конспект лекций по дисциплине "Измерительные преобразователи".
15. *Дивин А.Г.* Методы и средства измерений, испытаний и контроля. - Тамбов: ТГТУ, 2012. - 108 с.
16. *Мазин В.Д.* Метрология и теплотехнические измерения. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 77 с.
17. *Шимарев В.Ю.* Средства измерений. - Учебник для студентов - 3-е изд., стер. - Москва, Академия, 2009. - 320 с.