

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

В. И. Рожков

**Метрология, сертификация, технические
измерения и автоматизация тепловых процессов**

Учебно-практическое пособие



**Санкт-Петербург
2019**

УДК 389(075)
ББК 30.10я7
Р 631

Рожков В.И. Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов: учебно-практическое пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб.- 37 с.

В учебно-практическом пособии приведен перечень практических заданий по дисциплине «Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов», основанный на метрологических расчетах погрешности комплекта узлов учета тепловой энергии (УУТЭ) в соответствии с положениями ГОСТ Р 8.591-2002. Учебно-практическое пособие направлено на формирование у обучающихся навыка по проведению метрологических расчетов. Оно будет полезно для студентов по специальности «Теплоэнергетика и теплотехника», инженеров, осуществляющих проектирование узлов учета тепловой энергии и при проведении метрологического расчета комплекта оборудования УУТЭ при его модернизации.

Учебно-практическое пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Рецензенты:

доцент кафедры информационно-измерительной техники и систем управления ВШТЭ СПбГУПТД, канд. техн. наук А.В. Бахтин;

доцент кафедры ноосферной технологии СПбГАСУ, канд.техн.наук В.В. Георгиади.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Института энергетики и автоматизации Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД (протокол № 4 от 18 апреля 2019 г.).

Утверждено к изданию методической комиссией Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД (протокол № 1 от 04.10.2019 г.).

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД в качестве учебно-практического пособия.

© Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, 2019

© Рожков В.И., 2019

Введение

В соответствии с действующими нормативными документами для установки узла учета тепловой энергии (УУТЭ) заказчику необходимо обратиться в теплоснабжающую компанию с письмом для получения технического задания на его проектирование. На основании письма теплоснабжающая организация выдает заказчику технические условия на проектирование и подключение УУТЭ к тепловым сетям, в которых указываются основные параметры теплосети (температурный график сети, параметры давления), расчетные тепловые нагрузки объекта теплоснабжения и другие данные.

Разработку проекта УУТЭ осуществляет проектная организация, имеющая лицензию на проектирование подобного оборудования. В процессе проектирования узла учета тепловой энергии перед инженером, осуществляющим подбор необходимого оборудования, входящего в комплект узла учета тепловой энергии, стоит метрологическая задача, решение которой позволит решить вопрос о допуске данного оборудования к использованию в составе комплекта теплосчетчика. Речь идет о расчете относительной погрешности комплекта УУТЭ. Основанием для подобного расчета служат требования ГОСТ Р 8.591-2002 г. [1], а также межгосударственный стандарт (Государственная система обеспечения единства измерений) [4].

Рассмотрим средства измерения, применяемые при комплектовании узлов учета тепла.

Состав комплекта узла учета тепла

Тепловычислители

Тепловычислители предназначены для измерения и учета тепловой энергии и количества теплоносителя в закрытых и открытых водяных системах теплоснабжения и рассчитаны для работы в составе теплосчетчиков, обслуживающих два и более теплообменных контура (тепловых ввода), в каждом из которых устанавливаются датчики объема, температуры и давления (рис. 1).

По своей конструкции тепловычислитель – это микропроцессорный прибор, в состав которого входят несколько модулей, каждый из которых отвечает за решение определенной задачи:

- блок вычисления тепловой мощности и энергии;
- блок контроля измерения параметров температуры;
- блок контроля измерения параметров давления;
- блок контроля измерения параметров расхода;
- блок контроля времени и т.д.

Теплосчетчики обеспечивают:

- измерение тепловой энергии, объема, массы, объемного и массового расходов, температуры и давления воды;
- архивирование значений количества тепловой энергии, массы, объема, средних значений температуры и давления в часовом, суточном и месячном архивах;
- архивирование сообщений о нештатных ситуациях и об изменениях настроечных параметров;
- ввод настроечных параметров;
- показания текущих, архивных и настроечных параметров;
- ведение календаря и времени суток и учет времени работы;
- защиту архивных данных и настроечных параметров от изменений.



Рис. 1. Тепловычислитель СПТ-943

Совместно с тепловычислителями применяются:

- преобразователи объема, имеющие числоимпульсный выходной сигнал с частотой следования импульсов 0-18 или 0-1000 Гц;
- преобразователи температуры Pt100, 100П, 100М;
- преобразователи давления с выходным сигналом 4-20 мА.

Входные сигналы и диапазоны. Измерительная информация, как правило, поступает на тепловычислители от датчиков расхода, температуры и давления в виде электрических сигналов, в перечень которых входят:

- два и более числоимпульсных сигналов, соответствующих измеряемому объему жидкости, каждый из которых может быть низкочастотным с диапазоном изменения 0-18 Гц или высокочастотным с диапазоном измерения 0-1000 Гц;
- от двух до четырех сигналов силой тока 4-20 мА, соответствующих измеряемому давлению;
- несколько сигналов сопротивления, соответствующих измеряемой температуре до 180 °С.

Расходомеры

Расходомеры (счётчики) количества вещества являются важными элементами систем учёта 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 измерения перепада давления на сужающем устройстве. Этим методом можно измерять расход практически любых жидких и газообразных веществ, движущихся по трубам как малого, так и большого диаметра в широком интервале избыточных давлений и температур. Однако его недостатком является квадратичная зависимость перепада давления от расхода и, как следствие, небольшие динамические диапазоны измерений (1:3...1:5) и значительная погрешность, достигающая в нижней части диапазона 3-5 %. В связи с этим для решения частных технических задач разработаны другие, более информативные методы измерения расхода (тахометрические, электромагнитные, ультразвуковые и др.), количество которых составляет уже более 20. При этом актуальной остается задача разработки и практической реализации такого метода, который мог бы конкурировать по универсальности с методом измерения перепада давления, но обеспечивал более высокую точность измерений в широком динамическом диапазоне.

Электромагнитные расходомеры

Принцип действия электромагнитных расходомеров основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости.

Серийные электромагнитные расходомеры предназначены для измерения расхода жидкостей с электропроводностью не менее 10^{-3} См /м

(соответствует электропроводности водопроводной воды) (рис.2). Имеются специальные расходомеры, позволяющие измерять расход жидкостей с электропроводностью до 10^{-5} См/м. В настоящее время электромагнитные расходомеры - это самые распространенные приборы для измерения расхода воды в трубопроводах диаметром менее 250 мм.



Рис. 2. Типовой электромагнитный расходомер

Они обладают следующими характеристиками:

- показания не зависят от вязкости и плотности среды;
- динамический диапазон измерения достигает 100 и более единиц;
- преобразователи расхода являются безынерционными;
- не имеют частей, выступающих внутрь трубы, и, таким образом, не создают потери давления;
- влияние местных сопротивлений значительно меньше, чем у других расходомеров, поэтому требуемая длина прямых участков до установленного расходомера и после него минимальная и варьируется в диапазоне от 5 Ду до 1 Ду;
- применяются на трубопроводах диаметром от 20 до 250 мм;
- могут быть использованы в ряде случаев, когда применение расходомеров других типов затруднено или невозможно вовсе: при измерении расхода агрессивных, абразивных и вязких жидкостей, пульп, жидких металлов.

К недостаткам электромагнитных расходомеров следует отнести требования к минимальному значению электропроводности измеряемой среды, что сужает круг использования таких расходомеров. Другой недостаток расходомеров — низкий уровень информативного сигнала (мкВ)

и необходимость тщательной защиты преобразователя и линий связи от внешних помех.

Отечественными и зарубежными производителями выпускается широкий спектр микропроцессорных электромагнитных расходомеров: МР400 (ЗАО «Взлет»), ИПРЭ-1 (Арзамасский приборостроительный з-д), РМ-5 (ООО «ТБН»), РОСТ 13, ТРЭМ-ПР (завод «Молния»), ВИС. Т (ЗАО «Тепловизор»), РСМ-05 (ЗАО «ТЭМ-прибор»), VA 2305 (ЗАО «Aswega», Эстония), Magne W 3000 PLUS (фирма Honeywell), IMT96 (фирма Foxboro), ADMAD (фирма Yokogawa, Япония), SITRANS FM (фирма Siemens) и др. Эти приборы помимо цифровых показаний и токового выходного сигнала могут иметь импульсный выход, интерфейсы RS-232, RS-485, а в ряде случаев HART-, BRAIN- и Profibus-протоколы.

Принципиальная схема первичного преобразователя электромагнитного расходомера показана на рис. 3.

Рабочий участок трубы преобразователя 1, изготовленный из немагнитного материала и покрытый изнутри электрической изоляцией 2 (резиной, эмалью, фторопластом и т.п.), расположен между полюсами электромагнита. Через стенку трубы изолированно от нее по диаметру введены электроды 3, находящиеся в электрическом контакте с жидкостью. Силовые линии магнитного поля направлены перпендикулярно плоскости, проходящей через ось трубы и линию электродов.

В соответствии с законом электромагнитной индукции при осесимметричном профиле скоростей в жидкости между электродами будет наводиться ЭДС, величина которой прямо пропорциональна объемному расходу. Измерение наведенной ЭДС осуществляется измерительным прибором ИП.

Применение постоянных электромагнитов в расходомерах позволяет облегчить борьбу с помехами от внешних электромагнитных полей, увеличить быстродействие прибора. Основным недостатком их использования является поляризация электродов: концентрация у положительного электрода отрицательных ионов, а у отрицательного положительных. Вследствие этого на поверхности электродов создаются потенциалы, образующие ЭДС поляризации, направленную против основной измеряемой ЭДС, что изменяет градуировочную характеристику прибора и делает невозможной его стабильную работу. Поэтому электромагнитные расходомеры с постоянным магнитным полем не применяются для жидкостей с ионной проводимостью.

Для измерения расходов в трубопроводах диаметром более 300 мм используется метод измерения локальной скорости потока (методы «площадь—скорость» и «площадь—скорость—градиент»). В преобразова-

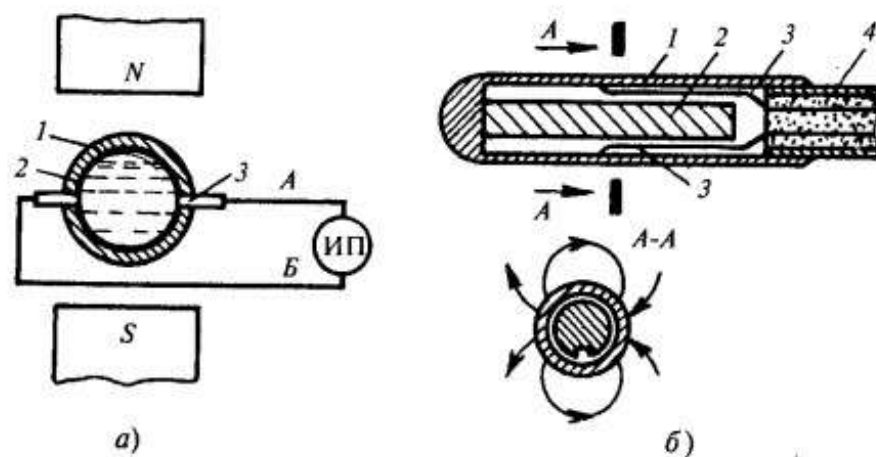


Рис. 3. Схема преобразователей электромагнитных расходомеров:
а — с внешним магнитом: 1 — преобразователь; 2 — электрическая изоляция; 3 — электроды; б — с внутренним магнитом; 1 — обтекаемый корпус; 2 — магнит; 3 — электроды; 4 — кабель

телях «площадь—скорость» электромагнит с помощью штанги вводится в поток на расстояние 0,242 радиуса от стенки трубопровода.

В этой точке при осесимметричном потоке в фиксированном диапазоне расходов локальная скорость потока с небольшой погрешностью равна средней по сечению, т.е. выходной сигнал преобразователя определяется средней скоростью и, следовательно, будет связан с объемным расходом. Сигнал преобразователей типа «площадь—скорость—градиент» меньше зависит от несимметрии профиля скоростей. Схема преобразователя РМ-5-БЗ дана на рис. 4.

В этих преобразователях используются три измерителя скорости ИС, включающих локальные преобразователи скорости ПС и измерительные блоки ИБ, образующие измерительный блок ППС. Преобразователи скорости располагаются равномерно по окружности, причем все они ориентированы по радиусу канала. Микропроцессорная обработка сигналов трех преобразователей в измерительно-вычислительном блоке ИВБ-1П обеспечи-вает измерение объемного расхода в трубопроводах диаметром до 500 мм с относительной погрешностью $\pm(1,5...2) \%$ (РМ-5-БЗ), при использовании одного преобразователя (РМ-5-Б1) погрешность возрастает до $\pm(2...3) \%$. Погружение ПС в трубопровод производится с помощью шлюзовых камер, что позволяет производить их замену и извлечение без опустошения трубопровода. Шлюзовая камера отсекается от трубопровода с помощью шарового крана, имеющего проходное отверстие для штанги преобразователя. При давлениях до 2 МПа три резиновых кольца на штанге преобразователя обеспечивают ее герметичный ввод при выполнении

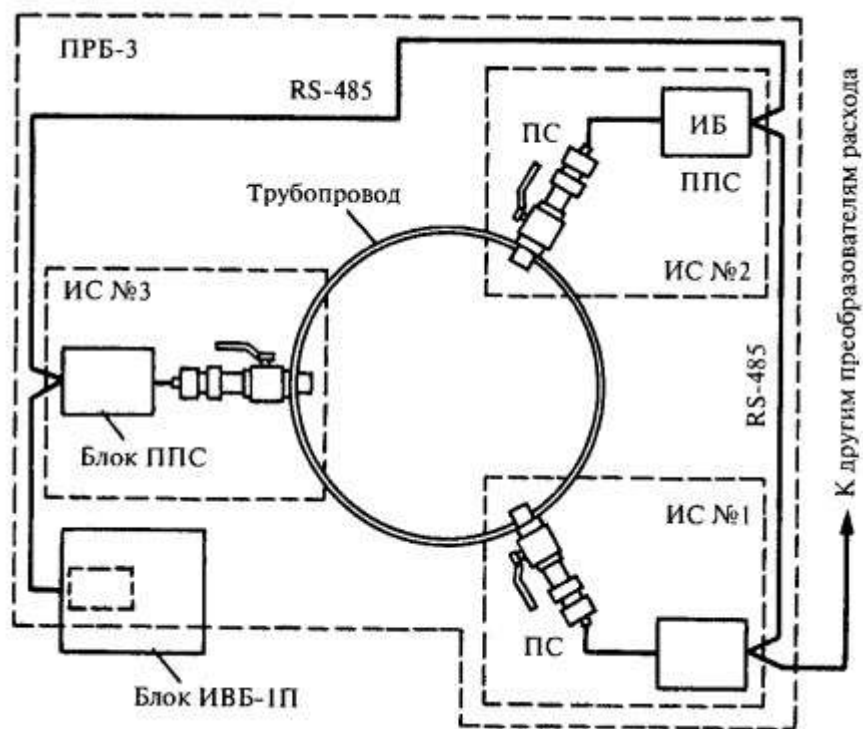


Рис. 4. Структурная схема электромагнитного расходомера РМ-5-БЗ

следующей последовательности операций: ввод штанги в шлюз при закрытом шаровом кране; ручное открытие шарового крана; погружение штанги преобразователя в трубопровод. Для удержания штанги при открытии шарового крана и подаче в шлюз давления, а также для ее погружения в трубопровод используется специальное приспособление.

Ультразвуковые расходомеры

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на измерении зависящего от расхода того или иного акустического эффекта, возникающего при прохождении ультразвуковых колебаний через контролируемый поток жидкости или газа (рис. 5).

В последнее время используются две **разновидности ультразвуковых расходомеров**: расходомеры, основанные на перемещении ультразвуковых колебаний движущейся средой, и доплеровский. Наибольшее распространение получила первая группа приборов. В таких расходомерах ультразвуковые колебания, создаваемые пьезоэлементами, направляются по потоку жидкости и против него. Разность времен прохождения ультразвуковыми импульсами расстояния между излучателем и приемником по потоку и против потока пропорциональна скорости потока, т.е. скорость ультразвука относительно стенок трубы зависит от скорости потока.

Основные трудности использования ультразвукового метода связаны с тем, что скорость ультразвука в среде зависит от физико-химических



Рис. 5. Типовой ультразвуковой расходомер

свойств последней: температуры, давления, и она значительно больше скорости среды, так что действительная скорость ультразвука в движущейся среде мало отличается от скорости в неподвижной среде. Разность времен прохождения равна $10^{-6} \dots 10^{-7}$ с даже при скоростях потока 10...15 м/с, причем измерять нужно с погрешностью $10^{-8} \dots 10^{-9}$ с. Эти обстоятельства обуславливают необходимость применения сложных электронных схем в сочетании с микропроцессорной техникой, обеспечивающих компенсацию влияния перечисленных факторов.

Ультразвуковые расходомеры в последние годы получают все более широкое распространение благодаря следующим положительным чертам:

- значительному динамическому диапазону, достигающему 25—30;
- высокой точности измерения, составляющей $\pm(1 \dots 2) \%$;
- 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 (от -220 до 600 °С) и давлений.

К недостаткам этого метода измерения расхода следует отнести:

- необходимость значительных длин линейных участков до и после преобразователя (5 ДУ трубопровода);
- 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.

Все ультразвуковые расходомеры являются микропроцессорными, на выходе они имеют токовый и импульсный выходные сигналы, цифровой

дисплей, интерфейсы RS-232, RS-485, цепь сигнализации, значение суммарного расхода архивируется вместе с указанием нештатных ситуаций. Многие приборы могут измерять расход реверсивного потока.

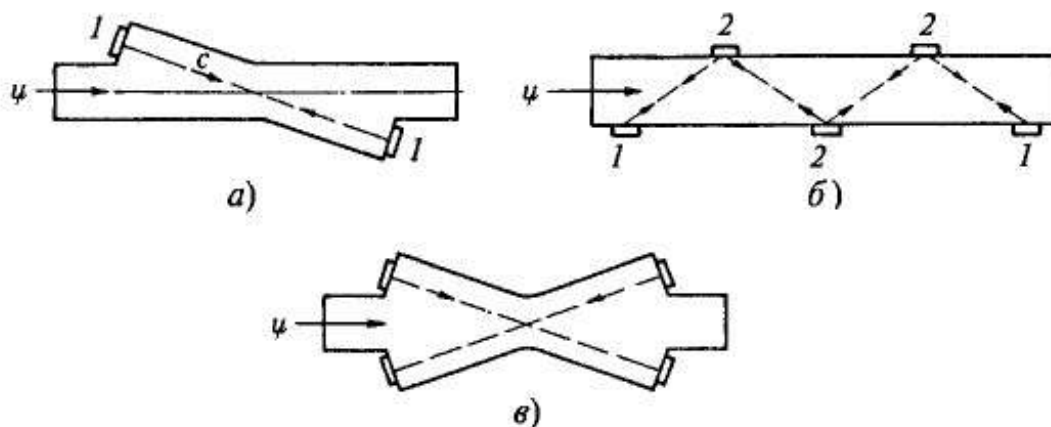


Рис. 6. Схемы ультразвуковых преобразователей расходомеров:
 а — одноканального; б — с отражателями; в — двухканального

Расходомеры по конструктивному исполнению подразделяются на одно- и двухканальные. В одноканальной схеме (рис. 6а) каждый пьезоэлемент работает попеременно в режиме излучателя и приемника, что обеспечивается системой переключателей. Для увеличения чувствительности ход луча в среде может быть увеличен применением рефлекторов (рис. 6б). Чувствительность ультразвуковых преобразователей также растет с уменьшением угла между векторами скорости потока и ультразвука. В двухканальной схеме (рис. 6в) каждый пьезоэлемент работает только в одном режиме — излучателя или приемника. Двухканальные схемы проще одноканальных (нет сложных схем переключения), но точность их меньше, вследствие возможной акустической асимметрии обоих каналов.

Показания ультразвуковых расходомеров зависят от скорости потока, усредненной по ходу луча, а не по диаметру трубы, что является характерной особенностью расходомеров с излучением по потоку. В то же время для определения объемного расхода требуется измерение скорости, усредненной по диаметру трубы. Для трубопроводов круглого сечения даже для осесимметричных потоков скорость потока, усредненная по ходу луча, не равна усредненной по диаметру трубы, и соотношение между ними зависит от эпюры скоростей потока. Это обстоятельство является недостатком ультразвуковых расходомеров, определяющим наиболее существенную составляющую методической погрешности.

Например, в ультразвуковых расходомерах SITRANS F фирмы Siemens, благодаря наличию отражателей, ход луча состоит из пяти отрезков, три из которых направлены по хордам, что обеспечивает сканирование профиля потока и измерение средней скорости потока в широком диапазоне измерения его скоростей. При максимальной скорости потока 10 м/с обеспечивается погрешность измерения расхода $\pm 0,5$ % в динамическом диапазоне 25 и ± 1 % в диапазоне 100. В зависимости от типа местного сопротивления длина линейного участка трубопровода составляет $(10...40)D$ до преобразователя и $5D$ после него.

По методу определения времени прохождения импульса между излучателем и приемником ультразвуковые расходомеры подразделяются на времяимпульсные, частотные и фазовые.

Во *времяимпульсных расходомерах* периодически производится измерение коротких импульсов длительностью 0,1...0,2 мкс, по которым затем определяется объемный расход G_0 . Микропроцессорные расходомеры UFM 005 (ЗАО «Центроприбор», ПО «Промприбор») предназначены для измерения расхода воды и устанавливаются в трубопроводах диаметром 15... 1600 мм. В их состав входит для диаметров до 200 мм первичный преобразователь УПР, свыше 200 мм — пьезопреобразователи для врезки в трубопровод и вычислитель ультразвуковой УВ. Первичный преобразователь УПВ представляет отрезок трубы с двумя врезанными пьезоэлектрическими преобразователями и приваренными по торцам фланцами. При проливном методе поверки расходомеры в области расходов от переходного до верхнего предела при динамическом диапазоне 25 имеют погрешность $\pm 1,5$ %, а от переходного до минимального ± 4 %, причем отношение $G_{\max}/G_{\min}$ составляет 70—75. Расходомер помимо цифрового индикатора имеет токовый выходной сигнал 0...5 мА, интерфейсы RS-232 и RS-485, в ПЗУ хранится архив среднечасовых и среднесуточных значений количества воды глубиной 5000 ч.

В *частотных расходомерах* каждый последующий импульс посылается излучателем только после достижения предыдущим импульсом приемного пьезоэлемента.

Разность частот следования импульсов, определяемая дифференциальной схемой, связана со скоростью и объемным расходом. Показания частотных расходомеров не зависят от скорости распространения ультразвука в неподвижной среде, а следовательно, и от физико-химических свойств и параметров среды. Это является достоинством частотных расходомеров.

В *фазовых расходомерах* измеряется разность фаз ультразвуковых ко-

лебаний частотой, распространяющихся по потоку и против него. Недостаток этих расходомеров — зависимость показаний от изменения скорости звука.

В доплеровских ультразвуковых расходомерах используется отражение ультразвуковых колебаний движущимися частицами потока (рис.7). Доплеровские расходомеры измеряют местную скорость звука. В трубах малого и среднего диаметров эти расходомеры могут измерять среднюю скорость по диаметру или части площади трубы. В трубах больших диаметров при наличии прямых участков достаточной длины отражатель должен находиться на расстоянии $0,12 D$ от стенки трубы, где скорость соответствует средней скорости потока. В противном случае необходима индивидуальная градуировка расходомера.

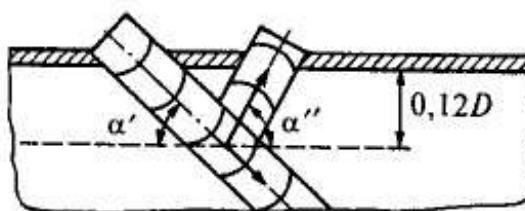


Рис. 7. Схема доплеровского преобразователя

В корреляционных датчиках расхода ДРК доплеровский эффект используется для определения времени прохождения случайными (турбулентными) флуктуациями между двумя смещенными по длине трубы парами ультразвуковых преобразователей. Микропроцессор производит статистическую обработку сигналов, поступивших в приемники ультразвуковых колебаний каждого из сечений. Скорость потока определяется по времени, соответствующему максимуму корреляционной функции, связывающей сигналы, поступившие на оба приемника.

Вихревые расходомеры

Вихревой расходомер — разновидность расходомера, принцип действия которого основан на измерении частоты колебаний, возникающих в потоке в процессе вихреобразования (рис. 8).

Принцип действия

В вихревых расходомерах для создания вихревого движения на пути движущегося потока жидкости, газа или пара устанавливается тело обтекания, обычно в виде трапеции в сечении. Образовавшаяся за ним система вихрей называется вихревой дорожкой Кармана (рис. 9) [5].



Рис. 8. Вихревой расходомер РЭВ

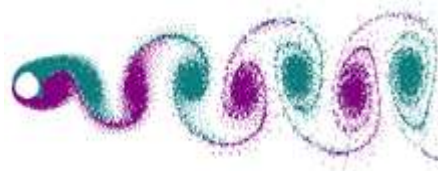


Рис 9. Вихревая дорожка Кармана

Частота вихрей f в первом приближении пропорциональна скорости потока v и зависит от безразмерного критерия Sh (число Струхаля) и ширины тела обтекания d :

$$f = Sh \cdot v / d.$$

Достоинствами вихревых расходомеров являются отсутствие каких-либо подвижных элементов внутри трубопровода, достаточно низкая нелинейность ($<1,0\%$) в широком диапазоне измерений ($>1:10...1:40$), частотный выходной сигнал, а также инвариантность метода относительно электрических свойств и агрегатного состояния движущейся среды.

Типовая схема

Типовая схема вихревого расходомера с пьезоэлектрическими датчиками давления в качестве преобразователей энергии потока в частоту электрического сигнала включает проточную часть расходомера, установленную с помощью фланцев в трубопроводе, и содержит тело обтекания, за которым попарно установлены датчики давления. Пульсации давления, возникающие в потоке в результате вихреобразования, регистрируются датчиками, а частота процесса пропорциональна скорости потока. Парное размещение датчиков позволяет усилить полезный сигнал и минимизировать вибрационные и акустические помехи, так как сигнал одного из них инвертируется и суммируется с сигналом другого датчика в согласующем устройстве, а сигнал помехи вычитается на сумматоре. Расходомер также содержит нормирующий преобразователь, формирующий импульсный сигнал с определенным весовым коэффициентом, например, 1 л/с, и вычислитель, размещенный в отдельном корпусе. Вычислитель обеспечивает оцифровку информационного сигнала, расчёт суммарного количества жидкости или газа, прошедших через напорную трубу за промежуток времени, индикацию мгновенного и суммарного расхода, самодиагностику прибора, хранение информации в энергонезави-

символ памяти и передачу её на компьютер верхнего уровня измерительной или управляющей системы.

Преобразователи энергии потока

Одними из важнейших элементов вихревых расходомеров являются преобразователи энергии потока в электрический сигнал, во многом определяющие эксплуатационные возможности и технический уровень приборов. В технической документации вихревых расходомеров, как отечественных, так и ведущих зарубежных фирм содержится крайне скудная информация относительно принципа действия и устройства преобразователей вида энергии. Так, корпорация ЕМСО (США) сообщает лишь, что сенсором является полупроводниковая тензорезистивная матрица. В документации немецких фирм информация о принципе работы сенсора вообще отсутствует, хотя в одном из патентов Endress+Hauser (Германия) описан вихревой расходомер с унифицированным ёмкостным датчиком в виде крыла, установленным за телом обтекания. Лишь Yokogawa Electric (Япония) подробно описывает виброкомпенсированный пьезоэлектрический преобразователь, состоящий из набора пьезоэлементов в виде шайб, установленный в торце тела обтекания. Известны также индуктивные, анемометрические, оптоэлектронные и преобразователи энергии потока.

Проблемы

Следует отметить, что физические процессы, происходящие в трубопроводе за телом обтекания, весьма сложны. В потоке возникают пульсации давления, температуры, скорости звука и других физических параметров. Несмотря на бурное развитие численных методов описания сложных объектов, до сих пор нет удовлетворительных математических моделей гидродинамических процессов, происходящих в вихревых расходомерах. Пространственно-временное распределение физических характеристик в движущейся среде в зависимости от скорости, агрегатного состояния, вязкости среды до конца не ясно. Тело обтекания при вихреобразовании испытывает сложное напряжённо-деформированное состояние, где присутствуют колебания кручения и изгиба. Всё это обеспечивает простор для творчества разработчиков и большой объём экспериментальных работ для поиска оптимальных решений.

Вихревой промышленный счетчик-расходомер воды и пара РЭВ-П «Фотон»

Применение данных измерительных приборов — фиксировать изменения объема и расхода воды в трубопроводах (диаметр условного прохода — 100–1800 мм). Способ установки погружных счетчиков воды и пара РЭВ-П «Фотон» представлен на рис.10.

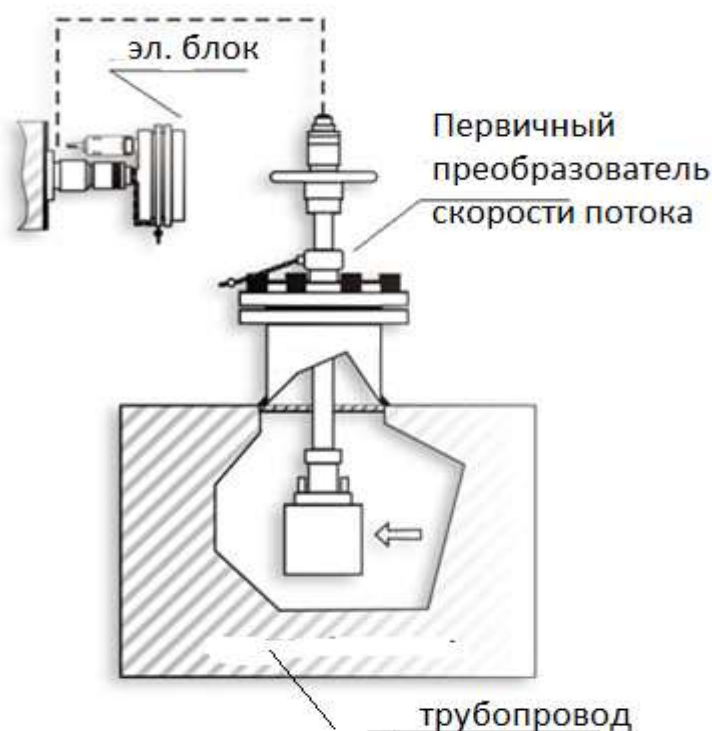


Рис. 10. Схема установки погружного счетчика «Фотон» РЭВ-П

Основные технические характеристики

Диапазон измеряемых расходов для воды при нормальных условиях, м ³ /ч	6,5÷49000
Предел допускаемой относительной погрешности изделий, %	±2,0
Максимальное избыточное давление измеряемой среды, МПа	1,6
Диапазон температур измеряемой среды, °С	0-150
Масса, кг, не более (в зависимости от диаметра и комплектации)	3,5÷6
Полный средний срок службы, лет, не менее	15
Межповерочный интервал, лет	3

Расходомеры устанавливаются на технологических установках, в узлах учета и регулирования в промышленной, коммунальной (как промышленные счетчики воды) и аграрной отраслях.

Нижний и верхний пределы измерений расхода вихревым погружным счетчиком-расходомером определяются по формулам:

$$Q_{\min} = 0,764 \cdot \nu \cdot 10^9 \omega ; \quad Q_{\max} = 19,1 \cdot \nu \cdot 10^9 \omega ,$$

где

$Q_{\min}$ ($Q_{\max}$) — граница нижнего (верхнего) предела измерения расхода, м³/ч;

ω — площадь поперечного сечения трубопровода в м²;

ν — коэффициент кинематической вязкости в м²/с.

Величины кинематической вязкости жидкости приведены в Приложении 5.

Комплекты термометров сопротивления (термопреобразователей)

Комплекты термометров преобразователей технических разностных типа КТПТР-01, КТПТР-03, КТПТР-04, КТПТР-05, КТПТР-06, КТПТР-07, КТПТР-08 предназначены для использования в системах учета тепла (рис.11).



Рис. 11. Комплект термосопротивлений

Комплект термометров КТПТР представляет собой два платиновых термометра, подобранных по заданным параметрам таким образом, что разница между ними в показаниях температуры минимальна, что позволяет снизить до минимума погрешность в показаниях потребляемой тепловой энергии.

Характеристики комплекта в части конструктивных особенностей, устойчивости к воздействию факторов окружающей среды, механическим воздействиям, давлению, а также климатическое исполнение соответствуют

аналогичным параметрам входящих в комплект термометров. Электрическая схема соединений — 2-4- проводная.

КТПТР изготавливаются двух классов: 1 и 2. Классы и допуски термометров, входящих в комплект, а также погрешности измерения разности температур в зависимости от класса точности комплекта представлена в таблице ниже.

Рекомендуемый измерительный ток:

- 1 мА — для термометров с номинальным сопротивлением 50 Ом и 100 Ом;
- 0,2 мА — для термометров с номинальным сопротивлением 500 Ом;
- 0,1 мА — для термометров с номинальным сопротивлением 1000 Ом.

Класс точности комплекта	Класс допуска термометров комплекта	Допуск термометров, °С	Погрешность измерения разности температур, °С
1	АА	$\pm(0,1+0,0017* t)$	$\pm (0,05+0,001 \Delta t)$
2	А	$\pm(0,15+0,002* t)$	$\pm(0,1+0,002 \Delta t)$.

Степень защиты от воздействия воды и пыли (код IP) по ГОСТ 14254-2015 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)», время термической реакции, а также условное давление представлены в таблицах подраздела ГОСТ для каждого типа комплектов.

Другие типы термосопротивлений могут иметь другие технические и метрологические характеристики.

Датчики избыточного давления

Предназначены для преобразования избыточного давления, избыточного давления-разрежения в стандартные (нормированные) выходные сигналы постоянного тока или напряжения в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами (рис.12).

Датчики давления применяются в системах учета тепловой энергии и в системах управления и промышленной автоматике. Для определения типа, технических и метрологических характеристик датчиков давления необходимо обратиться к технической документации на конкретный тип

датчика, который указан в практическом задании на выполнение данной работы.



Рис.12. Датчик избыточного давления

Рассмотрев перечень основных средств измерения, применяемых при проектировании узлов учета тепла, перейдем к выполнению практического задания.

Практическое занятие **«Расчет погрешности комплекта теплосчетчика»**

Для выполнения практического задания и вычисления относительной погрешности комплекта УУТЭ преподаватель формирует каждому студенту индивидуальное задание по форме, представленной в Приложении 1, и в соответствии с предложенным в табл. 1 набором средств измерений различного назначения. Данный список не конечен и при появлении новых типов средств измерения может дополняться.

Таблица 1

№ п/п	Тепло- вычис- литель	Термосо- противле- ние	Первичный преобразователь расхода	Датчик давления
1	2	3	4	5
1	СПТ-942	КТПТР-01	ПРЭМ Ду 32 «Теплоком»	КРТ-5
2	СПТ-961	КТПТР-05	ПРЭМ Ду 40 «Теплоком»	КРТ-9
3	СПТ-943	«Взлет- ТПС»	ПРЭМ Ду 50 «Теплоком»	ДД «Взлет»
4	ТСРВ-026	ТЭМ-110	ПРЭМ Ду 65 «Теплоком»	МИДА- ДИ
5	ТСРВ-034	КТСП-М	ПРЭМ Ду 80 «Теплоком»	Метран- 150
6	ТСК-7	КТПТР-08	ЭР-510П Ду 32 «Взлет»	АИР/20
7	ТСК-5		ЭР-510П Ду 40 «Взлет»	ПД100И
8	ТЭМ-104		ЭР-420П Ду 50 «Взлет»	СДВ
9	ТЭМ-106		ЭР-420П Ду 65 «Взлет»	DMP

№ п/п	Тепло- вычис- литель	Термосо- противле- ние	Первичный преобразователь расхода	Датчик давления
1	2	3	4	5
10	ТВ7		ЭР-420П Ду 80 «Взлет»	AZP
11	ИКТ 8961- П1		МР400, ДУ 100 ЗАО «Взлет»	ДДМ- 03Т-ДИ
12	SA-94		PCM-05.03 Ду 50	MBS- 4003
13	TePocc-ТМ		PCM-05.03 Ду 80	Корун
14	МКТС		PCM-05.05 Ду 100	
15			Питерфлоу СВ, Ду 80 ООО «Термотроник»	
16			Питерфлоу СВ, Ду 100 ООО «Термотроник»	
17			ППР SDM-1 Ду 50 «Катра»	
18			ППР SDM-1 Ду 80 «Катра»	
19			ПР VA-2304 Ду 32 «Асвега»	
20			ПР VA-2304 Ду 40 «Асвега»	
21			ПР VA-2304 Ду 50 «Асвега»	
22			ПР VA-2304 Ду 80 «Асвега»	
23			УРСВ-310 Ду 32 «Взлет»	
24			УРСВ-310 Ду 40 «Взлет»	
25			УРСВ-310 Ду 50 «Взлет»	
26			УРСВ-310 Ду 80 «Взлет»	
27			ИРГА-РУ Ду 80	
28			Вихревой расходомер ИРГА-РВ Ду 100	
29			Вихревой расходомер «Фотон» Ду 100	
30			Вихревой расходомер «Фотон» на тр-д Ду 520	

Порядок получения информации по погрешностям средств измерения

Для получения исходных данных об относительных погрешностях для каждого средства измерения, входящего в состав комплекта, студенту необходимо найти в интернете на сайте предприятия – изготовителя

паспорта на изделия с указанием технических и метрологических характеристик на каждый тип средств измерения, предложенных преподавателем в задании, и выбрать из них необходимые характеристики.

При подготовке индивидуального задания преподаватель в соответствии с правилами эксплуатации тепловых сетей должен указать параметры температурного режима используемой сети (Приложение 1). В зависимости от мощности ТЭЦ существуют следующие температурные режимы:

- а) 150 – 70 °С; б) 130 - 70 °С; в) 105 – 70 °С.

Следовательно, при расчете метрологических характеристик необходимо применять те температурные режимы, которые применяются на данной ТЭЦ, или выполнить расчет в соответствии с заданием преподавателя.

Кроме этого в задании указываются следующие параметры (по выбору преподавателя):

- * температура холодной воды – от 0 до +5 °С;
- * максимально возможное значение отношение масс теплоносителя, проходящего по прямому и обратному трубопроводам f_{max} - выбирается в интервале от 0,75 до 1,0;
- * минимально возможное значение температуры воды в подающем трубопроводе выбирается в зависимости от графика температурного режима тепловой сети и может находиться в интервале от 30 до 70 °С.

При назначении типа расходомера в соответствии с табл. 1 необходимо предусмотреть выбор диаметра подающего и обратного трубопровода. При этом в задании предлагаются такие диаметры, которые потребуют от студента расчета скорости потока теплоносителя по представленным в паспортах на расходомер формулах. Как правило, установка расходомера требует применения соответствующего диффузора и конфузора до и после расходомера, следовательно, при задании диаметров трубопроводов следует использовать следующий по типоразмеру диаметр трубы или больший. Расчет скорости потока теплоносителя с использованием формулы Рейнольдса представлен в Приложении 4.

При выборе типа термосопротивления следует использовать такие средства измерения, которые позволяют уменьшить величину относительной погрешности комплекта УУТЭ за счет применения более жестких требований к величине относительной погрешности комплекта термосопротивлений.

При подборе датчика давления студент должен подбирать эти средства измерения с минимальными значениями относительной погрешности.

Общие требования к оформлению отчета

1. На титульном листе должны быть указаны наименование университета, кафедры, название работы, фамилия студента, преподавателя и номер группы, год (Приложение 2).

2. Текстовая часть отчета выполняется на одной стороне белой бумаги формата А4 машинописным способом через 1,15 межстрочных интервала. Допускается выполнение отчетов рукописным способом, аккуратным разборчивым почерком.

3. При составлении отчета в приложении представить рисунки (фото) рассматриваемого оборудования и скрин-шоты паспортов с указанием технических и метрологических характеристик, которые выбраны для подбора средств измерения (Приложения 3-6).

4. Подготовить отчет и сдать преподавателю на проверку.

Пример расчета погрешности теплосчетчика

Теплосчетчик СПТ-961.2 без ограничения разбора теплоносителя $0 \leq f \leq 1$ (далее – двухканальный теплосчетчик) служит для коммерческого учета тепловой энергии объекта и устанавливается на граница балансовой принадлежности.

Двухканальный теплосчетчик характеризуется следующими параметрами предельного режима:

- максимально возможное значение отношения масс теплоносителя, проходящего по прямому и обратному трубопроводам: $f_{max} = 1,0$ (при закрытой системе теплоснабжения). Если из теплосети производится разбор теплоносителя (например, для нужд горячего водоснабжения), то величина f_{max} вычисляется как частное от деления количества теплоносителя, прошедшего через 1-й расходомер, на количество теплоносителя, прошедшего через 2-й расходомер за определенный период времени;
- минимально возможное значение температуры воды в подающем трубопроводе (в зависимости от графика температурного режима тепловой сети) (см. выше):

$$t_{1min} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} ;$$

- минимально возможное значение температуры холодной воды: $t_{х.в.мин} = 0,0 \text{ }^{\circ}\text{C} ;$

- минимально возможное значение коэффициента $k_{min} = (t_1 - t_2) / t_1 ;$

Комплект двухканального теплосчетчика включает в себя:

1. Тепловычислитель - 1 шт.

2. Расходомеры с пределом допустимой относительной погрешности $\delta G=1,0\%$ - 2 шт.
3. Преобразователи температуры, обеспечивающие измерение разности температур Δt , °С с пределами допустимой абсолютной погрешности Δ °С, определяется по формуле $\Delta=(0,1+0,005 \times \Delta t)$ - 1 пара.
4. Датчики давления – 2 шт.

Полученные в результате выбора метрологических характеристик данные сведены в табл.2.

Таблица 2

Комплект УУТЭ в составе:	Марка	Погрешность, %
Тепловычислитель СПТ-961.2	СПТ-961.2	0,15
Расходомеры УЗР	US-800	1,0
Преобразователи температуры КТПТР-1	КТПТР-01	$0,1+0,005 \times \Delta t^*$
Датчик давления	МИДА-ДИ-12П	$\pm 0,5$

* Примечание: Поправочный коэффициент $+0,005 \times \Delta t$, в котором в качестве величины Δt принимается значение разности измеряемых этим средством температур в соответствии с паспортом на комплект термосопротивлений (для КТПТР-01 величина Δt составляет 180).

Расчет предельной допустимой погрешности комплекта теплосчетчика определяется по следующей формуле

$$\delta Q_n = 100 \cdot \frac{1,1 \sqrt{(f_{\max} \cdot \Delta_1)^2 + \{(1 - f_{\max} \cdot \Delta_2)\}^2 + \{\delta G (t_{1\min} - t_{k\min})\}^2 + \{\delta G \cdot f_{\max} [1 - k_{\min}] \cdot t_{1\min} - t_{k\min}\}^2}}{f_{\max} \cdot k_{\min} \cdot t_{1\min} + (1 - f_{\max}) \cdot (t_{1\min} - t_{k\min})} \quad (1)$$

В приведенной в формуле (1) значение Δ_1 – это допустимая абсолютная погрешность измерения разности температур, подставляемое в представленную выше формулу, которое рассчитывается следующим образом:

1. Находим минимально возможное значение разности температур:

$$k_{\min} \cdot t_{1\min} \quad (2)$$

В нашем примере минимально возможное значение разности температур равно : $0,33 \times 40 = 13,2$ °С.

2. Находим пределы допустимой абсолютной погрешности измерений минимально возможных разностей температур $k_{\min} \cdot t_{1\min}$:

$$\Delta_1=(0,1+0,005 \times 13,2)=0,1+0,0066 \approx 0,17^{\circ} \text{C} . \quad (3)$$

Приведенное в формуле (1) значение Δ_2 рассчитывают следующим образом:

1. Находим значение разности температур: $(t_{l \text{ min}} - t_{x.g. \text{ min}})=40 - 0=40^{\circ} \text{C}$.
2. Находим пределы допустимой абсолютной погрешности измерений разности температур:

$$\Delta_2=(0,1+0,005 \times 40)=0,1+0,2=0,3^{\circ} \text{C} . \quad (4)$$

При подстановке числовых значений в формулу (1) получим нормированное значение предела допустимой относительной погрешности двухканального теплосчетчика, равное 4 %.

В представленном выше примере расчет проводился в соответствии с характеристиками тепловой сети. Для получения конечных метрологических характеристик комплекта приборов учета тепла воспользуемся данными, полученными из паспортов на составные части комплекта УУТЭ и сравним результаты.

Расчет погрешности комплекта приборов УУТЭ в соответствии с паспортами на средства измерения

Относительная погрешность комплекта приборов УУТЭ (δ) составляет:

- * тепловычислитель (δ_1) 0,15%
- * ультразвуковой расходомер (δ_2)..... 1,0 %
- * комплект термометров сопротивления (δ_3)... 0,1 %
- * датчик давления (δ_4)..... 0,15 %

Средняя квадратическая относительная погрешность $\sigma=0,5\delta$.

Средняя квадратическая относительная погрешность комплекта приборов УУТЭ вычисляется по формуле (5):

$$\sigma_{\text{уутэ}} = \sqrt{(\delta_1)^2 + (\delta_2)^2 + (\delta_3)^2 + (\delta_4)^2} . \quad (5)$$

Относительная погрешность УУТЭ: $\delta_{\text{уутэ}} = 2\sigma_{\text{уутэ}}$.

В приведенном примере относительная погрешность УУТЭ равна $\pm 1,027\%$.

В соответствии с «Правилами учета тепловой энергии и теплоносителя»

ля» [2] погрешность должна составлять не более $\pm 2,0$ %. Следовательно, метрологические характеристики представленного УУТЭ удовлетворяют требованиям Правил.

Рассмотрев два примера расчета относительной погрешности комплекта УУТЭ, можно перейти к решению практической задачи в соответствии с заданием.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 8.591-2002. Государственный стандарт Российской Федерации, Государственная система обеспечения единства измерений «Теплосчетчики двухканальные для водяных систем теплоснабжения». Нормирование пределов допускаемой погрешности при измерениях потребленной абонентами тепловой энергии. М.: Стандартиформ, 2002.

2. «Правила коммерческого учета тепловой энергии теплоносителя». Постановление Правительства РФ от 18 ноября 2013 г. № 1034 "О коммерческом учете тепловой энергии, теплоносителя".

3. ГОСТ Р ЕН 1434-1-2011. Теплосчетчики. Часть 1. Общие требования. Федеральное Агентство по техническому регулированию и метрологии. Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартиформ, 2011.

4. ГОСТ 8.632-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение измерительных систем узлов учета тепловой энергии. Основные положения. М.: Стандартиформ, 2014.

5. Кремлевский П. П. Расходомеры и счётчики количества веществ: справочник. — Изд. 5-е, перераб. и доп. — СПб.: Машиностроение, 2002.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Задание на практическое занятие

студент (ка) _____ группа _____

Выполнить практическое задание в соответствии со следующими исходными данными:

Комплект приборов	Типы приборов
Тепловычислитель	
Расходомер	
Комплект термосопротивлений	
Датчик давления	
Вспомогательные данные для расчета	
Параметры тепловой сети	
Температура холодной воды	
Параметр f_{max}	
Диаметр основного трубопровода	

Задание выдал:

преподаватель _____ дата _____

Задание получил(а):

студент (ка) _____ дата _____

Форма титульного листа отчета по выполнению практического задания

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

**Кафедра автоматизации технологических процессов
и производств**

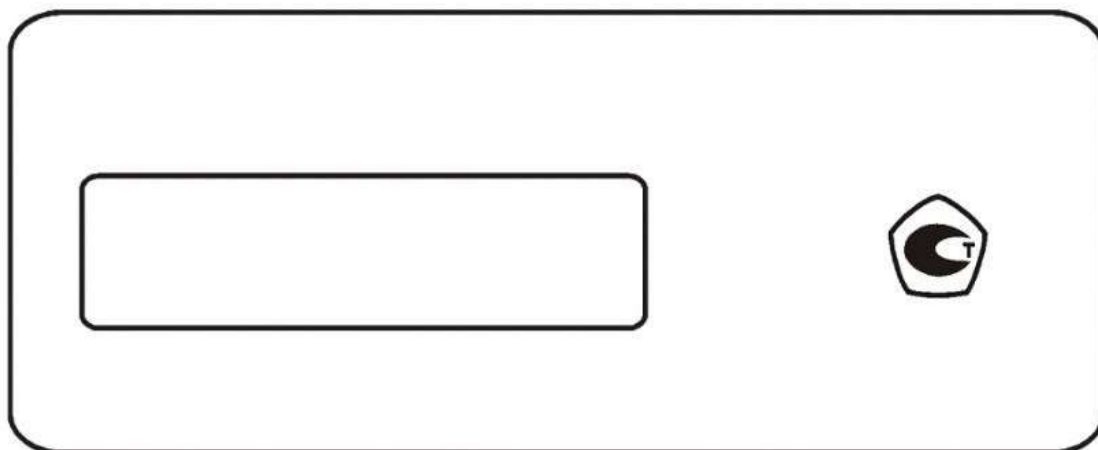
Отчет по выполнению практического задания

Тема: «*Расчет погрешности комплекта теплосчетчика*»

Выполнил (а): студент (ка) гр. № _____ / _____ /

Проверил: преподаватель _____ / _____ /

**Санкт-Петербург
202__**



**ТЕПЛОСЧЕТЧИК ТЭМ-104
модификации ТЭМ-104(ТЭСМАРТ.01),
ТЭМ-104(ТЭСМАРТ.02), ТЭМ-104(ТЭСМАРТ.03)**

**РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
ЭС 99556332.002.000 РЭ**

* Титульный лист Руководства по эксплуатации теплосчетчика ТЭМ-104.

3.7 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерительного канала температуры, °C: $\pm(0,05+0,001 \cdot t)$, где t – измеряемая температура в градусах Цельсия.

3.8 Возможно создание программируемых каналов температуры (вместо последнего канала измерения температуры в каждой системе). Программируемые каналы создаются пользователем в режиме «Конфигурация» до постановки прибора на коммерческий учет.

3.9 Пределы допускаемой относительной погрешности измерительного канала количества теплоты по ГОСТ Р 51649 не превышают значений, вычисленных по формулам, приведенным в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Класс прибора	Формулы для вычисления пределов допускаемой относительной погрешности $\delta_{Q \max}$, %
В	$\delta_{Q \max} = \pm(3+4 \Delta t_n / \Delta t + 0,02 G_n / G)$
С	$\delta_{Q \max} = \pm(2+4 \Delta t_n / \Delta t + 0,01 G_n / G)$
Примечания: Δt – измеренная разность температур между подающим и обратным трубопроводами, °C; G – измеренный объемный расход теплоносителя, м ³ /ч	

3.10 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений объемного и массового расхода, объема и массы теплоносителя в каналах с ППР не превышают значений, указанных в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Класс прибора	Диапазон измерений	Пределы допускаемой относительной погрешности каналов с ППР, δ_G %,
В	$G_n \leq G < G_n$	$\pm(1,5+0,01 G_n / G)$
С	$G_n \leq G < G_n$	$\pm(0,8+0,004 G_n / G)$

3.11 Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерительного канала с ИП определяются погрешностью ИП.

3.12 Диапазон измерений давления от 0 до 1,6 МПа (по заказу до 2,5 МПа). Диапазон изменения токового сигнала от ДИД (0÷5 или 4÷20 мА).

3.13 Пределы допускаемой приведенной погрешности ИВБ при преобразовании сигналов от датчиков давления: $\pm 0,15$ %.

3.14 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений давления (при наличии датчиков избыточного давления): $\pm 2,0$ %.

3.15 Пределы допускаемой относительной погрешности измерений интервалов времени: $\pm 0,01$ %.

* Скан страницы Руководства по эксплуатации теплосчетчика ТЭМ-104 с метрологическими характеристиками.



ВЗЛЕТ

БОРЫ УЧЕТА РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ, ГАЗА И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

**РАСХОДОМЕР-СЧЕТЧИК
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ**

ВЗЛЕТ ЭР

ИСПОЛНЕНИЯ

ЭРСВ-4xx(5xx)Л,

ЭРСВ-4xx(5xx)Ф

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Часть I

В41.30-00.00 РЭ



Россия, Санкт-Петербург

* Титульный лист Руководства по эксплуатации электромагнитного расходомера «Взлет ЭР-420Л».

1.2.2. Пределы допускаемой относительной погрешности расходомера при измерении, индикации, регистрации, хранении и передаче результатов измерения среднего объемного расхода, объема различных жидкостей для расходомеров исполнений ЭРСВ-410(510)Л при любом направлении потока в диапазоне расходов от $0,0067 \cdot Q_{\text{наиб}}$ до $Q_{\text{наиб}}$ (коэффициент перекрытия диапазона 1:150) определяются по формуле

$$\delta = \pm \left(0,9 + \frac{0,15}{v} \right), \%,$$

где δ – пределы допускаемой относительной погрешности;

v – скорость потока в трубопроводе, м/с.

Связь между скоростью потока v и расходом в трубопроводе Q определяется зависимостью

$$v = \frac{Q}{2,83 \cdot 10^{-3} \cdot D_y^2},$$

где Q – средний объемный расход, м³/ч;

D_y – диаметр условного прохода, мм.

Для расходомеров прочих исполнений (табл.2) пределы допускаемой относительной погрешности при любом направлении потока - $\delta = \pm 2,0 \%$.

Таблица 2

Исполнение	Диапазон расходов / коэффициент перекрытия диапазона
ЭРСВ-420(520)Л/Ф	$(0,0067 \dots 1) \cdot Q_{\text{наиб}} / 1:150$
ЭРСВ-430(530)Л/Ф	$(0,005 \dots 1) \cdot Q_{\text{наиб}} / 1:200$
ЭРСВ-440(540)Л/Ф	$(0,004 \dots 1) \cdot Q_{\text{наиб}} / 1:250$
ЭРСВ-450(550)Л/Ф	$(0,0033 \dots 1) \cdot Q_{\text{наиб}} / 1:300$
ЭРСВ-470(570)Л	$(0,002 \dots 1) \cdot Q_{\text{наиб}} / 1:500$

В табл.2 указаны нормированные диапазоны расхода для расходомеров данных исполнений при прямом направлении потока. При обратном направлении потока нормированный диапазон расхода для этих исполнений составляет $(0,0067 \dots 1) \cdot Q_{\text{наиб}}$.

Значения измеряемого расхода для различных исполнений и типоразмеров приведены в табл.А.1 Приложения А.

Пределы допускаемой относительной погрешности регистрации времени наработки – $\pm 0,1 \%$.

* Скан страницы руководства по эксплуатации электромагнитного расходомера «Взлет ЭР-420П» с метрологическими характеристиками.



ПРИБОРЫ УЧЕТА РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ, ГАЗА И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ



ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ **ВЗЛЕТ ТПС**

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ
В65.00-00.00 РЭ



Россия, Санкт-Петербург

* Титульный лист Руководства по эксплуатации термopреобразователей сопротивления «Взлет» ТПС.

1.2. Технические характеристики

1.2.1. Основные технические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Наименование параметра	Значение	Примеч.
1. Номинальная статическая характеристика преобразования (НСХ)	500П(Pt500) /100П(Pt100)	НСХ по заказу
2. Номинальное значение W_{100}	1,3850	
3. Диапазон измеряемых температур, °C	от 0 до 180 от минус 50 до 100	Одиночные по заказу
4. Диапазон измеряемых разностей температур, °C	от 3 до 180	
5. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры одиночным преобразователем, °C: - класс допуска А одиночного ТПС - класс допуска В одиночного ТПС	$\pm (0,15+0,002 \cdot t)$ $\pm (0,3+0,005 \cdot t)$	t – измеряемое значение температуры, °C
6. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения разности температур согласованной парой ТПС, °C: - класс 1 согласованной пары ТПС - класс 2 согласованной пары ТПС	$\pm (0,05+0,001 \cdot \Delta t)$ $\pm (0,10+0,002 \cdot \Delta t)$	Δt – измеряемое значение разности температур, °C
7. Схема соединения чувствительного элемента	4-проводная	
8. Номинальный / максимальный рабочий ток, mA	0,2 / 1,0 1,0 / 5,0	При НСХ 500П (Pt500) При НСХ 100П (Pt100)
9. Максимальное рабочее давление для ТПС в защитной гильзе, МПа	2,5	
10. Показатель тепловой инерции, с	не более 10	
11. Средняя наработка на отказ, ч	100 000	
12. Средний срок службы, лет	12	

* Скан страницы Руководства по эксплуатации термопреобразователей сопротивления «Взлет» ТПС с метрологическими характеристиками.

ДАТЧИКИ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Руководство по эксплуатации МИДА-ДИ 12П-Ех.НКИ.406233.03РЭ

1.2.16 Дополнительная погрешность датчиков (кроме МИДА-ДИ-12П-К и датчиков МИДА-ДИ-12П с выходным сигналом (4-20) мА – 1.2.18), вызванная изменением температуры воздуха, окружающего электронный блок датчика (для датчиков МИДА-ДИ-12П-05, МИДА-ДИ-12П-072, МИДА-ДИ-12П-11 - зона С на габаритных чертежах, приложение Г), в диапазоне температур по 1.2.13, 1.2.14, выраженная в процентах от диапазона изменения выходного сигнала, по абсолютной величине не превышает значений, указанных в таблице 7.

Таблица 7

Обозначение датчика	Выходной сигнал	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Дополнительная температурная погрешность от изменения температуры окружающего воздуха, %	Дополнительная температурная погрешность от изменения температуры измеряемой среды, %
МИДА-ДИ-12П-11, МИДА-ДИ-12П-12	(0-5) мА, (U_x-U_0) В	$\pm 0,25$; $\pm 0,5$	1,2; 1,7	2,0; 3,0 – в диапазоне термокомпенсации по 1.2.15
МИДА-ДИ-12П-05, МИДА-ДИ-12П-06, МИДА-ДИ-12П-072, МИДА-ДИ-12П-081, МИДА-ДИ-12П-082	(0-5) мА, (U_x-U_0) В	$\pm 0,5$; $\pm 1,0$	1,7; 3,4	3,0; 5,0 – в диапазоне термокомпенсации по 1.2.15

1.2.17. Дополнительная погрешность датчика, вызванная изменением температуры измеряемой среды (для зоны А или зоны В датчика, указанной на габаритном чертеже), выраженная в процентах от диапазона изменения выходного сигнала, по абсолютной величине не превышает значений, указанных в таблице 7.

1.2.18. Пределы допускаемой суммарной погрешности γ_c в диапазоне температур измеряемой среды (1.2.13), выраженные в процентах от диапазона изменения выходного сигнала, равны:

- +1,0 – для датчиков МИДА-ДИ-12П с выходным сигналом (4-20) мА;
- +0,25 и +0,5 – для датчиков МИДА-ДИ-12П-К.

Суммарная погрешность представляет собой комбинацию основной и дополнительной температурной погрешности и определяется как максимальное отклонение действительной характеристики преобразования от расчетной.»

* Выписка из Руководства по эксплуатации «Датчики избыточного давления МИДА-ДИ-12П и взрывозащищенные МИДА-ДИ-12П-Ех».

Расчет скорости потока теплоносителя (по Рейнольдсу)

Число Рейнольдса - критерий гидродинамического подобия течения вязкой жидкости, отражающий отношение сил инерции к силам вязкого трения. Критерий Рейнольдса позволяет охарактеризовать режим течения жидкости (ламинарный или турбулентный поток).

Для расчета числа Рейнольдса потока жидкости применяется следующая формула:

$$Re = \frac{V * 4 R_r}{\nu},$$

где V - средняя скорость течения жидкости, м/с;

ν - кинематическая вязкости, м²/с;

R_r - гидравлический радиус, для круглой трубы $R_r = d/4$;

d - диаметр трубы, м.

Для теплоносителя число Рейнольдса составляет величину менее 2000.

Кинематическая вязкость воды при различных температурах

Вода H₂O представляет собой ньютоновскую жидкость, и ее течение описывается законом вязкого трения Ньютона, в уравнении которого коэффициент пропорциональности называется коэффициентом вязкости, или просто вязкостью.

Вязкость воды зависит от температуры. Кинематическая вязкость воды равна $1,006 \cdot 10^{-6}$ м²/с при температуре 20 °С. В табл. П8 представлены значения кинематической вязкости воды в зависимости от температуры при атмосферном давлении (760 мм рт.ст.). Значения вязкости даны в интервале температуры от 0 до 168 °С. При температуре воды свыше 100 °С, ее кинематическая вязкость указана в таблице на линии насыщения.

Кинематическая вязкость воды изменяет свою величину при нагревании и охлаждении. По данным табл. П8 видно, что с ростом температуры воды ее кинематическая вязкость уменьшается. Если сравнить вязкость воды при различных температурах, например, при 0 °С и 168 °С, то, очевидно, ее охладить. Значения коэффициента кинематической вязкости при различных температурах необходимы для вычисления величины числа Рейнольдса, которое соответствует определенному режиму

течения жидкости или газа уменьшение примерно в 10 раз. То есть вода при нагревании становится менее вязкой, а высокая вязкость воды достигается, если воду максимально.

Таблица П8

Кинематическая вязкость воды

$t, ^\circ\text{C}$	$\nu \cdot 10^{-6}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu \cdot 10^{-6}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu \cdot 10^{-6}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu \cdot 10^{-6}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\nu \cdot 10^{-6}$
0.00	1.7905	35.00	0.7247	70.00	0.4137	105.0	0.2807	140.0	0.2125
1.00	1.7307	36.00	0.7107	71.00	0.4083	106.0	0.2781	141.0	0.2111
2.00	1.6738	37.00	0.6972	72.00	0.4030	107.0	0.2756	142.0	0.2097
3.00	1.6198	38.00	0.6841	73.00	0.3979	108.0	0.2731	143.0	0.2083
4.00	1.5684	39.00	0.6714	74.00	0.3929	109.0	0.2707	144.0	0.2070
5.00	1.5196	40.00	0.6591	75.00	0.3880	110.0	0.2683	145.0	0.2056
6.00	1.4731	41.00	0.6472	76.00	0.3832	111.0	0.2659	146.0	0.2043
7.00	1.4289	42.00	0.6356	77.00	0.3785	112.0	0.2636	147.0	0.2030
8.00	1.3867	43.00	0.6244	78.00	0.3740	113.0	0.2613	148.0	0.2017
9.00	1.3464	44.00	0.6135	79.00	0.3695	114.0	0.2591	149.0	0.2005
10.00	1.3080	45.00	0.6030	80.00	0.3651	115.0	0.2569	150.0	0.1992
11.00	1.2713	46.00	0.5927	81.00	0.3608	116.0	0.2547	151.0	0.1980
12.00	1.2363	47.00	0.5827	82.00	0.3566	117.0	0.2526	152.0	0.1968
13.00	1.2028	48.00	0.5730	83.00	0.3525	118.0	0.2505	153.0	0.1956
14.00	1.1708	49.00	0.5636	84.00	0.3485	119.0	0.2485	154.0	0.1945
15.00	1.1401	50.00	0.5544	85.00	0.3446	120.0	0.2465	155.0	0.1933
16.00	1.1107	51.00	0.5455	86.00	0.3407	121.0	0.2445	156.0	0.1922
17.00	1.0825	52.00	0.5368	87.00	0.3370	122.0	0.2425	157.0	0.1911
18.00	1.0555	53.00	0.5284	88.00	0.3333	123.0	0.2406	158.0	0.1900
19.00	1.0295	54.00	0.5201	89.00	0.3297	124.0	0.2387	159.0	0.1889
20.00	1.004	55.00	0.5121	90.00	0.3261	125.0	0.2369	160.0	0.1878
21.00	0.9807	56.00	0.5043	91.00	0.3227	126.0	0.2351	161.0	0.1868
22.00	0.9577	57.00	0.4967	92.00	0.3193	127.0	0.2333	162.0	0.1858
23.00	0.9356	58.00	0.4893	93.00	0.3159	128.0	0.2315	163.0	0.1847
24.00	0.9143	59.00	0.4821	94.00	0.3127	129.0	0.2298	164.0	0.1837
25.00	0.8938	60.00	0.4751	95.00	0.3095	130.0	0.2281	165.0	0.1828
26.00	0.8741	61.00	0.4683	96.00	0.3064	131.0	0.2264	166.0	0.1818
27.00	0.8551	62.00	0.4616	97.00	0.3033	132.0	0.2248	167.0	0.1808
28.00	0.8367	63.00	0.4551	98.00	0.3003	133.0	0.2232	168.0	0.1799
29.00	0.8190	64.00	0.4487	99.00	0.2973	134.0	0.2216		
30.00	0.8019	65.00	0.4425	100.0	0.2944	135.0	0.2200		
31.00	0.7854	66.00	0.4365	101.0	0.2916	136.0	0.2185		
32.00	0.7694	67.00	0.4305	102.0	0.2888	137.0	0.2169		
33.00	0.7540	68.00	0.4248	103.0	0.2861	138.0	0.2155		
34.00	0.7391	69.00	0.4191	104.0	0.2834	139.0	0.2140		

Содержание

Введение.....	3
Состав комплекта узла учета тепла.....	3
Тепловычислители.....	3
Расходомеры.....	5
Электромагнитные расходомеры.....	5
Ультразвуковые расходомеры.....	9
Вихревые расходомеры.....	13
Вихревой промышленный счетчик-расходомер воды и пара РЭВ-П «Фотон»	15
Комплекты термометров сопротивления (термопреобразователей).....	17
Датчики избыточного давления.....	18
Практическое занятие «Расчет погрешности комплекта теплосчетчика»...	19
Порядок получения информации по погрешностям средств измерения.....	20
Общие требования к оформлению отчета.....	21
Пример расчета погрешности теплосчетчика.....	22
Расчет погрешности комплекта приборов УУТЭ в соответствии с паспортами на средства измерения.....	24
Библиографический список.....	25
Приложения.....	26
Приложение 1. Задание на практическое занятие	26
Приложение 2. Форма титульного листа отчета по выполнению практического задания.....	27
Приложение 3. Теплосчетчик ТЭМ- 104.....	28
Приложение 4. Расходомер-счетчик электромагнитный «Взлет ЭР-420Л»..	30
Приложение 5. Термопреобразователи сопротивления «Взлет» ТПС.....	32
Приложение 6. Датчики избыточного давления МИДА-ДИ-12П.....	34
Приложение 7. Расчет скорости потока теплоносителя (по Рейнольдсу).....	35
Приложение 8. Кинематическая вязкость воды при различных температурах.....	35

Учебное издание

Владимир Иванович Рожков

**Метрология, сертификация, технические
измерения и автоматизация тепловых процессов**

Учебно-практическое пособие

Редактор и корректор Н.П.Новикова
Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2019 г., поз. 83

Подп. к печати 06.11.2019 Формат 60х84/16. Бумага тип. № 1. Печать офсетная.
Печ.л. 2,5 Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 150 экз. Изд.№ 83. Цена «С». Заказ

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского
государственного университета промышленных технологий и дизайна, СПб.,
198095, ул. Ивана Черных, д. 4.