

# Обзор методов измерения массового расхода

**В.В. Кортиашвили**  
коммерческий директор<sup>1</sup>  
sales@emis-kip.ru

**Е.И. Крахмалев**  
руководитель группы автоматики и  
схемотехники<sup>1</sup>, аспирант<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «Электронные и механические измерительные системы», Челябинск, Россия  
<sup>2</sup>Кафедра автоматики и управления ЮУрГУ, Челябинск, Россия,

**В статье рассмотрены основополагающие принципы определения массового расхода современными средствами измерения расхода. Предложены сравнительные характеристики и сравнения методов на примере вихревого расходомера, массового расходомера, термоанемометрического расходомера на опыте применения на различных средах. Определены основные преимущества, которые могут быть получены в результате применения того или иного типа прибора, указаны важнейшие факторы для выбора приборов.**

**Материалы и методы**  
Расходомеры «ЭМИС-ВИХРЬ 200», «ЭМИС-МАСС 260», «Thermatel TA2».

**Ключевые слова**  
массовый расходомер, расходомер, кориолисовый расходомер, вихревой расходомер, термально-массовый расходомер, термоанемометрический расходомер, цифровая электроника расходомера, обзор методов измерения расхода

Международные и национальные товарные рынки традиционно развиваются скачкообразно. Моментом скачка служит появление революционного продукта, аналог которого стараются воспроизвести конкуренты или, как минимум, адаптировать под него выпускаемую продукцию. В сфере измерения расхода таким революционным продуктом стали массовые расходомеры, обеспечившие более высокую точность измерения и учёт расхода в массе. Вследствие чего на текущий момент наиболее востребованным на рынке расходомерии является оборудование, измеряющее массовый расход.

На профессиональном сленге термины «массомер», «кориолис», «массовик» уже давно вошли в оборот и стали привычными для большинства метрологов, «КИПовцев» и «автоматчиков». Большинство специалистов связывает массовый метод измерения с двумя способами: кориолисовым и термоанемометрическим. При этом производство приборов на основе обоих методов представляет собой технологическую сложность из-за чего предложение на внутреннем рынке РФ таких расходомеров отечественного производства невелико (рис. 1). Следует отметить, что применение современных достижений высокопроизводительной электроники в сочетании с математической обработкой, позволяет вычислять массовый расход с достаточной точностью так же и вихревым методом.

На текущий момент среди российских приборостроительных предприятий, выпускающих расходомеры, основанные на кориолисовом принципе измерения, сложился пул признанных производителей и поставщиков. При этом лидерами по поставке приборов, основанных на термально-массовом методе измерения на отечественном рынке, безусловно, являются импортные производители, предлагающие термодифференциальные массовые расходомеры.

Технологически более простыми и экономичным средством измерения массового расхода является вихревой принцип измерения, реализованный в узлах учета на базе вихревых расходомеров.

Для того, чтобы понять преимущества и недостатки каждого из методов измерения и, как следствие приборов, целесообразно сравнить как непосредственно преимущества и недостатки самих методов измерения, так и расходомеры, основанные на каждом отдельно взятом способе определения расхода.

Классическим началом любого анализа в расходомерии является сравнение ответов на вопрос о погрешности измерения. Минимальную погрешность измерения (на текущий момент величина погрешности составляет 0,1%) обеспечивает кориолисовый метод измерения, в то время, как вихревой метод и термально-массовый могут обеспечить точность измерения расхода с большей погрешностью.

В качестве второго преимущества кориолисового расходомера необходимо выделить возможность калибровки погрешности от 0,5% и 0,25% до 0,15% и 0,1% соответственно. В то время как вихревым методом возможно обеспечить погрешность 2,0% (для жидкости) и 2,6% (для газов) — для узлов учета. Термоанемометрический метод обеспечивает для газов и воздуха погрешность в пределах 2,5%. При этом для кориолисового и вихревого расходомера погрешность является относительной, а для термально-массового — приведённой. Важно дополнительно пояснить, что применение термально-массового расходомера возможно только на газообразных средах. Обусловлено это тем, что жидкости имеют значительно большую теплоёмкость, чем газы, и, соответственно, сам метод измерения (термо-анемометрический) является неэффективным для измерения жидкости. Однако в некоторых случаях для заказчика более значимым параметром является не точность, а воспроизводимость измерений, и у термально-массовых расходомеров среднее квадратичное отклонение находится на достаточно высоком уровне — 0,1%, и оно сопоставимо с аналогичным значением для кориолисовых и вихревых расходомеров, равным 0,02% и 0,1%.

Следующим критерием для сравнения является измеряемая среда. Нужно отметить,



Рис. 1 — Массовый расходомер ЭМИС-МАСС 260 российского производителя ЗАО «ЭМИС»



Рис. 2 а — Массовый расходомер ЭМИС-МАСС 260 Ду 200 в установках подготовки нефти

что для всех расходомеров есть ограничения на содержание газовых включений.

Для вихревых расходомеров сохранение стабильности метрологических характеристик в заданном классе точности нормировано при содержании механических примесей до 250 мг/м<sup>3</sup> и не более 1 г/л для жидкостей, и содержание газовых включений в жидкости не более 2,5% по объёму для преобразователей класса точности 0,5% и не более 4% для преобразователей классов точности 1 и 1,5% (при содержании газовых включений до 10% по объёму полная относительная погрешность не превышает +/- 5%). Последнее является существенным преимуществом, поскольку идеально чистых сред в производственных процессах не бывает.

Кориолисовые расходомеры обеспечивают стабильность метрологических характеристик при содержании газовых включений в жидкости не более 1% по объёму для массовых расходомеров классом точности 0,1%, 0,15%, 0,25% и не более 3% для массовых расходомеров класса точности 0,5%.

Данный вид расходомеров может использоваться как на жидких, так и на газообразных средах. Кроме того, кориолисовый расходомер имеет важное преимущество: возможность измерения двухкомпонентных сред (Рис. 2 а, б). У одного из отечественных производителей для массового расходомера на дисплее электронного блока реализована функция отображения в текущем режиме процентного отношения доли одной среды относительно общего расхода и массового расхода второй среды, что востребовано в нефтяной отрасли при учёте чистой нефти.

Таким образом, термоанемометрический способ наилучшим образом реализуется при измерении воздуха и газов. В части характеристик измеряемой среды вихревой расходомер может конкурировать с кориолисовым. Для термально-массового расходомера требования к среде измерения ещё более высокие, чем для кориолисового, в основном это связано с сухостью измеряемых газовых сред.

Продолжая сравнивать функциональные особенности выбранных расходомеров, следует отметить, что в предлагаемом техническом решении на базе вихревого расходомера в составе узла учета на текущий момент имеется необходимость дополнения самого

прибора датчиком давления, температуры, и контроллером, но наличие последнего прибора является необязательным требованием.

Ключевой особенностью вихревого расходомера одного из лидирующих отечественных производителей данного продукта является цифровая электроника собственной разработки, позволяющая обрабатывать сигнал, производить аналоговую и цифровую фильтрацию сигнала во временной и частотной областях благодаря применению прямых и обратных преобразований Фурье (Рис. 3). Также электроника может приводить расход к нормальным условиям и отображать с суммарной погрешностью, заданной для всех измерительных компонентов, входящих в состав узла учета.

Из практики применения контрольно-измерительных приборов любой профессионал знает о наличии помех в месте установки. Помехи могут иметь различную природу: механическую и электромагнитную. В этой связи необходимо учитывать, что расходомеры, работающие на вихревом способе измерения, наименее устойчивы к вибрациям, в то время как к электромагнитным помехам восприимчивы все три типа расходомеров. У расходомера на базе термо-анемометрического способа измерения, в частности, в силу физических особенностей процесса определения расхода, практически отсутствует восприимчивость к различным внешним возмущающим факторам. Однако у любого из сравниваемых приборов в случае наличия сильных электромагнитных полей (способные воздействовать на выходной сигнал) могут наблюдаться отклонения от заданных параметров работы. Для уменьшения влияния помех на сигнальные тракты целесообразно использовать цифровые протоколы, снижающие влияние электромагнитных помех на полезный сигнал и выходные параметры. Тем не менее, многие производители, осознавая недостатки, борются с возникающими в процессе эксплуатации помехами, различными способами.

Например, ЗАО «ЭМИС» разработало собственное программное обеспечение, которое предоставляет возможность гибкой настройки фильтрации помех при цифровой обработке сигнала с помощью фильтров различных типов, каждый из которых имеет возможность настройки, что является не единственным преимуществом ПО. Для

повышения удобства на месте эксплуатации, прибор поддерживает работу по протоколу Modbus через USB-интерфейс. Такое ПО адаптировано, в том числе и для электронного блока массового расходомера, и позволяет не только записывать и сохранять константы, диагностировать состояние технологического процесса, но и предоставляет множество других возможностей и функций. Бельгийская компания «Magnetrol», в свою очередь, обеспечила свои приборы программным продуктом «PactWare», которое позволяет проводить расширенную диагностику и самодиагностику работы с выдачей параметров рабочего процесса на дисплей.

Одним из определяющих факторов в выборе скорее расходомера, чем типа измерения, является рабочее давление. Для вихревого расходомера это 25 МПа, для массового расходомера — 15 МПа, а для термо-анемометрического — 10,5 МПа. Однако невысокое рабочее давление термально-массового расходомера обусловлено возможностью использования на трубопроводах большого диаметра и монтажом без остановки потока. При этом многие производители в комплекте поставки предлагают, в том числе, устройство для «горячего» ввода и извлечения зонда.

Одним из функциональных преимуществ термоанемометрического метода измерения является возможность измерения малых и сверхмалых расходов. При этом динамический диапазон для таких приборов составляет на текущий момент 1:200, для массовых, в основном, — 1:100, для вихревого расходомера — 1:46.

Немаловажным фактором при выборе прибора для измерения массового расходомера является температура рабочей среды. Продолжая говорить о преимуществах как вихревого расходомера, так и самого вихревого метода измерения, в части температуры рабочей среды сразу же следует добавить возможность его использования на достаточно высоких температурах — до «+460°C», в то время как при кориолисовом и термально-массовом методах измерения рабочая температура составляет «+300°C» и «+205°C».

В предыдущем абзаце был косвенно затронут вопрос требований к расходомерам по монтажу на трубопроводе. В этой связи у кориолисового расходомера есть значительное преимущество: его установка не требует прямых участков, кроме того, возможна установка на вертикальном трубопроводе. Такая же возможность имеется и у термально-массовых, и у вихревых расходомеров, но только на восходящем потоке. Ограничение обусловлено требованием по заполняемости трубы.

Далее, необходимо обратить внимание на фактор, которому также придаётся существенное значение, такой, как падение давления. Для массового метода и вихревого метода показатель зависит от диаметра трубопровода; для термально-массовых расходомеров он является незначительным, и здесь наблюдается явное преимущество в пользу последнего.

Исследуя преимущества и недостатки приборов, помимо анализа технических характеристик и функциональных особенностей отдельно взятого оборудования, важно уделить внимание, в том числе и экономическим факторам, в первую очередь таким, как покупная цена и стоимость владения. Здесь основным критерием выступает срок



Рис. 2 б — Массовый расходомер ЭМИС-МАСС 260 Ду 50 в узле налива нефтепродуктов



Рис. 3 — Вихревой расходомер ЭМИС-ВИХРЬ 200 с цифровой электроникой собственной разработки

межповерочного интервала, при этом для массовых и вихревых счётчиков расхода это 4 года, а для термально-массовых — 2 года (за редким исключением у отдельно взятых зарубежных компаний — 4 года).

Кроме того, одним из значимых критериев владения прибором в последнее время стала возможность имитационной поверки, которая из рассматриваемых моделей расходомеров реализована в полном объёме только у термомассового. При этом во время имитационной поверки, поверяется основной измерительный канал расходомера (канал температуры), что позволяет заказчику в полной мере оценить работоспособность прибора. Вихревой метод также имеет возможность имитационной поверки, изложенной в методике поверки. Для кориолисовых расходомеров возможность имитационной поверки отсутствует.

В части покупной цены оборудования КИПиА первоначальные затраты на приобретение вихревого расходомера, даже в совокупности с датчиками давления и температуры, для измерения массового расхода будут значительно ниже покупной цены кориолисового расходомера.

Соотношение технических особенностей

расходомеров по результатам проведённого обзора выглядит следующим образом: наиболее оптимальными способами измерения массового расхода являются кориолисовый и термо-анемометрический методы. В этом случае следует признать, что вихревой метод является адаптированным.

Таким образом, сделать однозначное заключение, лежащее в основе потребительского спроса, о явных преимуществах какого-либо из методов измерения или приборов, основанных на вихревом, кориолисовом и термо-анемометрическом способах, затруднительно. Поэтому производители предлагают потребителям всевозможные опции, которые не являются существенным отличием в своём классе оборудования, но создают удобство их использования и решают второстепенные задачи. Для наглядности сравнение таких опций (функций) приведено ниже в таб. 1:

В заключении необходимо ещё раз отметить, что каждый из методов измерения наилучшим образом подходит для отдельно взятой рабочей среды. Так, термально-массовый метод наилучшим образом себя зарекомендовал в работе на газовых средах. Вихревой метод измерения лучше всего подходит для измерения расхода пара, а

кориолисовый — для измерения массы жидкости.

Зачастую приборы могут применяться одновременно в целях более точных измерений и (или) экономии денежных средств (такие решения находят применение в составе АГЗУ, где могут применяться одновременно массовый и вихревой расходомер). Вместе с тем, в обзоре приведены характеристики каждого из приборов в отдельности и в сравнении, как совокупность факторов, влияющая на выбор заказчика.

#### Итоги

Термально-массовый метод измерения наилучшим образом себя зарекомендовал в работе на газовых средах. Вихревой метод измерения лучше всего подходит для измерения расхода пара, а кориолисовый — для измерения массы жидкости.

#### Выводы

Каждый из методов измерения, описанных в статье, наилучшим образом подходит для отдельно взятой задачи измерения. Зачастую приборы могут применяться одновременно в целях более точных измерений и (или) экономии денежных средств.

№ п/п	Опция (функция)	Вихревой (произв. РФ)	Массовый (произв. РФ)	ТА (зарубежный производитель)
1.	Поворачивающийся корпус электронного блока (корпус)	+	+	+
2.	Каналы передачи данных	Токовый, импульсный, HART, RS-485 (Modbus), USB(Modbus)	Токовый, импульсный, HART, RS-485 (Modbus)	Токовый, импульсный, HART, Foundation Fieldbus
3.	Возможность беспроводной передачи данных (через модем)	+	+	+
4.	Наличие сертификатов SIL II SIL III	-	-	+
5.	Возможность калибровки для двух разных газов	-	-	+
6.	Возможность учёта двух сред	-	+	-
7.	Возможность удалённого исполнения (с выносом электронного блока)	До 5 метров	До 15 метров	До 150 метров
8.	Отображение температуры и плотности	-	+	+
9.	Меню на нескольких языках	-	-	+
10.	Защищенная конструкция сенсора расходомера при эксплуатации, хранении и транспортировке	+	+	+

Таб. 1 — Сравнительная таблица дополнительных функций расходомеров

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

## Review of mass flow measurement methods

UDC 681.2

#### Author:

Valery V. Kortiashevili — sales manager<sup>1</sup>; sales@emis-kip.ru

E.I. Krakhmalev — head of automation and circuit technique department<sup>1</sup>, postgraduate<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EMIS CJSC, Chelyabinsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Department of automation and management, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

#### Abstract

The article describes basic principles for determining the mass flow rate by modern flow measurement devices. It were proposed comparative characteristics and comparison of methods on the example of a vortex flowmeter, mass flowmeter, hot-wire flowmeter on the experience of the using in different environments. Also were revealed main advantages that can be obtained by using the particular type of devices and were named most important

factors to making a choice of instruments.

#### Materials and methods

Vortex flowmeter EMIS-VIHR 200, mass flowmeter EMIS-MASS 260, Thematel TA2.

#### Results

Thermal mass measurement method is the best at working in gas environment. The vortex measurement method suited to measure steam flow rate, and the coriolis measurement method to measure liquid flow rate.

#### Conclusions

Each of named measurement methods suit to particular measure purpose. Often devices could be used in the same time to obtain precise measurements and/or to save money.

#### Keywords

mass flowmeter, flowmeter, coriolis flowmeter, vortex flowmeter, thermal mass flowmeter, hot-wire flowmeter, digital electronics of flowmeter, review of mass flow methods