

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ РАСХОДА СИСТЕМ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ БЮДЖЕТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В последнее время актуальной задачей для многих предприятий и организаций стала установка узлов учета расхода тепловой энергии. Данная мера позволяет иногда в 2–3 раза снизить коммунальные платежи за отопление и горячее водоснабжение. Затраты на установку таких приборов окупаются обычно в течение первого отопительного сезона.

Для бюджетных предприятий и организаций (таких, как высшие и средние учебные заведения, больницы и т. п.) весьма важными параметрами комплекта приборов учета тепловой энергии являются его стоимость, надежность и простота в эксплуатации, поскольку ремонт и обслуживание таких приборов могут быть сопоставимы с их ценой.

Комплект теплосчетчика состоит из первичных преобразователей расхода (в дальнейшем именуемых расходомерами), датчиков температуры и тепловычислителя. В настоящее время Госстандартом России сертифицировано более 130 типов теплосчетчиков. Все они имеют примерно одинаковые эксплуатационные характеристики и стоимость. Определяющим фактором при комплектации узла учета тепловой энергии, таким образом, будет тип используемых расходомеров. Стоимость расходомерной части комплекта достигает 70% от стоимости всего теплосчетчика, а его надежность и эксплуатационные свойства, как правило, определяют работу всего узла.

Для измерения расхода и количества жидкости применяются приборы, основанные на различных физических принципах. Существующие приборы условно делятся на четыре группы [1]:

- приборы, основанные на гидродинамических методах, в том числе вихревые;
- приборы с непрерывно движущимся телом, в том числе тахометрические;
- приборы, основанные на различных физических явлениях, в том числе акустические и электромагнитные;
- приборы, основанные на особых методах.

Одним из перспективных видов приборов для измерения расхода жидкости являются вихревые. В основе работы расходомеров данного типа лежит физическое явление, заключающееся в том, что за любым телом, которое обтекается потоком жидкости или газа, образуется вихревая дорожка, так называемая дорожка Кармана [2]. Частоту срыва вихрей принято выражать через критерий Струхала Sh следующим образом:

$$f = Sh \frac{V}{d},$$

где V – средняя скорость потока в сечении трубопровода, где установлено тело обтекания; d – характерный размер тела обтекания (например, диаметр для цилиндрического тела).

Таким образом, частота следования вихрей пропорциональна средней скорости потока в трубопроводе, поэтому зная поперечное сечение последнего, можно измерить и расход среды.

К современным расходометрическим приборам, которые используются для учета расхода тепловой энергии у потребителей, предъявляются следующие требования, регламентированные в документе [3].

1. Высокая точность измерения и линейность шкалы. Для счетчиков и дозаторов это одно из важнейших требований. Вихревые приборы в зависимости от вида и условий монтажа могут иметь погрешности от $\pm 0,5$ до $\pm 1,5\%$.

2. Надежность. Вихревые расходомеры и счетчики относятся к одному из самых надежных типов расходометрических устройств. Вихревые приборы весьма просты конструктивно. В них отсутствуют вращающиеся части, поэтому тахометрические приборы, основанные на применении вращающихся тел в потоке, не могут конкурировать с ними в отношении надежности. В среднем срок службы вихревых расходометрических приборов может достигать 10–12 лет.

3. Большой диапазон измерений. Он оценивается отношением наибольшего измеряемого расхода Q_{\max} к наименьшему – Q_{\min} . Вихревые расходомеры имеют широкий диапазон измерения расхода жидкостей. Остальные типы расходометрических устройств по данному признаку занимают промежуточное положение.

4. Независимость результатов показаний от давления и температуры. Для вихревых приборов данное требование выполняется с большой точностью.

5. Стабильность и воспроизводимость показаний при длительной работе. Тахометрические приборы способны работать только в чистой воде или других чистых жидкостях, практически не содержащих примесей. Содержащиеся в воде абразивные и волокнистые частицы увеличивают износ подшипников и вызывают прогрессирующее увеличение погрешности измерения со временем. В ряде случаев в течение межповерочного интервала времени погрешность может увеличиться на порядок: с 1–2 до 10–15%. У вихревых расходомеров загрязнение, коррозия и эрозия тела обтекания (преобразователя расхода) практически не оказывают влияния на процесс вихреобразования [1].

Для правильного выбора расходометрического прибора необходимо провести сравнительный анализ основных разновидностей таких устройств. Для этого следует выработать некоторые общие критерии, которые бы учитывали ряд их основных характеристик. Эти характеристики можно разделить на три группы: метрологические, эксплуатационные и информационные. Соответственно, можно говорить о метрологическом, эксплуатационном и информационном критериях качества приборов.

К основным метрологическим характеристикам следует отнести:

- погрешность измерения;
- диапазон измерения;
- стабильность показаний во времени и надежность в работе.

Таким образом, прибор будет тем лучше, чем шире его диапазон измерения, меньше погрешность и выше стабильность характеристик. Последнюю величину удобно оценивать по интегральному показателю – времени межповерочного интервала. Чем больше допускается межповерочный интервал для данного типа приборов, тем большей надежностью в работе он обладает, тем дольше сохраняются неизменными его характеристики, тем выше стабильность показаний прибора.

Метрологический критерий сравнения K_m , с учетом вышеприведенного, может быть записан так [4]:

$$K_m = \frac{Q}{\Delta\%} (1 + \ln T),$$

где $Q=Q_{\max}/Q_{\min}$ – диапазон измерений, т. е. отношение максимального измеряемого расхода Q_{\max} к минимальному измеряемому расходу Q_{\min} ; $\Delta\%$ – средняя величина относительной погрешности прибора выраженная в процентах; T – межповерочный интервал в годах.

В приведенном выше выражении учитывается, что минимальная длительность межповерочного интервала – 1 год; уменьшение его приводит к резкому снижению качества приборов.

К основным эксплуатационным характеристикам можно отнести:

- вес прибора;
- стоимость;
- удобство и простоту монтажа на технологическом трубопроводе.

Для сравнения различных приборов по весу необходимо пользоваться относительными величинами, так как вес прибора в общем зависит как от конструктивного совершенства, так и от диаметра трубопровода, для которого он предназначен. Как показывает анализ [4], веса всех подобных приборов примерно пропорциональны диаметру их условных проходов D . Удобно отнести вес прибора P к диаметру его условного прохода D . Назовем эту величину относительным весом прибора. Приборы, вес которых растет с меньшей интенсивностью, непропорционально размеру условного прохода, получают преимущество по данному критерию. Такими приборами являются, например, погружные вихревые водосчетчики типа «Фотон». Они имеют практически неизменный вес при различных типоразмерах. Так, с увеличением условного прохода на 12,5% вес прибора увеличивается только на 2%.

Анализ стоимости приборов надо производить в сопоставимых ценах, для чего проще всего использовать цену, выраженную в долларах США, тем более, что в настоящее время на внутреннем рынке России появляется большое количество зарубежной аппаратуры для измерения расхода и количества жидкости. Стоимости расходомеров большинства типов в диапазоне условных проходов от 50 до 400 мм примерно пропорциональны диаметру условного прохода. Введем относительную величину стоимости приборов, отнеся его цену C к условному проходу D . Назовем эту величину относительной стоимостью прибора.

Для эксплуатации прибора крайне важна возможность легко монтировать его на трубопроводе и снимать для поверки, ремонта или замены. Некоторым интегральным показателем качества прибора, оценивающим его с этой стороны, могут служить затраты времени на монтажные работы (без учета времени, необходимого на слив жидкости из трубопровода). Данная величина позволяет достаточно объективно оценить совершенство расходомера в отношении удобства его монтажа.

Эксплуатационный критерий качества расходомерной аппаратуры $K_э$, учитывая соображения, высказанные выше, можно записать в виде:

$$K_э = \frac{P}{D} \cdot \frac{C}{D} \cdot T_m.$$

Лучший прибор будет обладать меньшим по величине значением $K_э$.

Измерительные расходометрические приборы имеют целый ряд характеристик, которые можно назвать информационными. К указанным параметрам относятся:

- наличие (или отсутствие) естественного частотного выходного сигнала;
- обязательное наличие калиброванного отрезка трубопровода с заданным диаметром или конструктивными особенностями;
- возможность (или невозможность) беспроливной имитационной поверки;
- сохранение градуировки в различных средах.

Информационный критерий K_i позволит оценить особенности применения данных приборов в современных системах контроля, управления и учета потоков жидкостей.

Наличие естественного частотного выхода – это важная особенность прибора. Если выходная величина, пропорциональная расходу, является частотой (например, частота следования вихрей или частота вращения турбины или крыльчатки), то это позволяет практически без погрешности осуществлять дистанционную передачу показаний и цифровое интегрирование выходного сигнала без каких-либо промежуточных преобразователей. Для учета данной особенности в информационный критерий надо ввести вспомогательный коэффициент $K_ч$, который будет приниматься:

- равным 1, если естественный частотный выход у прибора есть,
- равным 0, если естественный частотный выход отсутствует.

Важной конструктивной особенностью приборов является необходимость калиброванного по сечению участка трубопровода. Сечение трубопровода может быть задано конструктивно (размерами корпуса) или измеряться непосредственно в месте установки прибора, а затем учитываться в вычислениях расхода (например, вводится в измерительную схему прибора при его градуировке или поверке). Последнее решение позволит во многих случаях избавиться от корпуса и создать так называемые погруж-

ные (бескорпусные) расходомеры. Они имеют меньшую массу, способны работать в открытых каналах и, следовательно, незаменимы для систем мелиорации или учета промышленных стоков.

Ряд типов расходомеров требует наличия внутри трубы определенных конструктивных деталей, требующих для своего поддержания корпуса (например, подшипников для крепления осей турбин и крыльчаток в тахометрических приборах, электродов – в электромагнитных (индукционных) расходомерах и т. п.).

Для сравнительной оценки приборов по данному параметру в информационный критерий следует ввести соответствующий коэффициент – Кк, который будет равен:

- 1, если для работы прибора достаточно только измерить сечение трубы;
- 0,5, если нужно задавать это сечение калиброванным патрубком;
- 0, если в калиброванном по сечению корпусе прибора обязательно необходимо иметь какие-либо элементы специальной конструкции, не могущие быть помещенными туда извне через какие-то отверстия и т. п.

Возможность беспроливной поверки приборов определяется принципом, который лежит в основе их работы. Существуют такие приборы, поверить которые без проливной установки, где через прибор прокачивается реальная жидкость, в принципе невозможно. Это тахометрические, тепловые приборы и некоторые другие типы расходомеров. Поверочные установки, как правило, достаточно сложны, дороги и редки (в особенности на большие диаметры условного прохода). Стоимость поверки приборов на них также весьма велика и может достигать 10% и более от стоимости самого прибора. Поэтому важно иметь возможность (особенно при массовом серийном выпуске) осуществлять поверку на беспроливных стендах. Это устройства, имитирующие работу прибора на реальном трубопроводе, поэтому они иногда называются имитационными стендами. Такие стенды всегда значительно дешевле (в десятки и сотни раз) и проще поверочных установок. Поэтому поверка на них также дешева. Применение таких стендов не исключает, конечно, поверки части выпускаемых приборов на проливной установке. Это необходимо для контроля качества производства и поверки расходометрической аппаратуры устанавливаемой на ответственных объектах.

Для учета возможности беспроливной поверки введем коэффициент K_p , который примет значение:

- равное 1, если такая поверка возможна;
- равное 0, если беспроливная поверка для данного типа приборов невозможна.

Важной особенностью приборов, определяющей их область применения в различных средах, является сохранение ими градуировки при переходе от одной рабочей среды к другой. Как правило, приборы для измерения расхода и количества жидкостей поверяются и градуируются на воде, характеристики которой соответствуют стандарту. Но свойства рабочей жидкости могут существенно отличаться от градуировочной. Основными характеристиками среды, влияющими на работу расходометрической аппаратуры, являются электропроводность, вязкость, плотность и температура.

Чтобы учесть все эти факторы, будем использовать коэффициент влияния параметров жидкости – K_j , который складывается из четырех вспомогательных коэффициентов:

$$K_j = K_z + K_v + K_{пл} + K_t,$$

где K_z , K_v , $K_{пл}$, K_t – вспомогательные коэффициенты, учитывающие влияние электропроводности, вязкости, плотности и температуры соответственно. Каждый из них принимается:

- равным 0, если данный параметр существенно влияет на работу прибора и требуются специальные меры в конструкции или измерительной схеме, чтобы снизить его влияние;
- равным 1, если существенного влияния на показания расходомера данное свойство жидкости не оказывает.

Таким образом, информационный критерий для сравнительной оценки характеристик различных расходомеров и счетчиков жидкости может быть представлен в виде:

$$K_i = K_c + K_k + K_p + K_j.$$

Применив предложенные здесь критерии сравнительного качества расходометрической аппаратуры к четырем основным типам промышленных расходомеров, указанным выше (вихревым, тахометрическим, электромагнитным и акустическим), получим некоторые данные (таблица). Результаты сравнительного анализа представлены графически на рис. 1–3.

В таблице в качестве расчетных приведены усредненные данные, полученные из анализа паспортных характеристик большого количества промышленных расходомеров различных типов и типоразмеров.

Сравнительные характеристики промышленных расходомеров и счетчиков количества жидкости

Параметры приборов	Тип приборов			
	Вихревые	Тахометрические	Электромагнитные	Акустические
Диапазон измерения	50 [*] /35	80	40	30
Относительная погрешность в %	1,0	2,0	1,0	1,5
Межповерочный интервал в годах	1 [*] /2	3	2	2
Метрологический критерий, Км	83[*]/59	84	67	34
T/D, [кГ/мм]	0,0245 [*] /0,199	0,206	0,267	0,475
C/D, [\$/мм]	1,95	2,94	6,75	10,45
Эксплуатационный критерий, Кэ	0,047[*]/1,55	2,42	7,2	24,8
Кч	1	1	0	0
Кк	1	0	0	1
Кп	1	0	1	0
Кж=Кэ+Кпл+Кв+Кт	0+1+1+1	1+0+0+1	0+1+1+1	1+0+0+1
Информационный критерий, Ки	6	3	4	3

Примечание. Звездочкой (*) обозначены значения для вихревых расходомеров типа СХВВ и ФОТОН.

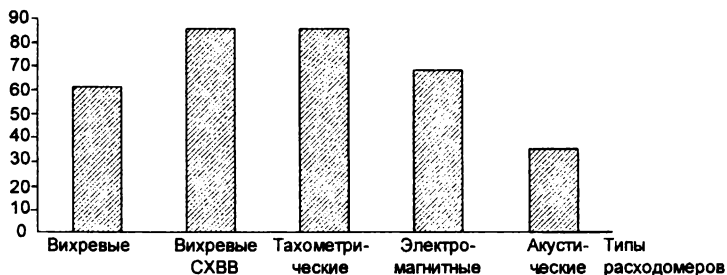


Рис. 1. Метрологический критерий для основных типов расходомеров

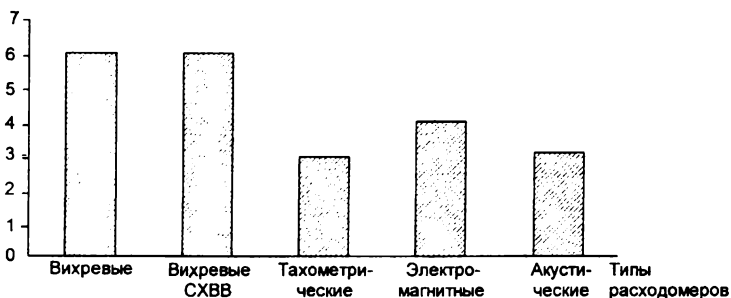


Рис. 2. Эксплуатационный критерий для основных типов расходомеров

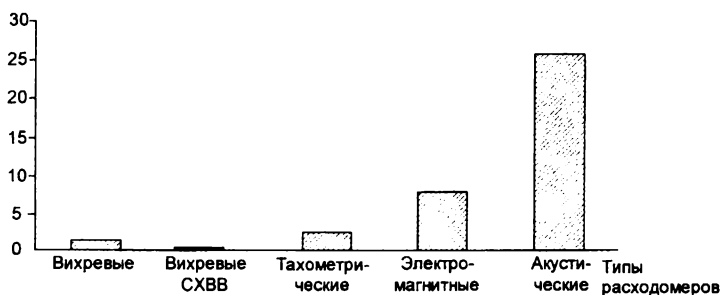


Рис. 3. Информационный критерий для основных типов расходомеров

Приведенные выше диаграммы наглядно показывают преимущества вихревых расходомеров и счетчиков перед другими типами расходомерических приборов. Вихревые расходомеры являются относительно новым и весьма перспективным классом приборов. Они имеют высокую точность, как акустические (ультразвуковые), широкий диапазон измерений, как тахометрические, конструктивно просты, как сужающие устройства расходомеров переменного перепада давления и значительно дешевле, проще в монтаже и эксплуатации, чем все указанные типы расходомеров [5–7].

Особое преимущество имеют погружные вихревые приборы, например типа СХВВ и ФОТОН. Они устанавливаются непосредственно в отверстие технологического трубопровода, поэтому их стоимость значительно ниже любых приборов того же типоразмера.

Анализируя диаграммы, приведенные на рис. 1–3, можно сделать следующие *выводы*:

1. Метрологические показатели вихревых измерительных приборов практически в 2 раза превосходят соответствующие показатели ультразвуковых приборов и не уступают показателям тахометрических и электромагнитных расходомеров.

2. По эксплуатационным показателям вихревые приборы значительно превосходят все остальные типы расходомеров. Они дешевы, легки, быстро монтируются на трубопроводах. Эксплуатационный критерий у них наименьший.

3. Вихревые приборы обладают высоким значением информационного критерия качества, так как позволяют использовать их на различных измеряемых средах, проводить беспроливную имитационную поверку, имеют естественный частотный выход. По совокупности данных качеств они в 1,5–2,0 раза превосходят другие рассматриваемые типы приборов.

4. Из проведенного анализа видно, что вихревые расходомеры в целом не уступают приборам других типов, а в части характеристик значительно превосходят наиболее распространенные в настоящее время расходомеры. Они являются перспективным и относительно новым для отечественной промышленности типом расходомерической аппаратуры. Приборы в части метрологических свойств имеют значительные резервы. Так, при накоплении опыта эксплуатации таких приборов станет возможным продление межповерочного интервала до 3–4 лет. Кроме того, расширение диапазона измерения до 70–80, что вполне возможно, позволит увеличить метрологический критерий в 1,7–1,8 раза.

5. Учитывая результаты проведенного анализа, вихревые расходомерические приборы можно рекомендовать к использованию в технологических и коммерческих системах учета расхода тепловой энергии бюджетных предприятий.

Библиографический список

1. *Кремлевский П. П.* Расходомеры и счетчики количества. Л., 1989.
2. *Abernath F. H. and Kronauer R. E.* The formation of vortex streets, J. Fluid Mech., V. 6, Pt 1, May 1962.
3. Тепловая энергия открытых водяных систем теплоснабжения, полученная потребителем. Методика выполнения измерений. МИ – 2537–99: Рекомендация ГСИ / ВНИИМС. М., 1999.

4. Лурье М. С., Волынкин В. Н., Филиппова О. М. Вихревые расходомеры для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности / Вестн. Сиб. гос. техн. ун-та. Красноярск, 2000. № 2.

5. Пат. России № 2000547. Вихревой расходомер / Лурье М. С., Плотников С. М., Волынкин В. Н. Бюл. № 33–36. 1993.

6. Пат. России № 2010162. Вихревой расходомер / Лурье М. С., Плотников С. М., Вайс А. А., Волынкин В. Н. Бюл. № 6. 1994.

7. Патент России № 2010164. Вихревой расходомер / Лурье М. С., Плотников С. М., Вайс А. А., Волынкин В. Н. Бюл. № 6. 1994.

Г. К. Смолин, Ю. А. Попов, Е. Г. Шорохова

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ

В золах углей содержатся редкие и рассеянные элементы [1], которые, за исключением германия, в промышленных условиях не извлекаются. В Уральском регионе имеются месторождения углей, содержащих до 100 г/т редкоземельных элементов и скандия.

В углях ПО «Вахрушевуголь» содержится: скандия – до 38 г/т, титана – до 3900, рублидия – 30, серебра – 7, индия – 8, самария – 13, церия – 33 г/т.

Экспериментально нами показано, что при слоевом сжигании углей в топке кипящего слоя ценные элементы остаются в золе. При зольности углей 30% происходит трехкратное обогащение. В этом случае по содержанию редкоземельных элементов и скандия зола некоторых углей ПО «Вахрушевуголь» не уступает средним рудным месторождениям СНГ и может использоваться для комплексной переработки. Так, для мелкой фракции золы Буланашской ТЭЦ сумма редкоземельных элементов составляет 270 г/т, а скандия – 60 г/т.

Содержание скандия в золах в результате проведенного нами анализа по прогнозированию обобщено в виде:

$$[\text{Sc}] = 7,7 \cdot 10^{-3} \sqrt{[\text{Fe}] \cdot [\text{Ti}]} \%,$$

где [Fe], [Ti] – процентное содержание железа, титана в угле.

Таким образом, содержание скандия коррелирует с содержанием железа и титана в угле. Ранее было известно, что содержание скандия коррелирует