

Способы реализации градуировочных характеристик объёмных расходомеров во вторичной аппаратуре при коммерческом учете нефти

Д.В.Мухин

В данной статье рассматриваются наиболее распространенные способы реализации градуировочной характеристики объёмных расходомеров во вторичной аппаратуре, применяемые при коммерческом учете жидкостей (например – нефти или нефтепродуктов). Выбранный способ реализации градуировочной характеристики напрямую влияет на метрологические показатели всей измерительной системы, в том числе на суммарную погрешность системы, и поэтому заслуживает серьёзного рассмотрения.

В настоящее время метрологические и технические особенности коммерческого учета нефти и газа становятся весьма интересны и актуальны для целого круга технических специалистов. Чаще всего измерения прошедшей по трубопроводу нефти проводят с помощью объёмных расходомеров – то есть измеряют объём прошедшей жидкости. В данной статье рассматриваются наиболее распространенные способы реализации градуировочной характеристики объёмных расходомеров во вторичной аппаратуре.

К сожалению, у нас в стране до сих пор не сформировался единый термин для обозначения вторичной аппаратуры расходомеров.

Вычислитель расхода, компьютер потока, электронный блок, контроллер-вычислитель, сумматор потока, система обработки информации – вот далеко не полный перечень абсолютно аналогичных названий одного и того же функционального прибора. Для удобства изложения материала будем называть эти устройства по международному образцу – «компьютер потока».

Одна из основных метрологических характеристик объёмных расходомеров – коэффициент преобразования, который имеет размерность - импульсы на единицу измерения объёма протекаемой жидкости. У нас в стране это –

имп/м³. Этот коэффициент очень важен с метрологической точки зрения и характеризует количество выходных импульсов расходомера на один кубометр прошедшей через него жидкости. Для турбинных расходомеров этот коэффициент равен числу лопастей (прошедших при вращении мимо специального магнито-индукционного датчика) на один кубометр прошедшей жидкости. Размерность данного коэффициента зависит от конструкции расходомера и, в первую очередь, от числа лопастей на данном типе объёмных расходомеров. Согласно международным стандартам этот коэффициент называют К-фактором.

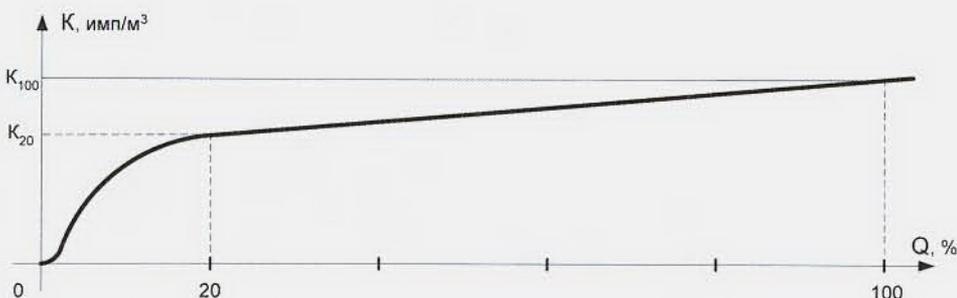


Рис. 1. Градуировочная характеристика (ГХ) объёмных расходомеров

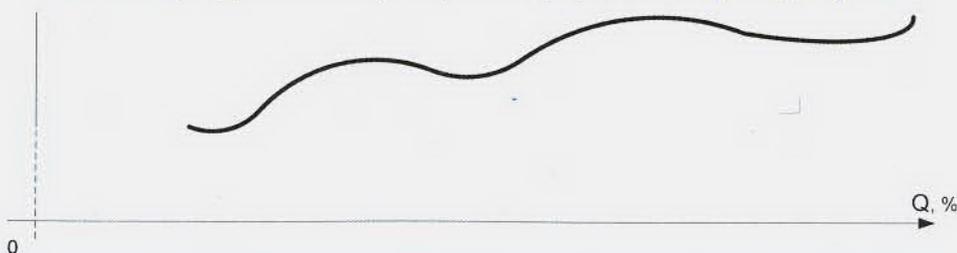


Рис. 2. Реальная ГХ объёмных расходомеров в рабочей области при увеличении масштаба

По определению в МИ 1974-2004 градуировочная характеристика (ГХ) преобразователей расхода жидкости (ПР) – функция, описывающая зависимость между коэффициентом преобразования ПР (К, имп/м³) и одной из величин: расхода жидкости (Q, м³/ч), частоты выходного сигнала ПР (f, Гц), отношения частоты к вязкости жидкости (f/ν, Гц/сСт). Будем рассматривать зависимость от величины расхода жидкости.

Градуировочная характеристика объёмных расходомеров (рис. 1) имеет, как правило, сложную форму, особенно в начале шкал, постепенно становясь более линейной зависимостью. В целом ГХ ПР условно близка к гиперболической функции.

Нелинейность и крутизна ГХ обусловлена конструктивными особенностями конкретного расходомера и физико-химическими свойствами протекающего потока нефти.

Слишком большая нелинейность ГХ увеличивает систематическую погрешность расходомера. Объёмные расходомеры применяют, как правило, в диапазоне от 20 % до 100 % расхода, поскольку в этой части ГХ близка к линейной функции. Но при увеличении масштаба ГХ в рабочем диапазоне (т.е. от 20 % до 100 %) может иметь очень сложную форму (рис. 2).

Для увеличения точности измерений последние пятьдесят лет специальными исследованиями и испытаниями определяли всевозможные систематические составляющие погрешности расходомеров и способы их устранения или компенсации.

Одним из самых распространенных способов устранения влияния систематической погрешности, обусловленной конструктивными особенностями конкретного расходомера и физико-химическими свойствами протекающего потока нефти, является аппроксимация ГХ и применение наиболее подходящего в данных условиях способа реализации ГХ ПР во вторичной аппаратуре.

Самый простой способ реализации ГХ – это её отсутствие, а точнее единый коэффициент преобразования на весь диапазон измерения, то есть ГХ в этом случае выглядит как прямая линия (рис. 3).

Это возможно при очень стабильной работе расходомера в указанном диапазоне измерений (например, турбинные расходомеры геликоидного типа) и при стабильном качестве перекачиваемой нефти.

При этом коэффициент преобразования в данном диапазоне расхода в реальности может изменяться в очень небольших пределах ($\pm 0,15\%$ от $K_{пр}$), что определяется формулами 1 и 2:

$$K_{max} \leq 1,0015 \cdot K_{пр} \quad (1)$$

$$K_{min} \leq 0,9985 \cdot K_{пр} \quad (2)$$

Однако, в реальности добиться такой стабильной работы расходомера, чтобы он работал во всем

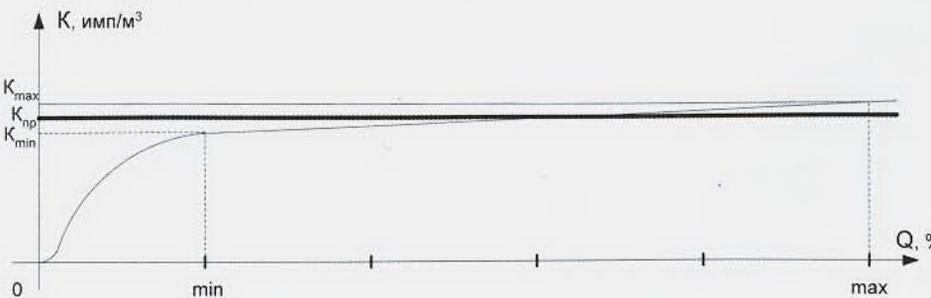


Рис.3. ГХ в виде прямой линии

рабочем диапазоне измерений расхода с одним коэффициентом преобразования, очень трудно.

Поэтому, как правило, ГХ во вторичной аппаратуре представлена в виде ломаной, кривой линии или суммы кривых линий.

Рассмотрим аппроксимацию ГХ в виде ломаной линии. Такой способ реализации ГХ очень часто использовали раньше – по причине единственно доступного способа в старой вторичной аппаратуре.

ГХ в этом случае представляет из себя набор прямых отрезков (рис. 4) или ломаную линию, соединяющая ряд точек (рис. 5).

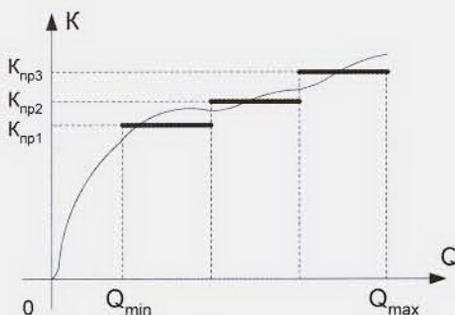


Рис. 4. ГХ в виде наборов прямых линий

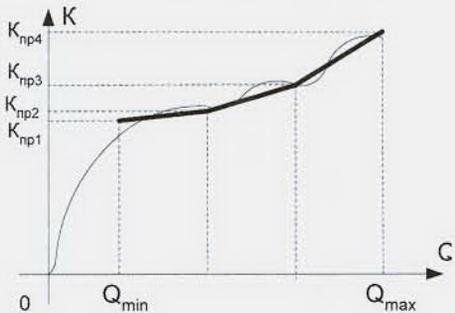


Рис. 5. ГХ в виде ломаной линии

Наиболее часто в мировой практике используют аппроксимацию ГХ в виде плавной кривой линии.

Например, в виде полинома 2 порядка, что чаще всего реализуется в большинстве современных компьютерах потока.

Этот способ приближает по максимуму установленную ГХ в памяти вторичной аппаратуры к реальной ГХ данного расходомера. Строится такая ГХ в компьютере потока по нескольким заданным точкам, полученным при реальной поверке/калибровке конкретного ПР.

В память большинства современных компьютеров потока можно ввести до 10-ти таких точек. Как правило, достаточно трёх или пяти.

Чем больше количество заданных точек для построения ГХ, тем точнее с метрологической точки зрения данная кривая приближается к реальной ГХ данного ПР.

Но при этом необходимо выбирать необходимое и достаточное количество задаваемых точек построения кривой, поскольку каждая точка требует определенных затрат при калибровке/поверке ПР.

Кроме того, при этом необходимо заранее анализировать тенденцию построения кривой в граничных областях, поскольку при построении кривой по функции полинома в областях меньше и больше крайних точек сохраняется тенденция наклона кривой, что может привести к некорректным отклонениям кривой при значениях меньше и больше крайних точек. Или ограничивать полосу действия ГХ крайними точками, полученными при реальной калибровке/поверке ПР.

Таким образом, от способа и методов построения ГХ ПР в памяти компьютера потока зависит метрологическая точность измерения потока жидкости через ПР и, соответственно, точность коммерческого учета проходящей по трубопроводу жидкости – нефти, нефтепродуктов, воды.