

$$P_1 = 0,154\rho \left(\frac{a_K}{a_D}\right)^{1,23} \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{0,524} \zeta 0,836 V_c^2, \quad (5)$$

$$P_2 = \zeta \rho \frac{V_c^2}{2} \left[\frac{0,307 \left(\frac{a_K}{a_D}\right)^{1,23} \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{0,524}}{\zeta 0,164} - 1 \right], \quad (6)$$

где ρ — плотность жидкости; V_c — скорость в узком сечении.

Полученные формулы (4) — (6) могут быть использованы для расчетов устройств типа трубки Вентури, работающих в кавитационном режиме при высоких статических давлениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. — М., 1971.
2. А р з у м а н о в Э.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. — М., 1978.
3. К а р е л и н В.Я. Кавитационные явления в центробежных и осевых насосах. — М., 1975.
4. Р а б и н о в и ч Е.З. Гидравлика. — М., 1980.
5. Примеры расчетов по гидравлике/ Д.Д. А л ь т ш у л ь, В.И.К а л и щ у н, Ф.Г.М а й р а н о в с к и й и др. — М., 1976.
6. Б а т у н е р Л.М., П о з и н М.Е. Математические методы в химической технике. — Л., 1971

УДК 681.121.8/89

М.В.КРАВЦОВ, канд.техн.наук, доц.,
Е.И.ДМУХАЙЛО, ст.преп.,
И.В.ФЕДЮКОВИЧ, ст.преп. (БИСИ)

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСХОДА ВОДЫ РОТАМЕТРАМИ

Для управления технологическими процессами в системах водоснабжения и канализации [1] и других отраслях народного хозяйства страны [2] для измерения расхода воды и прочих жидких сред применяют расходомеры постоянного давления — ротаметры.

Наиболее известный и распространенный ротаметр, обеспечивающий измерение расхода в широком диапазоне, состоит из конической прозрачной трубки и поплавка [2]. Так как изготовить коническую трубку нелегко, часто применяют цилиндрическую трубку. Расширение же пределов измерения расхода достигается изготовлением трубки с переменным углом наклона к горизонту, переменного сечения или с коническим неподвижным стержнем внутри. В последнем случае снижение расхода происходит при перемещении поплавка в сторону конического стержня и уменьшении проходного сечения [2].

На наш взгляд, наиболее простой и надежной в работе является конструкция ротаметра, предложенная нами и состоящая из прозрачной изогнутой по дуге циклоиды трубки, и помещенного внутрь трубки поплавка в виде шарика. Обсуждению конструктивных особенностей и расчетных зависимос-

тей предложенного ротаметрического способа измерения расхода и посвящена данная работа.

Расходомеры-ротаметры имеют ряд достоинств: простота конструкции, отсутствие трущихся деталей, высокая чувствительность к изменению расхода, небольшие потери энергии, широкий диапазон измерения и т.д. [2]. Основным же недостатком их является большая погрешность при эксплуатации из-за высокой чувствительности к изменению физических свойств измеряемой среды. Это объясняется тем, что пока не разработаны теоретические основы расчета процесса обтекания тела потоком жидкой среды. Закон изменения расхода от положения поплавка сложен и зависит от многих факторов, а области измеряемых сред и условий измерения лежат в широком диапазоне чисел Рейнольдса, при которых наблюдаются различные режимы движения. Поэтому расходомеры обычно градуируют на воде или воздухе при нормальных условиях, в то время как физические свойства жидкой среды с течением времени могут сильно изменяться. Это обстоятельство и приводит к большим погрешностям при измерениях расхода. Улучшить метрологические характеристики расходомеров и избавиться от погрешностей при измерениях расхода можно лишь после разработки теоретических основ расчета поведения поплавка и решения задачи обтекания потоком жидкой среды одиночного тела в стесненных стенками трубки условиях. Такое решение для случая вязкой среды шаров в вертикальных трубках при свободном падении шаров приводится в работе [3]. Использование его может позволить не только сформулировать теоретические основы расчета при измерениях расходов и физических свойств жидкой среды, но и улучшить конструктивные характеристики расходомеров.

Расход жидкой среды при обтекании отдельного тела в трубе круглого поперечного сечения зависит от следующих факторов:

$$Q = f(\rho, \mu, \rho_T, g, D, l_1, l_2 \dots), \quad (1)$$

где ρ и μ – плотность и динамический коэффициент вязкости среды; ρ_T – плотность тела; g – ускорение силы тяжести; D – диаметр трубы; l_1, l_2 – размеры обтекаемого тела (поплавка).

При шаровой форме обтекаемого тела решение задачи упрощается, а зависимость (1) принимает вид

$$Q = f(\rho, \mu, \rho_T, g, D, d), \quad (2)$$

где d – диаметр шара.

Плотность обтекаемого тела и ускорение силы тяжести на величину расхода влияют не непосредственно, а через изменение величины веса тела (поплавка). Поэтому зависимость (2) может быть записана в виде

$$Q = f(\rho, \mu, G, D, d). \quad (3)$$

Здесь G – вес тела в жидкой среде.

В соответствии с решением задачи [3] для случая обтекания потоком вязкой среды шара, который находится под воздействием гидродинамического напора среды и собственного веса в вертикальной цилиндрической трубе круглого поперечного сечения, зависимость (3) принимает следующий вид:

$$Q = 1,253 \varphi D \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \quad (4)$$

где φ – коэффициент скорости.

В работе [3] установлено также, что коэффициент скорости φ может быть определен по формуле

$$\varphi = \frac{K \frac{D}{d} \sqrt{\rho G} \left(1 - \frac{d}{D}\right)^2}{19,36\mu + \sqrt{\rho G} \left(1 - \frac{d}{D}\right)^2}, \quad (5)$$

где K – постоянный коэффициент.

При движении в трубах маловязких жидкостей (например, воды) первым членом в знаменателе формулы (5) можно пренебречь и она принимает вид

$$\varphi = K \frac{D}{d}. \quad (6)$$

Расход жидкости в этом случае будет равен

$$Q = 1,253K \left(\frac{D}{d} - \frac{d}{D}\right) \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (7)$$

Нетрудно заметить, что с использованием зависимостей (4) и (5) можно измерять не только расход, но и любое физическое свойство вязкой среды или тела, а также геометрические размеры тела и трубки. Так, при известном расходе легко определить вязкость жидкой среды или ее плотность. Иными словами, из семи параметров, определяющих состояние потока вязкой среды, по известным шести можно всегда определить неизвестный седьмой параметр.

Из формулы (4) также следует, что расширение пределов измерения расхода может быть осуществлено не только с помощью переменного проходного сечения (изменение отношения d/D), но и с помощью изменения величины продольной составляющей силы тяжести путем наклона или изгиба трубки, применения магнитного поля, изменяющего вес стального шара (поплавка) и т.д.

Возможность применения формулы (7) для расчетов величины расхода воды проверена нами для двух видов расходомеров: с переменным углом наклона прозрачной цилиндрической трубки круглого поперечного сечения и с изогнутой по дуге циклоиды прозрачной трубкой (рис. 1,а). В обоих случаях в качестве чувствительного элемента был применен один из стальных шаров ($\rho_T = 7800 \text{ кг/м}^3$) диаметрами: 0,586 см; 0,674; 0,951; 1,108; 1,224 и

1,514 см, а продольная составляющая силы тяжести исчислялась как $G' = G \sin \alpha$ (α — угол наклона цилиндрической трубки или касательной в точке касания шара к дуге циклоиды к горизонту). При измерениях расхода в трубке, очерченной по дуге циклоиды $\sin \alpha = \sin (90 - \varphi/2)$, $\sin \varphi/2 = \sqrt{\frac{h}{TT'}}$, $TT' -$

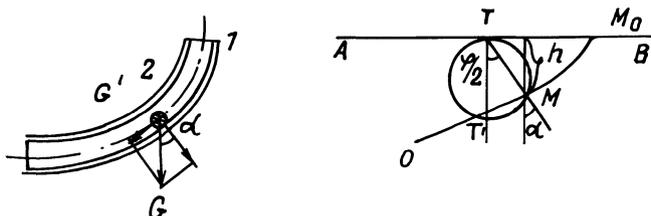


Рис. 1. Схема расходомера-ротаметра с изогнутой по дуге циклоиды трубкой (1) и чувствительным элементом (2): а — основной элемент; б — к расчету угла наклона оси потока к горизонту.

диаметр круга, точка М которого при качении по горизонтальной прямой АВ описывает дугу циклоиды OMM_0 (рис. 1,б). Дуга циклоиды обеспечивает наиболее изменение угла наклона касательной α и величины расхода в широких диапазонах. Конструкция же расходомера настолько проста, что отдельные элементы его могут быть изготовлены в лабораторных условиях.

Вода в трубки поступала из напорного бака высотой 5,5 м. Трубки подсоединялись к штуцеру напорного бака с помощью резинового шланга и закреплялись под различными углами наклона на специальном стенде. Расход воды изменялся в пределах от 20 до 170 $см^3/с$ и измерялся объемным способом при свободном истечении из трубки в открытый бак с точностью до 1% при уровне значимости 5%. Для исключения влияния местных сопротивлений расчетное сечение, в котором помещался чувствительный элемент (шар), размещалось на расстоянии 50D от входа и выхода потока из трубки.

При испытаниях расходомеров с переменным углом наклона ($\alpha = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90^0$) стеклянной цилиндрической трубки (внутренним диаметром 1,46 см) и с трубкой, изогнутой по дуге циклоиды (внутренним диаметром 1,8 см), изготовленной из поливинилхлорида, получено 86 опытных измерений расхода. При этом для каждого значения величины d/D получено 9 значений расхода. Осредненные значения опытных данных в безразмерных координатах $\varphi \frac{d^2}{D^2}$ и $\frac{d}{D}$ представлены на рис. 2. При анализе

опытных данных установлено, что значения коэффициента К в формулах (6) и (7) оказались равными: для расходомера с цилиндрической трубкой и с различными углами наклона — 1,22; для расходомера с изогнутой по дуге циклоиды — 1,14.

При сопоставлении опытных и рассчитанных с помощью формулы (7) данных (см. рис. 2), оказалось, что погрешности при расчетах расхода по показаниям чувствительного элемента (шара) в цилиндрических наклонных и изогнутых по дуге циклоиды трубках-расходомерах не превысят 1%.

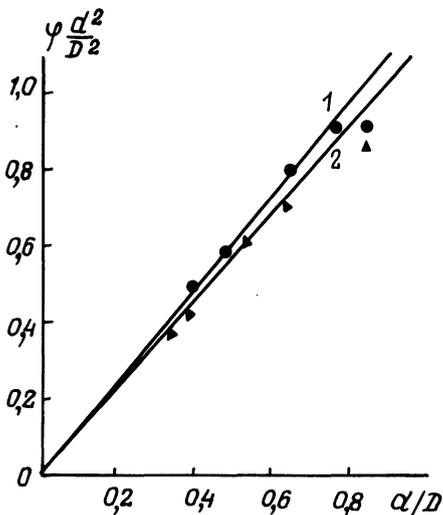


Рис. 2. График зависимости $\psi \frac{d^2}{D^2} = f\left(\frac{\alpha}{D}\right)$ при измерениях расхода с помощью ротаметра с наклонной трубкой (1) и с трубкой, изогнутой по дуге циклоиды (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Расходомеры для систем водоснабжения и канализации. — М., 1976. 2. Каратаев Р.Н., Копырин М.А. Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры). — М., 1980. 3. Кравцов М.В. Гидравлика зернистых материалов. — Минск, 1980.

УДК 626.88

Д.А.КОЗЛОВ, канд.техн.наук, зав.каф.,
И.М.ШАТАЛОВ, ассист. (БПИ),

А.Ф.АВДОНЬКИН, канд.техн.наук, доц. (БПИ)

ПИРАМИДАЛЬНЫЙ РЫБОЗАГРАДИТЕЛЬ С КАЧАЮЩИМИСЯ ФЛЕЙТАМИ

Разработка мероприятий по предупреждению попадания молоди рыб в водозаборные сооружения в условиях интенсивного водохозяйственного строительства в нашей стране является актуальной задачей. За последние два десятилетия разработаны десятки конструкций рыбозащитных устройств для водозаборов с различной пропускной способностью [1].

Основными недостатками имеющихся установок являются громоздкость, сложность конструкции и, как следствие, — низкая надежность. Частично это устранено в рыбозаградительном устройстве [3], которое включает в себя фильтр, изготовленный в виде каркаса, обтянутого сетками, при-