УДК 681.121.4+681.121.8(035)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ РАСХОДА

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE FLOW CONVERTER

Нестеров Сергей Владимирович
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники,
Кубанский государственный технологический университет
nesterov@kubstu.ru

Гостев Дмитрий Алексеевич
студент,
Кубанский государственный технологический университет
dimon-vizitor@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований на лабораторной установке преобразователя расхода в виде диафрагмы. В ходе эксперимента была получена расходная характеристика диафрагмы в виде зависимости расхода воды через диафрагму от перепада давления на ней. Она аппроксимирована традиционным уравнением расхода. Коэффициенты этого уравнения определены методом наименьших квадратов.

Ключевые слова: измерение расхода, сужающее устройство, диафрагма, перепад давления, расходная характеристика, аппроксимация, метод наименьших квадратов.

Nesterov Sergej Vladimirovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Thermal Power Engineering
and Thermal Engineering,
Kuban State University of Technology
nesterov@kubstu.ru

Gostev Dmitry Alekseevich
Student,
Kuban State University of Technology
dimon-vizitor@yandex.ru

Annotation. The paper presents the results of experimental studies on a laboratory installation of a flow converter in the form of a diaphragm. During the experiment, the flow characteristic of the diaphragm was obtained as a function of the water flow through the diaphragm and the pressure drop across it. This characteristic was approximated using the traditional flow equation. The coefficients of this equation were determined using the least squares method.

Keywords: flow measurement, constriction device, diaphragm, pressure drop, flow characteristic, approximation, least squares method.

В основе широко распространенного метода измерения объемного расхода Q по перепаду давления на сужающем устройстве лежит известное уравнение расхода [1, 2]:

$$Q = \alpha\varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P}, \tag{1}$$

где α – коэффициент расхода; ε – коэффициент расширения; d – диаметр отверстия сужающего устройства при рабочей температуре среды; ρ – плотность среды в рабочих условиях; ΔP – перепад давления на сужающем устройстве.

В качестве сужающих устройств для измерения расхода жидкостей и газов используются диафрагмы, сопла и значительно реже сопла Вентури.

При неизменных условиях измерений объемный расход зависит только от перепада давления на сужающем устройстве:

$$Q = K\sqrt{\Delta P}, \tag{2}$$

где K – постоянный коэффициент для данного типа и условий применения сужающего устройства.

Это позволяет градуировать шкалу дифференциального манометра, измеряющего перепад давления на сужающем устройстве, в единицах объемного расхода.

Сужающие устройства подразделяются на стандартные и нестандартные. Для стандартных сужающих устройств трубопроводов диаметром D ≥ 50 мм значение коэффициента K может быть определено расчетным путем. Для трубопроводов же диаметром D < 50 мм коэффициент K рассчитать невозможно, поэтому он определяется экспериментально для каждого сужающего устройства (в связи с этим такие устройства называются нестандартными) [3].

Индивидуальная градуировка (определение расходной характеристики) сужающего устройства проводится и в случае, когда нет уверенности в достоверности принятых расчетных коэффициентов расхода α [4].

В статье представлены результаты исследований, проведенных студентами Кубанского государственного технологического университета, обучающимися по образовательной программе направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, при выполнении лабораторной работы «Измерение расхода» по дисциплине «Метрология, теплотехнические измерения и автоматизация» на кафедре теплоэнергетики и теплотехники. Целью выполнения этой работы является формирование у обучающихся компетенций, необходимых для измерения расхода жидких сред в системах теплоэнергоснабжения. Один из пунктов программы данной лабораторной работы предусматривает экспериментальное определение статической (расходной) характеристики сужающего устройства – диафрагмы.

Исследования проводились на лабораторном стенде (типовом комплекте учебного оборудования «Измерительные приборы давления, расхода, температуры») производства ООО НПП «Учебная техника – Профи» [5]. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.

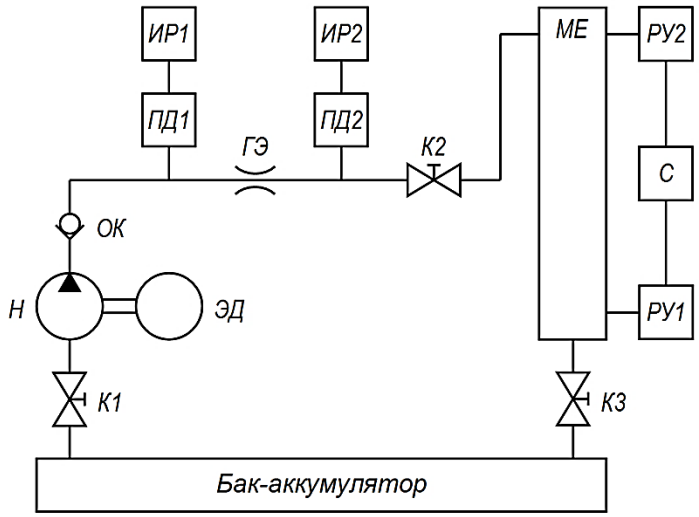

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Объектом исследования является преобразователь расхода – сужающее устройство в виде диафрагмы, установленной в гидроэлементе ГЭ лабораторной установки (рис. 1). Подача воды в ее гидросистему осуществляется из бака-аккумулятора через кран К1 насосом Н, снабженным электродвигателем ЭД. Через обратный клапан, гидроэлемент ГЭ, кран К2 вода поступает в мерную емкость МЕ. При опорожнении этой емкости вода через кран К3 сливается в бак-аккумулятор.

Мерная емкость МЕ предназначена для измерения расхода воды объемным методом. Для этого в ней установлены два реле уровня РУ1 и РУ2, расстояние между отметками срабатывания которых при изменении уровня воды в емкости соответствует объему поступившей в нее воды 3,9 л. При заполнении мерной емкости водой по мере возрастания ее уровня нижнее реле уровня РУ1 срабатывает и запускает отсчет времени секундомером С, а верхнее реле уровня РУ2, срабатывая, его останавливает. Так осуществляется автоматическое измерение интервала времени, в течение которого в мерную емкость поступил известный объем воды 3,9 л, расход которой определяется. В качестве секундомера С применяется счетчик импульсов типа «ОВЕН» СИ8.

Для измерения перепада давления на диафрагме перед и за ней установлены тензометрические преобразователи давления типа «ОВЕН» ПД100-ДИ соответственно ПД1 и ПД2, которые подключены к микропроцессорным одноканальным измерителям-регуляторам типа «ОВЕН» ТРМ1 соответственно ИР1 и ИР2. Названные преобразователи давления подсоединены к гидроэлементу ГЭ гибкими трубопроводами через быстроразъемные соединения.

Расходная характеристика диафрагмы Qэ = $f(\Delta P)$ определена экспериментально в результате измерений установившихся значений перепада давления на ней ΔP при различных установившихся значениях объемного расхода воды Qэ, которые устанавливались изменением положения крана К2. При этом значения объемного расхода воды определялись по результатам измерений секундомером С интервала времени Δt, в течение которого объем поступающей в мерную емкость воды увеличился на ΔV, по формуле:

$$Q_э = \frac{\Delta V}{\Delta t}. \quad (3)$$

Результаты определения объемного расхода воды через диафрагму представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментального определения расходной характеристики диафрагмы

ΔV, л	Δt, мин	$Q_э$, л/мин	$P_{ИР1}$, кПа	$P_{ИР2}$, кПа	ΔP, кПа
3,9	0,55	7,09	32,5	10,4	22,1
3,9	0,59	6,61	32,8	13,1	19,7
3,9	0,62	6,29	33,7	15,9	17,8
3,9	0,67	5,82	34,6	19,2	15,4
3,9	0,72	5,42	35,1	21,8	13,3
3,9	0,80	4,88	36,2	25,2	11,0
3,9	0,91	4,29	36,7	27,7	9,0
3,9	0,99	3,94	37,6	30,1	7,5
3,9	1,16	3,36	38,9	33,8	5,1
3,9	1,53	2,55	40,7	36,5	4,2

Значения перепада давления на диафрагме ΔP определялись по разности показаний приборов ИР1 ($P_{ИР1}$) и ИР2 ($P_{ИР2}$):

$$\Delta P = P_{ИР1} - P_{ИР2}. \tag{4}$$

Результаты этого определения представлены в таблице 1.

Экспериментальная расходная характеристика диафрагмы $Q_э = f(\Delta P)$ изображена на рисунке 2 в виде совокупности точек, координаты которых (ΔP, $Q_э$) представлены в таблице 1.

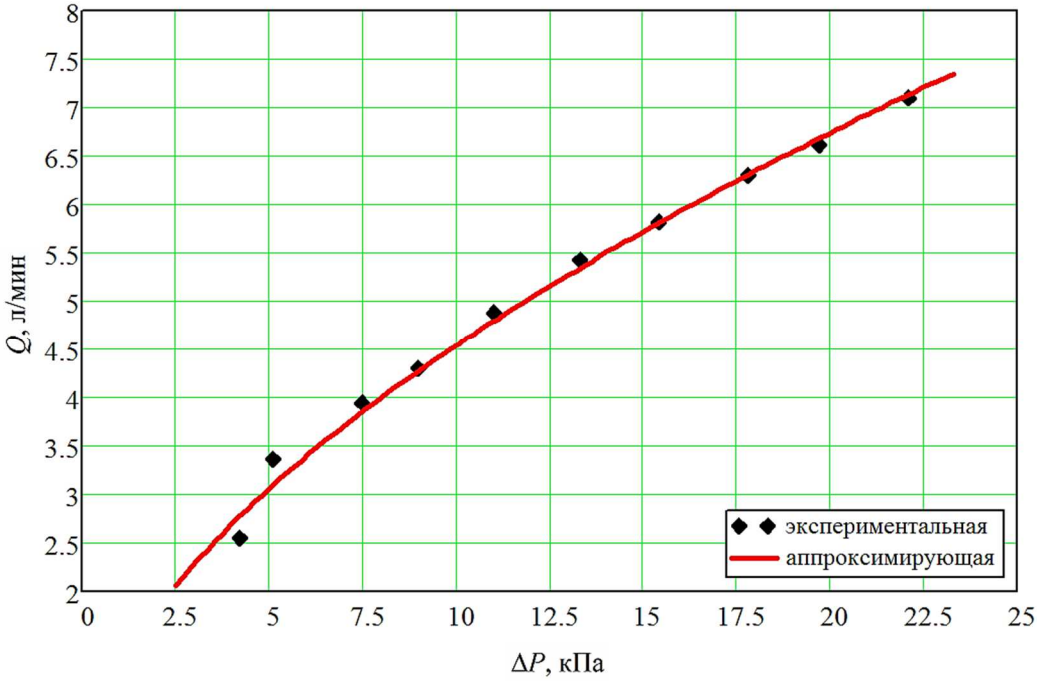

Рисунок 2 – Экспериментальная и аппроксимирующая расходные характеристики преобразователя расхода (диафрагмы)

Эта характеристика аппроксимируется уравнением расхода (2), записанном в виде:

$$Q = K\Delta P^m, \tag{5}$$

которое предварительно с помощью преобразований:

$$y = \ln(Q);\ x = \ln(\Delta P);\ a = \ln(K);\ b = m$$

приводится к линейному виду:

$$y = a + bx. \tag{6}$$

Оценки неизвестных параметров a и b уравнения (6) определены методом наименьших квадратов:

$$a = 0{,}20; \qquad b = 0{,}57.$$

В результате этого аппроксимирующее уравнение (5) при:

$$m = b = 0{,}57; \qquad K = e^{a} = 1{,}22\ \text{л}/(\text{мин} \cdot \text{кПа}^{0{,}57})$$

принимает вид:

$$Q_{\text{а}} = 1{,}22 \Delta P^{0{,}57}. \tag{7}$$

Аппроксимирующая расходная характеристика диафрагмы $Q_{\text{а}}$ = f(ΔP) построена по уравнению (7) на рисунке 2.

Список литературы:

1. Нестеров С.В. Нефтегазопромысловые технологи ческие измерения и приборы : учеб. пособие / С.В. Нестеров, А.В. Нестеров; Кубан. гос. технол. ун-т. – Краснодар : Изд. ГОУВПО «КубГТУ», 2010. – 315 с.
2. Общая энергетика / В.В. Шапошников [и др.]. – Краснодар : Кубанский государственный технологический университет, 2020. – 287 с.
3. Кузнецов Н.Д. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам : учеб. пособие для вузов / Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. – 2-е изд., доп. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 328 с.
4. Чистяков С.Ф. Теплотехнические измерения и приборы : учеб. пособие для вузов / С.Ф. Чистяков, Д.В. Радун. – М. : «Высшая школа», 1972. – 392 с.
5. Типовой комплект учебного оборудования «Измерительные приборы давления, расхода, температуры». Руководство по эксплуатации ИПДРТ-01-00.000.000 РЭ. – Челябинск : ООО НПП «Учебная техника – Профи», 2016. – 19 с.

List of references:

1. Nesterov S.V. Oil and Gas Field Technological Measurements and Instruments : textbook / S.V. Nesterov, A.V. Nesterov Kuban State Technological University. – Krasnodar : Kuban State Technological University, 2010. – 315 p.
2. General Energetics / V.V. Shaposhnikov [et al.]. – Krasnodar : Kuban State Technological University, 2020. – 287 p.
3. Kuznetsov N.D. Collection of problems and questions on heat engineering measurements and devices : textbook for universities / N.D. Kuznetsov, V.S. Chistyakov. – 2nd edition, additional. – M. : Energoatomizdat, 1985. – 328 p.
4. Chistyakov S.F. Heat engineering measurements and devices : textbook for universities / S.F. Chistyakov, D.V. Radun. – M. : «Higher school», 1972. – 392 p.
5. Typical set of training equipment «Measuring devices of pressure, flow, temperature». IPDRT-01-00.000.000 RE instruction manual. – Chelyabinsk : LLC NPP «Training equipment – Profi», 2016. – 19 p.