



SELECTION OF SOME DESIGN PARAMETERS OF A THERMAL FUEL FLOWMETER TO REDUCE MEASUREMENT ERROR

ВЫБОР НЕКОТОРЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООВОГО РАСХОДОМЕРА ТОПЛИВА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Ichenko A.V. / Ильченко А.В.

State University "Zhytomyr Polytechnic"

Государственный университет «Житомирская политехника»

Аннотация. В статье проанализировано влияние некоторых конструктивных параметров теплового расходомера на его радиальный и осевой тепловые потоки в трубке (диаметр трубки, диаметр нагревателя и их соотношение, теплопроводность материала трубки). Приведены соотношения диаметра трубки к диаметру нагревателя расходомера для различных по теплопроводности материалов трубки при минимальном их влиянии на погрешность измерения расхода топлива.

Ключевые слова. Тепловой поток, тепловой расходомер, расход топлива, конструктивный коэффициент, теплопроводность, коэффициент теплопроводности

Введение

Расход жидких топлив занимает первое место в себестоимости перевозок на транспорте, поэтому его учет не вызывает сомнений. Он достигается разработкой и внедрением специальных приборов – расходомеров. В силу специфики работы транспорта, наиболее предпочтительно использовать тепловые расходомеры, отдельные сведения о которых существуют, но в целом можно утверждать, что систематизированная информация по использованию термоанемометрии для определения расходов топлива на транспорте только начинает появляться.

В предыдущих работах было показано, что для работы на транспорте один из самых перспективных является расходомер [1-3]. На данном этапе представляется необходимою реализация его преимуществ и использование дополнительных путей уменьшения погрешности измерения расходов топлива.

Цель данной работы: определить влияние некоторых конструктивных параметров теплового расходомера (материала трубки, диаметров трубки и нагревателя), учитываемых при его проектировании, для уменьшения погрешности измерения расхода нефтяных и смесевых топлив для двигателей внутреннего сгорания.

Параметром движения потока жидкости является количество вещества, протекающего через известное сечение трубопровода за единицу времени и общее количество перенесенного вещества (полный расход).

В трубках тепловых расходомеров (калориметрических и термоанемометрических) измеряют передачу тепла в осевом направлении (рис. 1). Однако, не следует забывать, что она существует также и в радиальном направлении. При этом оба переноса тепла являются взаимосвязанными и взаимовлияющими. Для определения параметров движения топлива анализируют распределение температур вдоль оси трубки расходомера [4-8].

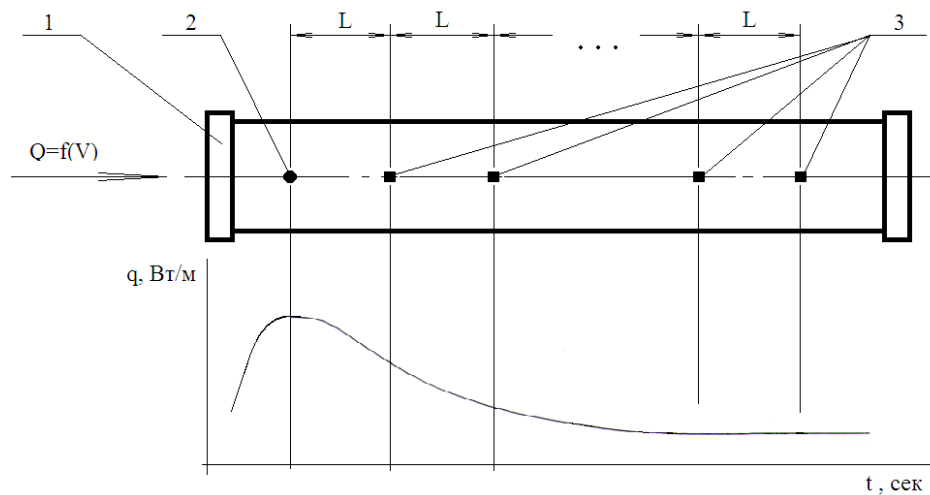


Рис. 1. Передача тепла в осевом направлении трубки теплового расходомера: 1 - трубка; 2 - нагреватель; 3 - термопреобразователи; Q - расход топлива л/с; V - скорость потока топлива, м/с; L - расстояние между нагревателями, м; q - тепловой поток, Вт/м

Известно, что линейная плотность теплового потока (радиальный тепловой поток) в трубке расходомера с цилиндрической стенкой можно определить, Вт/м [5, 7]:

$$g_1 = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \times \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} \times (t_1 - t_2) \quad (1)$$

где d_1 – диаметр нагревателя, м;

d_2 – внешний диаметр трубки расходомера, м.

t_1, t_2 – температура нагревателя и внешней поверхности трубки расходомера (при отсутствии теплоизоляции трубки равняется температуре окружающей среды), °К;

λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности топлива и материала трубки расходомера, Вт/(м·К).

В первую дробь (1) входят только конструктивные параметры трубки расходомера (внешний диаметр d_2 и диаметр нагревателя d_1), поэтому его называют конструктивным коэффициентом трубки теплового расходомера [5, 7]:

$$K_k = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \quad (2)$$

Из (2) нетрудно установить, что на радиальный тепловой поток g_1 не влияет диаметр трубки теплового расходомера, если

$$\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) = 2\pi \quad (3)$$

или отношение наружного диаметра трубки расходомера к диаметру нагревателя:

$$\frac{d_2}{d_1} = e^{2\pi} \approx 534 \quad (4)$$

Из (4) следует, что радиальный тепловой поток теплового расходомера с



цилиндрической стенкой (линейная плотность теплового потока) не зависит от толщины стенки его трубки он существенно уменьшается с приближением конструктивного коэффициента трубки расходомера к единице, что можно достичь увеличением величины d_2/d_1 . Отсюда можно сделать вывод, что для уменьшения влияния радиального теплового потока в тепловом расходомере на осевой тепловой поток (уменьшение погрешности измерения расхода топлива) необходимо уменьшать диаметр нагревателя и увеличивать диаметр трубки. При этом дальнейшее увеличение отношения d_2/d_1 в (4) больше значения 534 приведет к отрицательным значениям коэффициента K_k и снова к росту погрешности измерений.

На практике обеспечить отношение d_2/d_1 равным 534 не представляется удобным для использования на транспорте, но для уменьшения погрешности измерений расходов топлива можно предложить тонкий проволочный нагреватель, расположенный вдоль оси трубки расходомера.

Вторая дробь в (1) связана с радиальной теплопроводностью трубки расходомера и называется коэффициентом радиальной теплопроводности трубки теплового расходомера [5, 7]:

$$K_{PT} = \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} \quad (5)$$

Поскольку величина теплопроводности топлива на несколько порядков меньше теплопроводности материала трубки расходомера (табл. 1), ее влиянием на передачу тепла в радиальном направлении, а следовательно и на погрешность измерений расходов можно пренебречь.

Таблица 1

Теплопроводность нефтяных топлив и различных материалов трубки теплового расходомера, $t=20$ °C [9, 10]

№ п/п	Вещество/материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
<i>Топливо</i>		
1	Бензин	0,106
2	Дизельное топливо	0,108
3	Керосин	0,109
4	Сырая нефть	0,114
<i>Металл</i>		
1	Монель: Cu 12%+ Fe 25%+ інші 63%	14,9
2	Латунь	110
3	Дюралюминий	160
4	95% Al +3-5% Cu + 0,5% Mg	181
<i>Другие</i>		
1	Стекловолокно	0,036
2	Пеностекло легкое/тяжелое	0,06/0,08
3	Мипор	0,085
4	Резина	0,15
5	Эбонит	0,16
6	Фторопласт Ф-5	0,25
7	Стеклотекстолит	0,3



Из табл. 1 видно, что среднее значение теплопроводности разных топлив равно 0,11 Вт/(м·К). Также можно определить, что если в качестве материала трубки использовать, например, эбонит (0,16 Вт/(м·К)), коэффициент радиальной теплопроводности трубки теплового расходомера $K_{рт}$ будет равен 0,0652. Аналогично, если использовать трубку с более высокой теплопроводностью, например из монеля (14,9 Вт/(м·К)), коэффициент $K_{рт}$ увеличится до 0,1092. Сплав металлов 95%Al+3-5%Cu+0,5%Mg с еще более высокой теплопроводностью (181 Вт/(м·К)) уже даст значение $K_{рт} = 0,1099$.

Для исключения влияния теплопроводности материала трубки расходомера на радиальный тепловой поток (то есть на погрешность измерения расхода) необходимо с помощью (5) найти такое значение коэффициента теплопроводности материала трубки, при котором $K_{рт} = 1$. Расчет показывает, что такая ситуация невозможна из-за отсутствия таких материалов в природе, то есть полное устранение радиальной передачи тепла в трубке теплового расходомера выбором материала трубки невозможно, в том числе использованием наружной теплоизоляции трубки расходомера поскольку температура нагревателя всегда больше температуры окружающей среды (температуры изоляции).

Уменьшить совместное влияние коэффициентов K_k и $K_{рт}$ на радиальный тепловой поток можно, приравняв их произведение к единице:

$$\frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} = 1 \quad (6)$$

С помощью (6) установлены отношения d_2/d_1 по условию минимального влияния теплопроводности трубки на радиальный тепловой поток (погрешность измерения расходов) нефтяных топлив (табл. 2).

Таблица 2

Выбор геометрических параметров и материала трубки теплового расходомера

Материал	Теплопроводность, Вт/(м·К)	d_2/d_1
Эбонит	0,16	1,507
Фторопласт Ф-5	0,25	1,62
Гипотетические материалы (с допустимой теплопроводностью)	2	1,92
	6	1,97
	10	1,98
	12	1,984
Монель	14,9	1,99
Гипотетические материалы (с допустимой теплопроводностью)	50	1,99
	100	1,99
95% Al + 3-5% Cu + 0,5% Mg	181	1,99
Гипотетические материалы (с допустимой теплопроводностью)	250	1,99
	300	1,99

Зависимость геометрических параметров трубки теплового расходомера от материала трубки при условии минимального влияния на радиальный тепловой



поток (погрешность определения расхода топлива) приведена на рис. 2.

Таким образом, для уменьшения влияния радиального теплового потока на осевой тепловой поток (на погрешность измерения расхода топлива) необходимо выбирать такие конструктивные параметры (материал и диаметр трубки теплового расходомера, диаметр нагревателя), чтобы отношение d_2/d_1 соответствовало материалу трубки теплового расходомера.

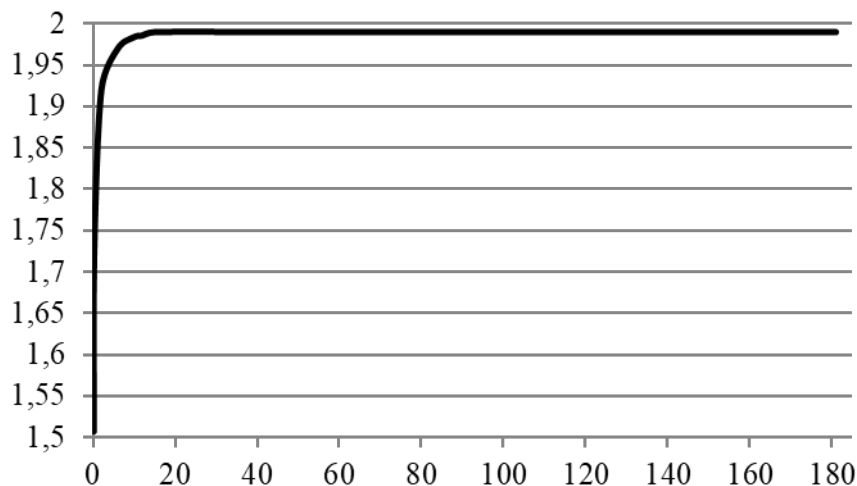


Рис. 2. Зависимость d_2/d_1 (отношение наружного диаметра трубки расходомера к диаметру нагревателя) от коэффициента теплопроводности различных материалов при условии малейшего влияния на радиальный тепловой поток

Анализ рис. 2 показывает, что отношение d_2/d_1 для материалов с коэффициентом теплопроводности $0,16 \dots 12$ Вт/(м·К) должно находиться в пределах $0,507 \dots 1,984$, что уменьшит влияние радиального теплового потока на осевой. В зависимости от значений коэффициентов теплопроводности материала трубки теплового расходомера отношение d_2/d_1 должно изменяться согласно формулам, полученным на основе рис. 2 (табл. 3).

Таблица 3

Зависимости изменения d_2/d_1 от теплопроводности материала трубки теплового расходомера (при условии уменьшения влияния его радиального теплового потока на осевой тепловой поток)

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Зависимость (значение)	Достоверность аппроксимации, R^2
0,16...6	$d_2/d_1 = 0,1182 \ln(\lambda_2) + 1,7959$	0,9
6...12	$d_2/d_1 = 0,0028 \lambda_2 + 1,954$	0,95
>12	$d_2/d_1 = 1,99$	-

Для проверки влияния диаметра нагревательного элемента на погрешность измерения расхода топлива был разработан и изготовлен макетный образец теплового расходомера (рис. 3.). Он устанавливался в топливную магистраль автомобиля, параллельно измерялся расход топлива и объемным способом. Данные от расходомера через аналогово-цифровой преобразователь выводились



на персональный компьютер и обрабатывались программным комплексом Registrator Viewer.

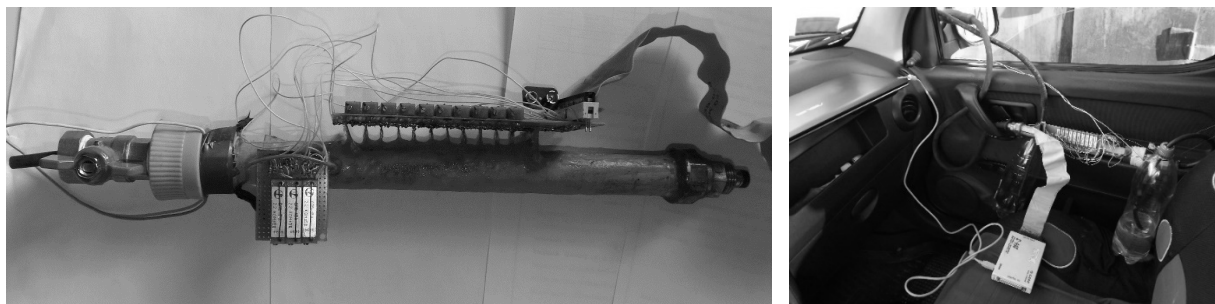


Рис. 3. Тепловой расходомер и его установка на автомобиле

В первом случае в качестве нагревательного элемента использовался нихром Х20Н80 в виде цилиндрической катушки диаметром 10 мм. Во втором - нихромовый нагревательный элемент устанавливался соосно с трубкой расходомера. Проверка изменения погрешности измерений расхода топлива тепловым расходомером непосредственно на автомобиле при использовании нагревательных элементов разных диаметров показала, что с уменьшением диаметра нагревательного элемента в указанных пределах погрешность измерения расхода топлива уменьшилась в 1,2...1,4 раза.

Выводы

В работе показано, что для уменьшения погрешности измерения расхода топлива вследствие уменьшения влияния радиального теплового потока в тепловом расходомере на осевой тепловой поток (без учета теплопроводности топлива и материала трубки расходомера) необходимо уменьшать диаметр нагревателя и увеличивать диаметр трубки теплового расходомера.

Получены зависимости отношения диаметра трубки к диаметру нагревателя теплового расходомера для материалов трубки различной теплопроводности, позволяющие уменьшить влияние радиального теплового потока на осевой, что даст в конечном счете уменьшение погрешности измерения расхода топлива.

Литература:

1. Безвесільна О.М. Високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації / О.М. Безвесільна, Ільченко А.В., Подчашенський Ю.О., Шавурський Ю.О // Патент на винахід № 90985, МПК (2009) F02M 5/00. Заявлено 19.10.09, надрук. 10.06.10., бюл. № 11
2. Korobiichuk, I. Calorimetric flow meter of motor fuel with inlet temperature regulation Korobiichuk, I., Bezvesilna, O., Ilchenko, A., ...Nowicki, M., Szewczyk, R. 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2017, 2017, 2017-January, стр. 975–979
3. Korobiichuk, I. Thermoanemometric flowmeter of biofuels for motor transport / Korobiichuk, I., Bezvesilna, O., Ilchenko, A., Trostenyuk, Y. // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, 519, стр. 443–448.
4. Безвесільна О.М. Методи вимірювання витрат рідини та конструкції



витратомірів / О.М. Безвесільна, А.В. Ільченко, А.Г. Ткачук, С.О. Пархоменко // Вісник Інженерної академії України, 2013, Випуск 3-4, стор. 216-222.

5. Bezvesilna, O. Heat transfer in the thermo-anemometric flowmeter for biofuels / Bezvesilna, O., Kamiński, M., Ilchenko, A. // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, 550, стр. 505–511

6. Тростенюк, Ю. В. Моделювання осевого теплового потоку трубки термоанемометричного витратоміра біопалив [Текст] / Ю. В. Тростенюк, О. М. Безвесільна, А. В. Ільченко // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – 2014. – № 46. – С. 538-545.

7. Ільченко А. В Зміна радіального теплового потоку термоанемометричного витратоміра біопалив двигуна внутрішнього згоряння [Текст] / А. В. Ільченко, О. М. Безвесільна, Ю. В. Тростенюк // Вісник НТУ. – 2013. – № 28. – С. 186-191.

8. Korobiichuk, I. A mathematical model of the thermo-anemometric flowmeter / Korobiichuk, I., Bezvesilna, O., Ilchenko, A., ...Nowicki, M., Szewczyk, R. // Sensors (Switzerland), 2015, 15(9), стр. 22899–22913, 097

9. <http://thermalinfo.ru/svoystva-zhidkостей/toplivo-i-masla/svoystva-topliva-i-masel>

10. <https://www.google.com/search?q=chrome.1.69i57j0l9.11356j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

11. <http://www.xiron.ru/content/view/58/28/>

Abstract. The article analyzes the influence of some design parameters of a thermal flow meter on its radial and axial heat fluxes in the tube (tube diameter, heater diameter and their ratio, thermal conductivity of the tube material). The ratios of the tube diameter to the flowmeter heater diameter are given for tube materials of different thermal conductivity with their minimal effect on the fuel consumption measurement error.

Keywords. Heat flow, heat flowmeter, fuel consumption, design coefficient, thermal conductivity, thermal conductivity coefficient