

Павел Юрьевич МИХАЙЛОВ¹
Александр Владимирович КУРАХ²

УДК 681.125

МЕТОДИКА УЧЕТА НАЛИЧИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НАКИПИ НА ПОКАЗАНИЯ ТЕПЛОСЧЕТЧИКА

¹ кандидат физико-математических наук, доцент,
кафедра механики многофазных систем,
Физико-технический институт,
Тюменский государственный университет
pav84369437@yandex.ru

² магистр, Тюменский государственный университет
sashakurax@gmail.com

Аннотация

Рассмотрена проблема некорректной работы теплосчетчика, обусловленной недостоверным измерением фактической температуры неизотермического потока теплоносителя, что было вызвано отложением накипи на поверхности гильзы датчика температуры. Приведена методика расчета, позволяющая оценить время, необходимое для достоверного определения фактической температуры теплоносителя с учетом толщины слоя образующейся накипи и ее теплофизических свойств. Описанная методика построена на решении нестационарного уравнения теплопроводности методом контрольного объема с учетом радиальной симметрии задачи. На примере часто используемого в составе теплосчетчика термометра сопротивления (ТСП-5071) построены кривые инерционности температуры и оценены экономические убытки для различных толщин сульфатной накипи.

Ключевые слова

Узел учета тепловой энергии, теплосчетчик, гильза, накипь, температура.

Цитирование: Михайлов П. Ю. Методика учета наличия отложений накипи на показания теплосчетчика / П. Ю. Михайлов, А. В. Курах // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2016. Т. 2. № 1. С. 34-41.

DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-34-41

DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-34-41

Теплосчетчик представляет собой комплекс средств измерений, предназначенный для анализа, полученного от источника тепла и измерения массы и параметров теплоносителя (рис. 1). Одной из важных составляющих теплосчетчика является первичный преобразователь температуры, установленный в защитную гильзу, врезанную в трубопровод. В процессе эксплуатации в зависимости от химического состава теплоносителя на гильзе образуется и постепенно нарастает слой накипи, что приводит к некорректному определению фактической температуры нестационарного потока [1] и, как следствие, неправильному подсчету тепловой энергии.

Разработанная методика расчета позволяет оценить отклонение температуры, определяемое по датчику от фактической в зависимости от геометрических параметров в системе «теплоноситель — накипь — защитная гильза — тело датчика температуры» и их теплофизических свойств.



Рис. 1. Теплосчетчик на узле коммерческого учета

Методика расчета

Сделаем поперечный разрез гильзы теплосчетчика и воспользуемся методом контрольных объемов, тем самым разбив площадь сечения на участки (слои) R , где значения R в метрах — это толщины составляющих материалов гильзы и накипи, а именно: R_1 — оксид алюминия (керамика), R_2 — оболочка медь (латунь), R_3 — гильза, R_4 — накипь; λ — коэффициент теплопроводности [Вт/м·град]; ρ — плотность [кг/м³]; C — удельная теплоемкость [ккал/кг·град] (рис. 2).

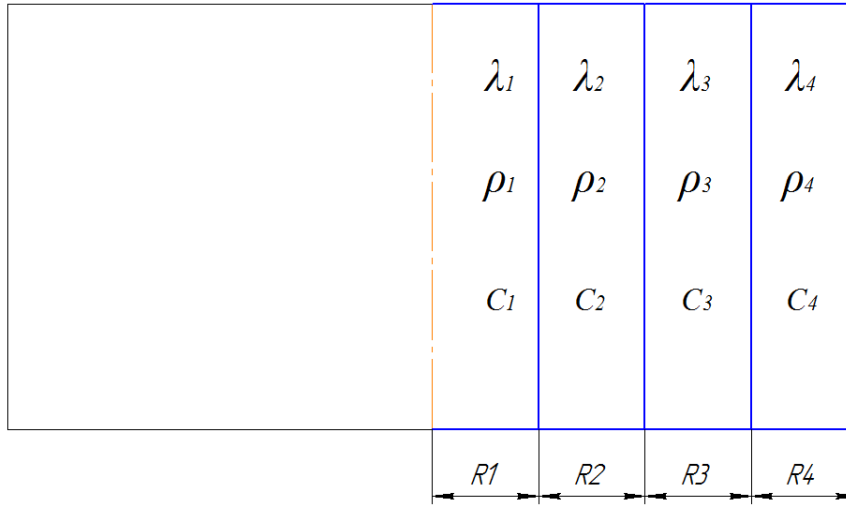


Рис. 2. Участок разреза гильзы с разбивкой на слои

Ниже представлена таблица значений коэффициентов теплопроводности и удельных теплоемкостей в зависимости от вида накипи и состава, из которой в дальнейшем мы возьмем данные для решения задачи о влиянии того или иного вида накипи [2].

Таблица 1

Значения коэффициентов теплопроводности и удельных теплоемкостей в зависимости от вида накипи и состава

Вид накипи	Состав	Удельная теплоемкость C_{yo} , ккал/(кг·град)	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·град)
Карбонатная	CaCO_3 (Арагонит, кальцит)	0,186	0,58-0,7
	MgSO_3 (Магнезит)	0,206	
Сульфатная	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Гипс, селенит)	0,251	0,291
Силикатная	Кремнекислые соединения кальция, магния, железа и алюминия	-	0,058-0,233

Для одномерного объекта толщиной L — это баланс тепла за некоторый интервал времени $[\tau_1, \tau_2]$:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} [q_1(\tau) - q_2(\tau)] d\tau = C \int_0^L t(x, \tau) dx \Big|_{\tau_1}^{\tau_2}, \quad (1)$$

где $q_1(\tau)$, $q_2(\tau)$ — тепловые потоки на противоположных гранях образца, а C — объемная теплоемкость.

Исходя из адекватности данного уравнения, из него можно получить расчетную формулу для определения объемной теплоемкости, которая используется в методе измерения данной величины:

$$C = 2 \int_0^{\tau_y} [q_1(\tau) - q_2(\tau)] d\tau + t_2(\tau_y) / [L(\tau_y) + t_2(\tau_y)], \quad (2)$$

где $t_1(\tau)$ и $t_2(\tau)$ — температура на противоположных гранях образца, а t_y — время, начиная с которого обеспечивается достаточная точность определения средней на интервале $[0, L]$ температуры по двум точкам. Достоинством данного подхода является отсутствие необходимости определения температурного поля модели объекта путем решения краевой задачи, что автоматически снимает все проблемы математического и технического характера, связанные с этим. Вместе с тем ограниченность интегральной формы (1), связанная с ее структурой и малым числом коэффициентов, определяющих тепловые свойства, ограничивает ее применимость [4].

В связи с этим возникает потребность поиска более информативного интегрального представления уравнения теплопроводности. Такое уравнение можно получить из интегральной формы (1), записанной для интервала с переменной правой границей, путем интегрирования ее по данной переменной в пределах заданных границ. В результате такого преобразования для одномерного объекта в прямоугольной системе координат получим интегральную форму следующего вида:

$$LQ(0, \tau)|_0^{\tau} = \lambda \int_0^{\tau} [t(0, \tau) - t(L, \tau)] d\tau + C \int_0^L \int_0^{\tau} t(x, \tau) dx d\tau|_0^{\tau}, \quad (3)$$

где $Q(0, \tau)|_0^{\tau}$ — количество тепла, поступившего в одномерное тело через границу с координатой $x = 0$ за интервал времени $[0, \tau]$, а $t(0, \tau)$ и $t(L, \tau)$ — температуры, измеренные в точках $x = 0$ и $x = L$.

Разность температур является величиной пропорциональной средней на отрезке $[0, L]$ плотности теплового потока:

$$t(L) - t(0) = \int_0^L t'_x(x) dx = \lambda/L \cdot \bar{q}^L. \quad (4)$$

В нашем случае $L = R$.

Таким образом, мы получим изменение температуры в зависимости от времени как для датчика, так и фактическую, исключая из расчета R_4 — накипь.

По данной методике расчета был составлен алгоритм и написана программа, в которой можно менять значения плотностей, удельных теплоемкостей, коэффициентов теплопроводностей, а также ширину слоев R . После получения рассчитанных в программе данных, вычисляется энтальпия и тепловая мощность, с помощью которой можно определить переплату за тепло.

Плюс данной математической модели заключается в том, что при смене материала, из которого изготавливается сердечник и гильза, можно изменять

коэффициенты теплопроводности и удельные теплоемкости, а при отсутствии накипи и вовсе исключить слой (участок).

В качестве примера на рис. 3 приведены результаты расчета температур выполненные в программе для датчика ТСП-5071 при различных толщинах сульфатной накипи.

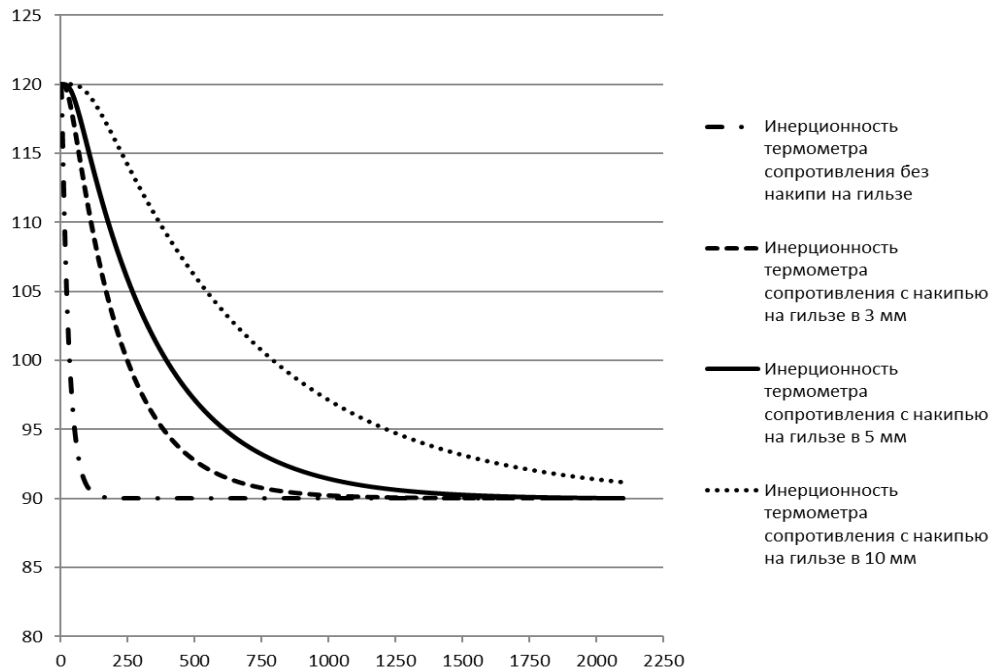


Рис. 3. Инерционность термометра сопротивления при изменении температуры теплоносителя в зависимости от толщины сульфатной накипи

Фактическая температура теплоносителя в падающем трубопроводе за 50 секунд снижалась со 120 до 90 °С. По графику видно, что с повышением толщины накипи время, за которое фиксируемая температура выйдет на действительно значимое значение, стремительно возрастает, так инерционность термометра сопротивления, при слое накипи в 3 мм составляет 16 минут, при 5 мм и 10 мм — 25 мин и 26 мин соответственно, что сильно отличается от заявленных метрологических характеристик прибора (термометр сопротивления в защитной гильзе фиксирует температуру за 2 минуты).

С помощью данных температурных зависимостей можно вычислить, сколько тепловой мощности определяется теплосчетчиком в том или ином случае, для этого рассчитываются энтальпии теплоносителя в падающем — h_1 [Дж/кг] — и обратном — h_2 [Дж/кг] — трубопроводах, также задается расход теплоносителя — G [кг/с]. Тепловая мощность определяется как [3]:

$$Q \text{ [Дж/с]} = (h_1 \text{ [Дж/кг]} - h_2 \text{ [Дж/кг]}) \cdot G \text{ [кг/с]}. \quad (5)$$

Так, в приведенном примере для толщины накипи превышающей 5 мм за время работы 20 мин показания теплосчетчика будут завышены более чем в 1,5 раза. Соответственно, чем чаще происходит изменение температуры в системе теплоснабжения, тем больше расхождения между фактически полученным и рассчитанным теплопотреблением.

С помощью предложенной методики можно определять, какой убыток несет то или иное предприятие, расплачиваясь за тепло, а также какой материал лучше всего подойдет для гильзы теплосчетчика. При решении обратной задачи появится возможность определять, какое количество накипи образовалось на гильзе теплосчетчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Госстрой РФ консорциум «СервисИнжСтрой». Установка приборов коммерческого учета тепловой энергии. Технические решения. Москва, 1998. 15 с.
2. Приказ Госстроя РФ от 6 мая 2000 г. № 105 «Об утверждении Методики определения количеств тепловой энергии и теплоносителей в водяных системах коммунального теплоснабжения». 2000.
3. Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2014.
4. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров: справочник / Х. Уонг. М.: Атомиздат. 1979.

Pavel Yu. MIKHAILOV¹
Aleksandr V. KURAKH²

METHOD OF ACCOUNTING FOR THE PRESENCE OF SCALE DEPOSITS ON HEAT METER READING

¹ Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor,
Department of Multiphase Systems Mechanics,
Institute of Physics and Technology,
Tyumen State University
pav84369437@yandex.ru

² Post-Graduate Student, Tyumen State University
sashakurax@gmail.com

Abstract

The article dwells upon the problem of incorrect operation of the heat meter due to unreliable measurement of the actual temperature of non-isothermal coolant flow caused by scale deposition on the surface of the temperature sensor pocket. The presented design procedure allows to estimate the time required for the reliable determination of the actual flow temperature, accounting for the thickness of calcification and its thermal properties. The described technique is based on the solution of non-stationary heat equation with the help of control volume method accounting for the problem's radial symmetry. On the most frequent example in the composition of the heat meter resistance thermometers (RTD-5071) the curves of the temperature inertia are constructed, and economic losses for different thicknesses of sulfate scale are evaluated.

Keywords

Heat accounting unit, heat meter, pocket, scaling, temperature.

DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-34-41

Citation: Mikhailov P. Yu., Kurakh A. V. 2016. "Method of Accounting for the Presence of Scale Deposits on Heat Meter Reading." Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 2, no 1, pp. 34-41.
DOI: 10.21684/2411-7978-2016-2-1-34-41

REFERENCES

1. H. Wong. 1979. Osnovnye formuly i dannye po teploobmenu dlya inzhenerov. Spravochnik [Basic Formulas and Data on Heat Transfer for Engineers. Reference Book]. Moscow: Atomizdat.
2. Izvestija Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. Izvestija Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, no 2. Tula: Tula State University.
3. RF Gosstroy, consortium "ServisInzhStroi." 1998. Ustanovka priborov kommercheskogo ucheta teplovoi energii. Tekhnicheskie resheniya [Installation of Instruments for Commercial Account of Heat. Technical Solutions]. Moscow.
4. RF Gosstroy. Order no 105 of May 6, 2000. "Ob utverzhdenii Metodiki opredeleniya kolichestv teplovoi energii i teplonositelei v vodyanykh sistemakh kommunalnogo teplosnabzheniya" [On Approval of Procedures for Determining the Amount of Heat Energy and Heat Carriers in Water Systems of Public Heat Supply].