

## СНИЖЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДАТЧИКА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

О.В. Воркунов, Р. Г. Тахавутдинов (КГЭУ)

Экспериментальным и расчетным путем проведено исследование влияния формы, материала и способа крепления интеллектуального датчика температуры со встроенным аналого-цифровым преобразователем на дополнительную погрешность измерения при свободной конвекции около вертикальной тепловой панели. Создана автоматизированная система измерения, отображающая в режиме РВ температуру датчика и мощность нагревательного элемента. Путем численного решения фундаментальных уравнений переноса импульса и тепловой энергии получены поля температуры и скорости свободно-конвективного движения воздуха. В результате проведенных исследований найдена наилучшая форма датчика, дающая наименьшую деформацию теплового потока.

### Введение

Расширение сфер использования однопроводных полевых шин в системах автоматизации измерений в промышленности обуславливает необходимость исследований интеллектуальных датчиков, которые находят применение в самых различных областях [1]. Важность адекватного контроля температуры обуславливается также возрастающими требованиями к энергосбережению и необходимостью снижения тепловых потерь [2-4]. Наиболее перспективным направлением является соединение датчиков в однопроводные системы, причем не только линейного, но и древовидного типа. Однако в силу относительно больших размеров интеллектуальных датчиков, а также того, что сам процесс измерения влияет на измеряемый процесс, может резко возрасти дополнительная погрешность, которую производитель датчиков температуры не учитывает. Погрешность измерения температуры, вызванная деформацией поля скорости и теплового потока около датчика особенно существенны при измерении температуры рядом с поверхностями, являющимися источниками тепловой энергии, так как около них происходит резкое изменение температуры в относительно тонком пограничном слое.

В соответствии с этим необходимо решить две задачи: точное определение дополнительной погрешности

и выбор такой геометрии температурных датчиков, которая дает наименьшую деформацию теплового потока и дополнительную погрешность. При проведении экспериментов в качестве первичного преобразователя использован интеллектуальный датчик температуры фирмы Dallas Semiconductor DS18S20.

### Технические характеристики датчика DS18S20

Размер, мм	4x4
Интерфейс	1-проводный
Диапазон питания от линии данных, В	3...5,5
Измерение температуры, °С	-55...125
Тип считывания температуры	9-битное значение
Максимальное время конвертирования аналогового значения в цифровое происходит, мс	750
Основная погрешность измерения, °С	0,5
	в диапазоне температур -10...85 °С.

### Методика исследования

Измерительный стенд представляет собой структуру, состоящую из трех плоских пластин (рис. 1). Средняя пластина является источником однородного теплового потока, то есть внутри нее находится нагревательный элемент, питание которого осуществляется подачей переменного электрического тока через регулятор напряжения, предоставляя возможность изменять мощность. Подаваемое напряжение отслеживается через мультиметр UT170В. Этот мультиметр подключен к первому последовательному порту COM1 ПК через инфракрасный преобразователь, а измеряемое напряжение отображается на мониторе в окне соответствующей программы.

На нагревательной панели расположены шесть датчиков температуры DS18S20. Датчики подключены к играющему роль устройства согласования адаптеру DS9097U, который соединен со вторым последовательным портом ПК COM2 по интерфейсу RS-232. Данные по температуре считываются специальной программой, записываются в соответствующий файл и отображаются на экране монитора в режиме РВ.

При измерении температуры нагревательной панели пластиковый корпус датчика вносит дополнительную погрешность. Устройство датчика позволяет уменьшить его размеры, вплоть до находящейся внутри микросхемы со

Таблица 1. Расхождение температуры по термопаре и датчику

Описание формы и способа крепления	Исходная форма	Со сточенной верхней частью, контакты не прижаты	Со сточенной подложкой (основой), контакты прижаты	Со сточенными подложкой (основой) и верхней частью, контакты прижаты
	а	б	в	г
Геометрия				
Расхождение по температуре, °С	< 10	< 5	< 1	< 1

встроенным аналого-цифровым преобразователем и чувствительным элементом. Для исследования влияния формы датчика на точность измерений эксперимент проводился в стационарном режиме, для нескольких случаев, в диапазоне изменения мощности обогрева 50...500 Вт/м<sup>2</sup>. В ходе исследований сравнивались показания датчика DS18S20 с показаниями тонкой чувствительной терморпары, которая была установлена в то же место (таблица).

а) Первичные измерения проводились без изменения формы корпуса датчика. Проанализировав результаты первичных замеров температуры оказалось, что они явно занижены, т.к. при больших мощностях теплового потока расхождение достигало 10°C. Было предположено, что причина такого расхождения заключалась в пластиковом корпусе датчика, который может деформировать поля скорости и температуры, и к тому же сделан из материала с плохой теплопроводностью.

б) На следующем этапе исследований конструкцию датчика изменили. Была сточена верхняя часть датчика, которая создавала деформацию поля скорости и теплового потока, внося искажения в результаты измерения. Результаты замеров температуры подтвердили, что данная форма датчика остается неидеальной, т.к. разница температур хотя и снизилась до 5°C, что подтверждает верность гипотезы, однако все еще оставалась существенной. Было предположено, что температура чувствительного элемента близка к температуре металлических контактов датчика, которые, в отличие от пластикового корпуса, обладают хорошей теплопроводностью. Поэтому контакты датчика нужно закреплять плотно прижатыми к месту измерения.

в) При следующей серии экспериментов была сохранена верхняя часть датчика, сточена подложка (основа) и плотно прижаты его контакты к теплопередающей поверхности. Как следует из результатов замеров температуры, разница температур стала намного меньше, т.е. температуры отличались на 1°C, что подтверждает верность второй гипотезы.

г) Но идеальная форма датчика и желаемые результаты показаний температуры были достигнуты со сточенной подложкой и верхней частью датчика. При этом контакты датчика также были плотно прижаты к

теплопередающей поверхности. Кроме того, для идеального измерения провода должны быть достаточно тонкими, т.к. большое количество тепловой энергии может уходить по металлическим соединительным проводам, либо воспользоваться перемычкой из тонкого провода между основным соединительным проводом и контактом датчика (для работы использовались медные провода с диаметром 50 мкм). При выполнении всех указанных условий расхождение составило <0,5°C.

Для того чтобы более достоверно установить причины возникших погрешностей измерения температуры, были проведены теоретические расчеты температурного поля для всех перечисленных форм датчика. Современные методы математического моделирования и соответствующие программные комплексы позволяют вычислять поля давления, скорости и температуры на основе численного решения фундаментальных уравнений переноса различных видов субстанций. Одним из таких программных комплексов является PHOENICS, предназначенный для расчета гидродинамики и теплообмена методом конечных объемов. Решалась двумерная задача ламинарного режима движения воздуха в расчетной области.

Виртуальная модель, созданная в PHOENICS, описывает расчетную область экспериментальной геометрической модели (рис. 1). На модели теплопередающая поверхность (1) с однородной плотностью теплового потока расположена между двумя пластинами (2), покрытыми с внутренней стороны алюминиевой фольгой, обладающей приблизительно 95% отражающей способностью. Поскольку тепловой поток от теплопередающей поверхности в обе стороны одинаков, достаточно моделирования только одной половины области. Пластина с алюминиевой фольгой в экспериментальной установке и отвечающая ей адиабатическая поверхность в математической модели введены с целью более точного соответствия условий проведения экспериментальных и теоретических исследований, так как описание инфракрасного излучения

могло столкнуться с трудностями, связанными с влиянием степени черноты тел.

На рис. 2 показана геометрия виртуальной модели. Под воздействием теплового потока от теплопе-

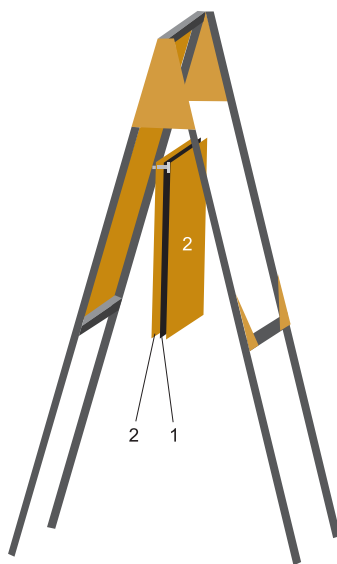


Рис. 1. Экспериментальная геометрическая модель, где 1 – нагревательная панель (размеры 893x574мм) с закрепленными на ней датчиками DS18S20; 2 – отражающие тепловое излучение фольгой



Рис. 2. Геометрия виртуальной модели

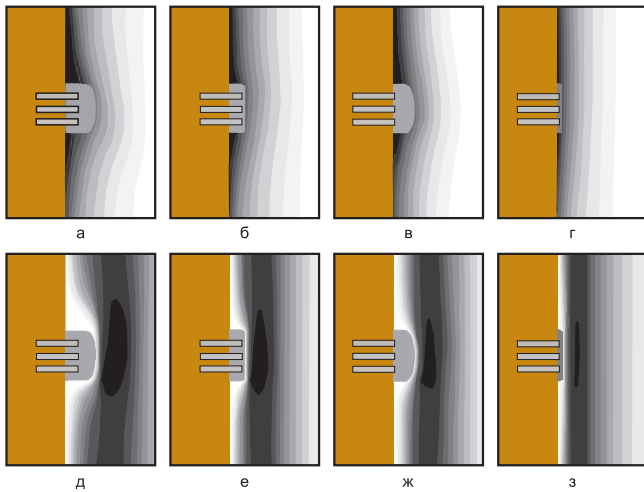


Рис. 3. Сравнение полей скорости и температуры:

- распределение поля температуры (а, б, в, г);

- распределение скорости (д, е, ж, з).

а, д) исходной формы; б, е) со сточенной верхней частью, контакты не прижаты; в, ж) со сточенной подложкой (основой), контакты прижаты; г, з) со сточенными подложкой (основой) и верхней частью, контакты прижаты

редающей поверхности происходит нагрев воздуха в исследуемой области, в результате которого появляется разность плотностей воздушных слоев. Вследствие свободно-конвективного течения теплые воздушные слои занимают более высокое положение, чем холодные.

Постановка граничных условий следующая. На теплопередающей поверхности задан фиксированный однородный тепловой поток. На адиабатической поверхности задан нулевой тепловой поток (по направлению нормали к ней). На твердых поверхностях (теплопередающая и адиабатическая поверхности) задано условие прилипания, т.е. скорость равна нулю. На верхней границе задано избыточное давление равное нулю, а на нижней границе – избыточное давление, определяемое высотой гидростатического столба:  $P = \rho gh$ .

С помощью программного комплекса PHOENICS были рассчитаны поля скорости, давления и температуры для всех четырех форм датчика DS18S20. В качестве примера на рис. 3 приведено распределение полей скорости и температуры при удельном тепловом потоке, равном  $200 \text{ Вт/м}^2$ , для датчика, расположенного на высоте 40 мм от нижнего края тепловой панели. Из рисунка видно, что по мере приближения к теплопередающей поверхности поле скорости в пограничном слое сначала возрастает до максимального значения, а затем быстро убывает до нуля на стенке. Здесь черный цвет соответствует максимальной скорости  $0,41 \text{ м/с}$ . Поле температуры ведет себя не-

сколько иначе. По мере приближения к стенке температура возрастает и достигает максимума на поверхности. Здесь белый цвет – минимальная температура ( $25^\circ\text{C}$ ) на удалении от поверхности, черный – максимальная ( $80,9^\circ\text{C}$ ). Из рисунка видно, что наименьшую деформацию обеспечивает форма датчика со сточенными подложкой и верхней частью (форма г, табл), а наибольшую – с исходной формой корпуса. Расчеты также подтвердили, что закрепление металлических контактов датчика в место измерения позволяет точнее контролировать температуру, т. к. теплопроводность пластикового корпуса и металлических контактов датчика существенно отличаются.

Согласование расчетных и экспериментальных исследований подтверждает правильность предположения о влиянии формы и размера корпуса датчика на поля скорости и температуры, а также то, что температура чувствительного элемента близка к температуре металлических контактов датчика, т.е. контакты датчика нужно закреплять плотно прижатыми к месту измерения. Также большое количество тепловой энергии, уходящее через контакты датчика по соединительным проводам, может приводить к возникновению дополнительной погрешности. Поэтому либо провода должны быть достаточно тонкими, либо нужно воспользоваться перемычкой из тонкого провода, расположив ее между основным соединительным проводом и контактом датчика.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают возможность предсказания дополнительных погрешностей, вызванных искажением температурного поля около датчика, и позволяют проектировать геометрические формы датчика и способы его крепления, которые обеспечивают минимальные погрешности измерения.

#### Список литературы

1. Воркунов О.В., Тахавутдинов Р.Г. Информационно-измерительная система оценки потерь тепловой энергии // Проблемы энергетики. 2004. №11-12.
2. Гашио Е.Г. Козырь А.В. О комплексной оценке эффективности отопительных систем зданий в нерасчетных режимах // Проблемы энергетики. 2003. №3-4.
3. Воркунов О.В., Тахавутдинов Р.Г. Диагностическая оценка потерь тепла в помещениях / Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика, диагностика технических систем, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий. Сборник материалов XVI Всероссийской межвузовской и научно-технической конференции. Часть I. Казань: Изд. "Отечество". 2004.
4. Воркунов О.В., Тахавутдинов Р.Г. Оценка потерь тепла на основе математического моделирования и экспериментальных исследований // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-17: Сб. тр. XVII Межд. науч. конф. Т.3. Кострома: КГУ. 2004.

*Тахавутдинов Рустам Гумерович – д-р техн. наук, зав. кафедрой ИИУС,  
Воркунов Олег Владимирович – аспирант кафедры ИИУС  
Казанского государственного энергетического университета.*

*Контактный телефон (8232) 43-90-31. E-mail: vorcunov\_oleg@hotmail.ru*