

ПРИМЕНЕНИЕ МИНИАТЮРНЫХ ТЕРМИСТОРОВ В КАЧЕСТВЕ ТЕРМОАНАМОМЕТРОВ

Г. Н. Лукьянов, А. А. Рассадина

Рассматриваются преимущества использования миниатюрных термисторов в качестве термоанемометров при измерении скорости воздуха в турбулентных потоках в каналах со сложной нерегулярной структурой.

Введение

Исследование дыхательной функции человеческого носа выявило турбулентный характер внутриносового дыхания [1, 2]. В зависимости от состояния внутренней структуры носа (наличие или отсутствие искривления перегородки, гребней, шипов и других патологий) характер турбулентного потока подвергается определенным изменениям. Различить такие изменения с помощью существующих диагностических приборов практически невозможно. В большинстве таких приборов [3] измерение скорости воздушного потока осуществляется не внутри полости носа, а в некоторой подводимой к носу трубке постоянного диаметра. Вместе с тем выявление закономерностей турбулентного движения воздуха для здоровых и больных людей позволит значительно повысить возможности раннего диагностирования заболеваний носа.

Изучение сложного турбулентного характера движения воздуха в носу человека, возникающего при обтекании сложной нерегулярной структуры внутренней поверхности носа, приводит к задаче измерения характеристик потока в носу. Одним из экспериментальных методов, решающих эту задачу, является измерение скорости с помощью термоанемометров. Метод термоанемометрии базируется на использовании температурных свойств металлических и полупроводниковых термисторов. При измерении небольших значений скорости воздушного потока предпочтение отдается полупроводниковым терморезисторам, обладающим высоким температурным коэффициентом сопротивления, существенно превышающим температурный коэффициент сопротивления металлов, стабильностью параметров, высокой механической прочностью, многообразием размеров и форм. Однако такой метод требует индивидуальной градуировки зависимости сопротивления каждого термистора от скорости и температуры.

Метод

Принцип работы термоанемометра основан на взаимодействии помещенного в поток жидкости или газа тела, нагреветого или охлажденного относительно среды. В качестве такого устройства можно использовать полупроводниковые термисторы, так как они обладают высоким температурным коэффициентом сопротивления, малыми размерами, что позволяет получить высокое быстродействие при измерении скорости потока. Для нагрева термистора через него пропускают электрический ток I , который, согласно закону Джоуля-Ленца, приводит к выделению на нем теплоты:

$$P = I^2 \cdot R_t, \quad (1)$$

которая рассеивается в окружающую среду по закону Ньютона-Рихмана,

$$P = \alpha \cdot A \cdot (T - T_{cp}),$$

где R_t – сопротивление термистора при температуре t , P – тепловой поток, α – коэффициент теплоотдачи, A – площадь поверхности термистора, T – среднеобъемная температура тела, T_{cp} – температура среды.

Приближенное значение коэффициента теплоотдачи α можно определить через критерий Рейнольдса $Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$, и Нусельта $Nu = f(Re, Pr)$:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d},$$

где d – определяющий размер (диаметр термистора). Тогда для скоростей до 5 м/с, что характерно для дыхания человека, при условии задания перегрева $T - T_{cp} = 1K$, $I \approx 10$ мА для термистора СТ1-18.

При применении термистора в качестве термоанемометра возникает еще одна трудность, связанная с тем, что он меняет свое сопротивление не только от изменения скорости потока, но и от изменения температуры среды, что приводит к необходимости проводить градуировку в зависимости, как от скорости потока, так и от его температуры, т.е.

$$R_t = f(V, T_{cp}). \quad (2)$$

Для реализации зависимости (2) была проведена градуировка в трубке Вентури, при разных скоростях и температурах воздушного потока.

Окончательное значение тока I выбирается при градуировке. Это вызвано тем, что процесс изменения сопротивления будет стационарен только при наличии динамического равновесия теплообмена при изменении знака скорости. Если такого равновесия не существует, возникает медленный дрейф сопротивления R_t .

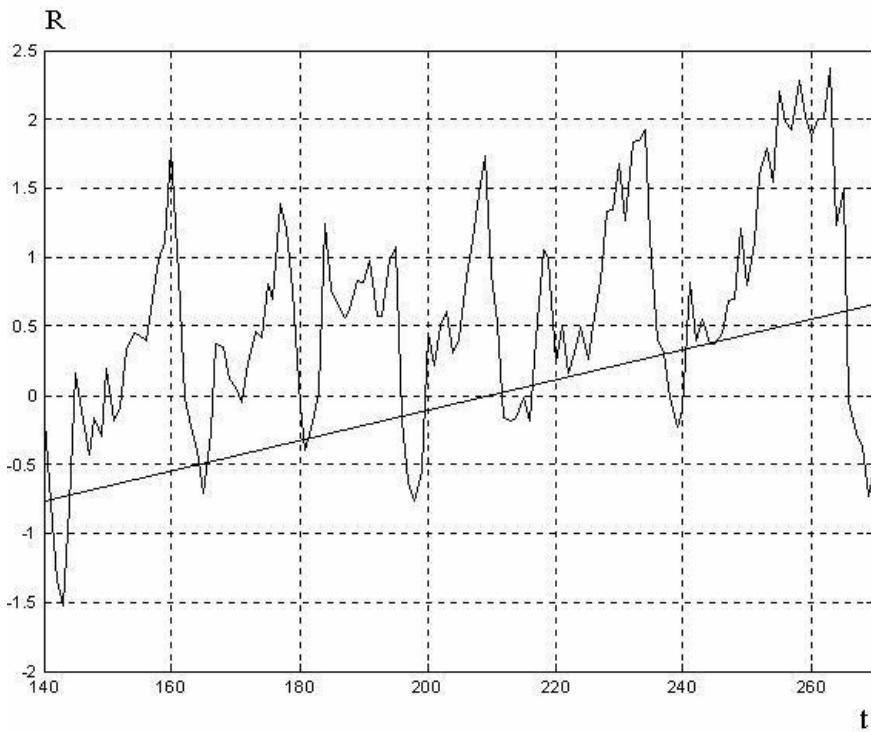


Рис. 1. Дрейф сопротивления при отсутствии динамического равновесия теплообмена при измерении скорости воздушного потока

Реализация

На базе полупроводникового термистора марки СТ1-18 был создан прибор для измерения скорости воздушного потока внутри полости носа. Чувствительный элемент прибора выполнен в форме клипсы (рис. 2), которая крепится к перегородке носа. Левая и правая ее половины содержат термистор, термоанемометр и отводную трубку к датчику давления марки 26PC01SMT фирмы Honeywell. Прибор позволяет вести одно-

временные измерения скорости воздушного потока, давления и температуры, так как эти величины являются важнейшими характеристиками турбулентного потока [4].

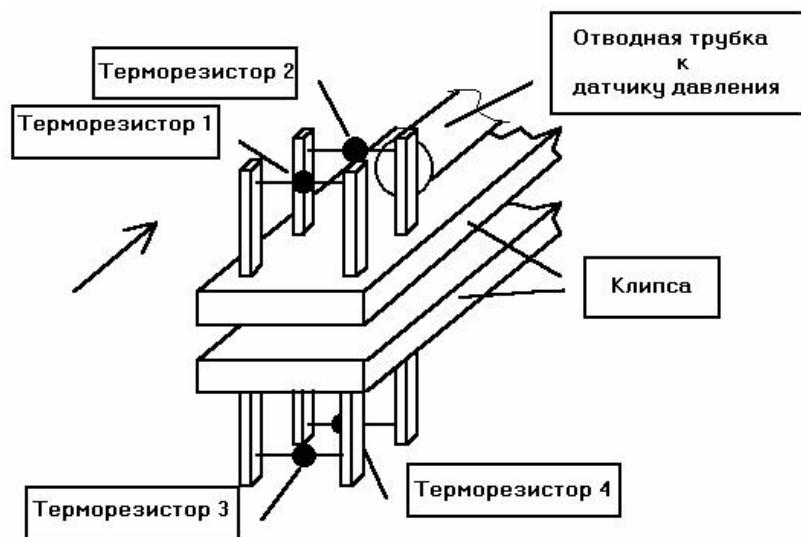


Рис. 2. Конструкция датчика для исследования теплообмена в носу человека

Толщина каждой из половин клипсы не превышает 1 мм, диаметр каждого термистора – порядка 0,5 мм. Миниатюрные размеры клипсы позволяют поместить термоанемометр и термистор на пути вдыхаемого потока без внесения серьезных изменений в общий его характер, оставляя дыхание естественным.

На рис. 3 показаны зависимости скорости воздушного потока от времени при диагностировании состояния больного описанным прибором.

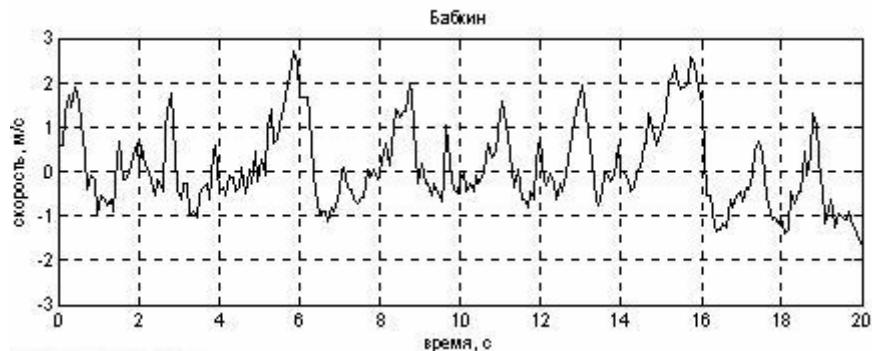


Рис. 3. 1. Скорости воздушного потока в полостях носа до лечения

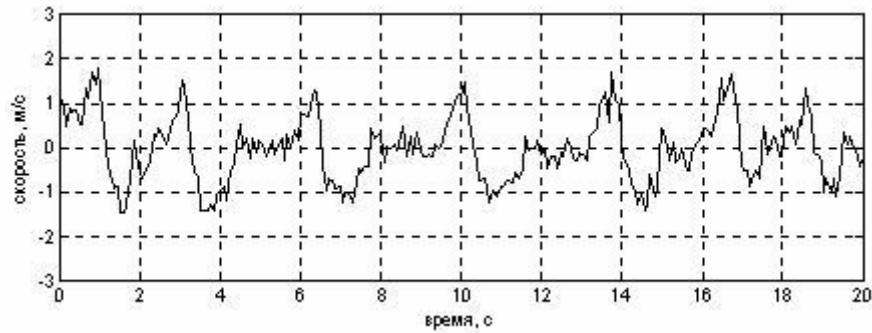


Рис. 3. 2. Скорости воздушного потока в полостях носа после лечения

Полученные данные запоминаются отдельным файлом и могут быть использованы при дальнейшем анализе и обработке.

Другой пример использования миниатюрных термисторов в качестве термоанемометров показан на рис. 4. На этом рисунке представлены графики изменения скорости воздушного потока от времени внутри натурной модели носа, снимаемые одновременно в различных ее частях. Натурная модель носа была создана для более глубокого изучения турбулентного преобразования воздуха при дыхании. Модель полностью повторяет внутреннее строение носа. Создание ее было бы невозможно без применения методов термоанемометрии, в частности, миниатюрных термисторов. Ранее реализованные модели [2] основывались на визуальном наблюдении с использованием фото- и видеосъемки. Поэтому они состояли только из одной половинок носа и имели ограничения в конструкции (отсутствовали носовые раковины и др.). В качестве рабочей среды в таких моделях часто использовалась дистиллированная вода с добавлением красителей или другие жидкости. Такой подход являлся в корне неверным, так как жидкости качественно отличаются более быстрым изменением своих характеристик, что приводит к не совпадающим с действительностью процессам внутри таких моделей. Метод термоанемометрии позволяет провести серьезный аналитический анализ полученных данных, построить и обосновать физическую модель дыхания.

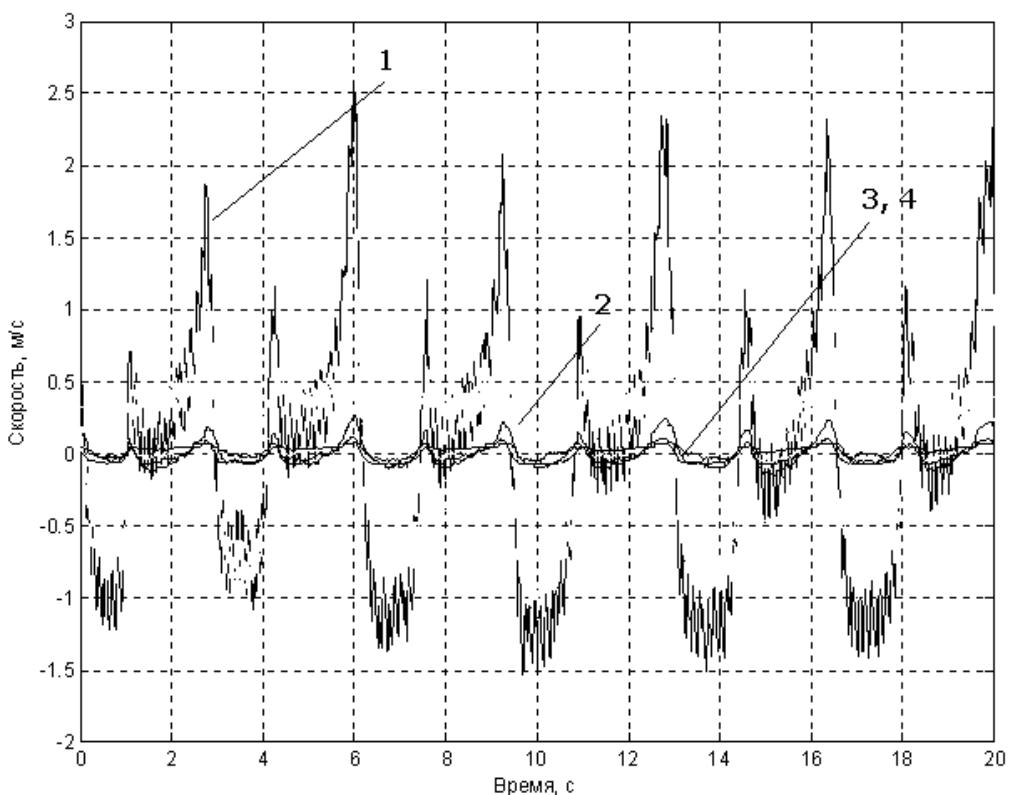


Рис. 4. Динамическая зависимость изменения скорости воздушного потока внутри модели носа, в различных ее частях

Заключение

Полупроводниковые термисторы могут быть использованы в качестве термоанемометров при измерении скоростей турбулентных потоков. Высокое быстродействие при измерении скорости обеспечивается высоким температурным коэффициентом сопротивления и малыми размерами чувствительных элементов датчиков. Применение полупроводниковых термисторов марки СТ1-18 позволяет провести более глубокий анализ турбулентного характера дыхания человека, что, несомненно, отразится положительным образом на диагностических возможностях медицинских приборов.

Литература

1. Пискунов Г.З. Пискунов С.З. Клиническая ринология. М.: Миклош, 2002 390 с..
2. Mlynski, S. Grutzermacher, S. Plontke, Barbara Mlinski, C. Lang. Correlation of nasal morphology and respiratory function // Rhinology, 39, 197-201, 2001
3. Гофман В.Р., Киселев А.С., Герасимов К.В. Диагностика носового дыхания. СПб: Контур-М, 1994 С.93
4. Хинце И.О. Турублентность, Физматгиз, 1963