

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИСТОРНЫХ ТЕРМОАНЕМОМЕТРОВ ПОСТОЯННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Украинский Ю.Д., Кузнецов Д.Н., Балюра Д.Е. 177-182

Донецкий национальный университет, СКТБ «Турбулентность»

Донецкий национальный технический университет, кафедра электронной техники

### Abstract

*Ukrainskiy Y.D, Kuznetsov D.N, Balyura D.E. Definition and guaranteeing optimum thermal conditions of thermistor heat loss anemometers of constant temperature. There are results of researches of influence of superheat temperature of thermistor sensor of heat loss anemometer of constant temperature on its sensitiveness in the article.*

### Общая постановка проблемы.

Большую роль в создании надлежащих условий и повышении производительности труда играют системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Для успешной работы систем в процессе эксплуатации требуется поддержание на заданном уровне значений различных параметров. Основными параметрами являются температура в помещении, влажность воздуха и его расход через воздухоподающие устройства.

Для измерений скорости и расхода воздуха в системах вентиляции и кондиционирования широко применяют термоанемометрические измерители скорости воздуха. Данная статья посвящена улучшению метрологических характеристик термоанемометров путем выбора оптимальных тепловых режимов чувствительных элементов.

**Постановка задачи.** Одной из основных метрологической характеристик термоанемометров является чувствительность  $C_v$ , численно равная производной выходного напряжения ЧЭ термоанемометра  $U$  по массовой скорости потока  $v_\rho$

$$C_v = \frac{dU}{dv_\rho}. \quad (1)$$

Чем выше чувствительность, тем большую точность измерений способен обеспечить термоанемометр при прочих равных условиях. В литературе по термоанемометрии отмечается, что чувствительность термоанемометров с датчиками из металла тем выше, чем больше перегрев ЧЭ. Однако, как выяснилось в результате экспериментов, данное утверждение не распространяется на термоанемометры с термисторными ЧЭ. Это объясняется отрицательным экспоненциальным температурным коэффициентом (ТКС) термистора, в отличие от положительного квазилинейного ТКС металлов. Таким образом, возникла задача определения оптимальных тепловых режимов термисторных термоанемометров, при которых достигается максимальная чувствительность.

**Решение задачи и результаты исследований.** Исследуем влияние температуры перегрева  $\Delta T$  ЧЭ на чувствительность термоанемометра постоянной температуры с ЧЭ из металла и полупроводника.

Известно, что коэффициент рассеяния определяется как количество теплоты, отдаваемое ЧЭ в единицу времени при разности температур между поверхностью и воздушным потоком, равной одному градусу [1]

$$H = \frac{W_1}{T_w - T_g}, \quad (2)$$

где  $W_1$  – рассеиваемая ЧЭ мощность,  $T_w$  и  $T_g$  – температура ЧЭ и газа соответственно..

В установившемся режиме работы термоанемометра рассеиваемая в потоке мощность  $W_1$  будет равна подводимой к ЧЭ мощности  $W_2$ :

$$W_1 = W_2 = \frac{U^2}{R_t}, \quad (3)$$

где  $U$  – напряжение, приложенное к ЧЭ,  $R_t$  – сопротивление ЧЭ.

Подставим (3) в (2), запишем относительно напряжения, получим:

$$U = \sqrt{(T_w - T_g) \cdot R_t \cdot H}. \quad (4)$$

Из (4) следует, что полезный сигнал термоанемометра зависит от температуры перегрева, сопротивления ЧЭ и коэффициента рассеяния, который, в свою очередь, зависит от массовой скорости воздуха. Последняя зависимость лежит в основе работы термоанемометра.

Определим чувствительность термоанемометра по скорости:

$$C_v = \sqrt{(T_w - T_g) \cdot R_t} \cdot \frac{dH^{0,5}}{dv_p}. \quad (5)$$

Из полученного выражения следует, что чувствительность термоанемометра тем выше, чем больше произведение перегрева на сопротивление ЧЭ  $(T_w - T_g) \cdot R_t$ .

Очевидно, что в случае применения в качестве ЧЭ термоанемометра проволочного или пленочного датчика из металла (вольфрам, платина и др.), чувствительность термоанемометра будет тем выше, чем больше перегрев ЧЭ. Это объясняется тем, что металлы имеют положительный температурный коэффициент сопротивления (ТКС).

Неоднозначность появляется в случае применения в качестве ЧЭ термистора, т.к. термистор имеет отрицательный ТКС и с увеличением температуры его сопротивление уменьшается по экспоненциальному закону:

$$R_t = R_o \cdot e^{-\frac{B \cdot (T_o - T)}{T_o \cdot T}}, \quad (6)$$

где  $R_t$  – сопротивление термистора при температуре  $T$ ,  $R_o$  – сопротивление термистора при температуре  $T_o$ .

Зависимости коэффициента чувствительности термоанемометра от температуры ЧЭ при температурах воздуха 15 и 35 °С (стандартный диапазон для жилых помещений), полученные для термистора с параметрами  $R_o=5000$  Ом и  $B=3500$  К, приведены на рисунке 1.

Из результатов следует, что существуют оптимальные температуры термисторного ЧЭ, при которых чувствительность термоанемометра максимальна. Например при температуре воздушного потока равной 15 °С оптимальной является температура термистора порядка 46 °С, а при  $T_g=35$  °С – порядка 70 °С.

Ниже представлены результаты расчета оптимальной температуры ЧЭ (рис.2) и оптимальной температуры перегрева ЧЭ (рис.3) при различных температурах воздушного потока.

С целью подтверждения результатов, полученных математическим способом, было выполнено имитационное моделирование термисторного термоанемометра постоянной тем-

пературы в программе моделирования электронных схем ISIS, входящей в пакет PROTEUS VSM. Моделируемая схема термоанемометра приведена на рисунке 4.

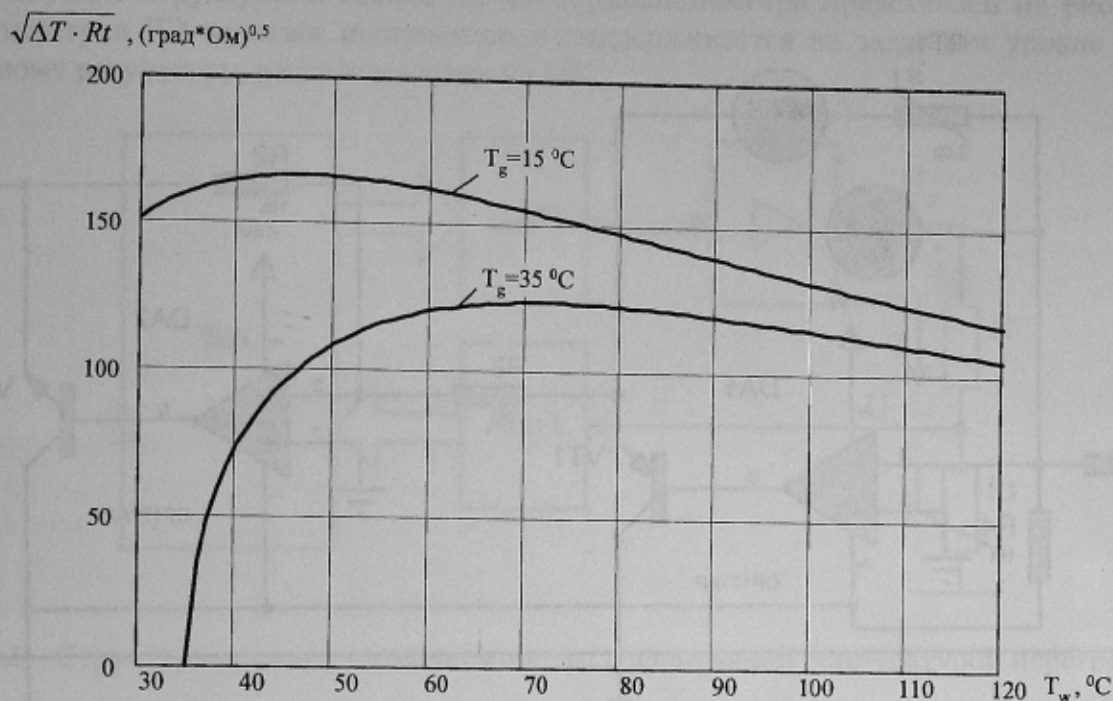


Рис.1 - Зависимость коэффициента чувствительности термоанемометра от температуры ЧЭ  $T_w$  при различных температурах газа  $T_g$ .

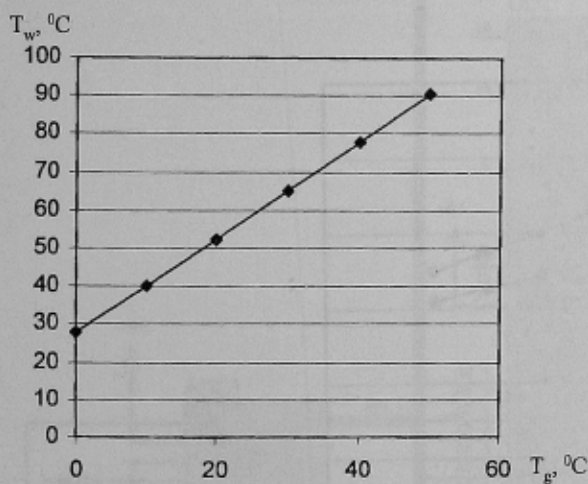


Рис.2 - Зависимость оптимальной температуры ЧЭ от температуры газа.

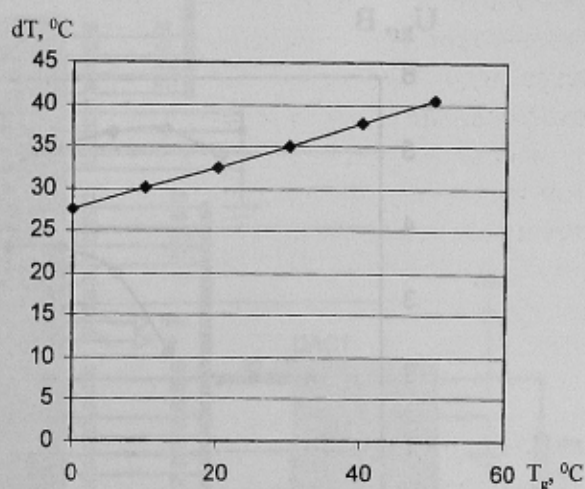


Рис.3 - Зависимость оптимальной температуры перегрева ЧЭ от температуры газа.

В результате моделирования были получены зависимости выходного напряжения термоанемометра от температуры разогрева термистора при температурах 15 °C и 35 °C и коэффициенте рассеяния  $H=1 \text{ мВт/}^\circ\text{C}$ . Как видим, результаты имитационного моделирования (рис.5) и результатами математических расчетов (рис.1) хорошо согласуются между собой, что подтверждает правильность выполненных расчетов.

При использовании термоанемометров в широком диапазоне рабочих температур измеряемых потоков оптимальная температура разогрева  $T_w$  термисторного ЧЭ также изменяется в достаточно широких пределах. Например, как следует из результатов расчетов (рис.2),

при изменении температуры потока от 0 °C до 50 °C оптимальная температура разогрева термистора изменяется в пределах от 28 °C до 90 °C.

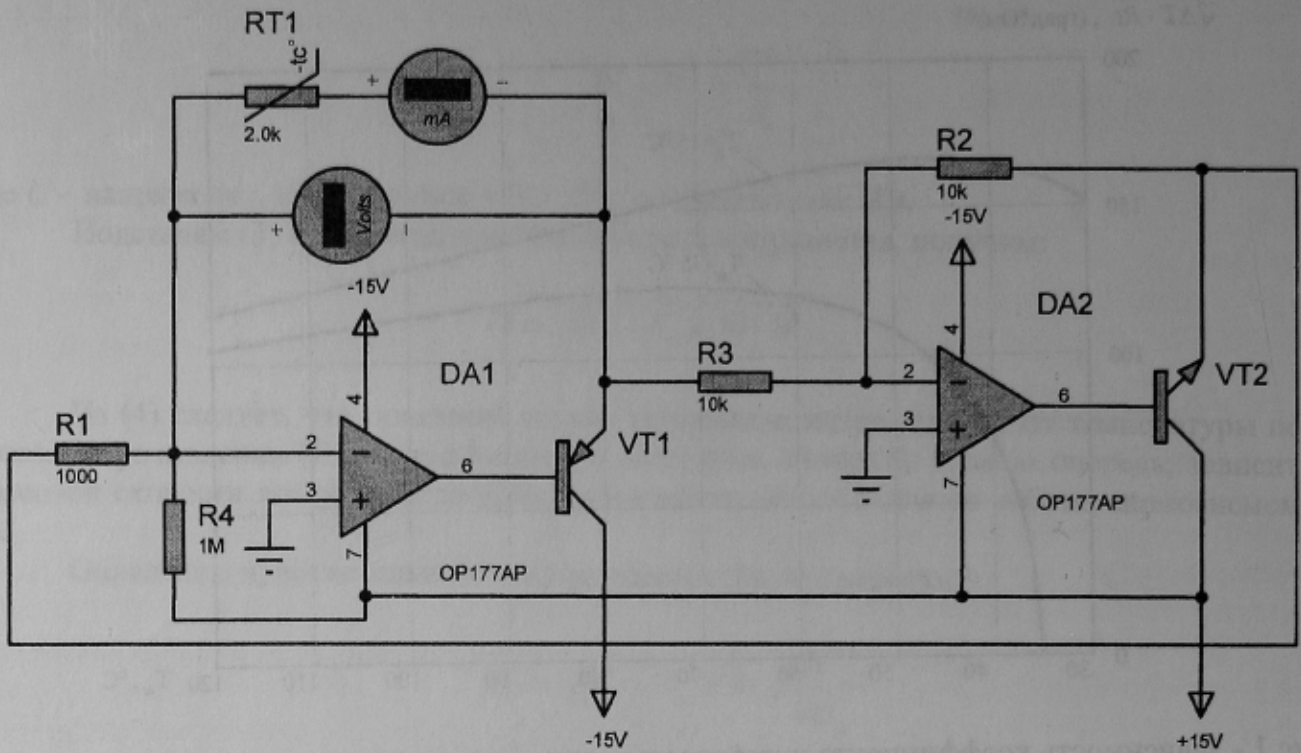


Рис.4 - Имитационная модель термоанемометра постоянной температуры.

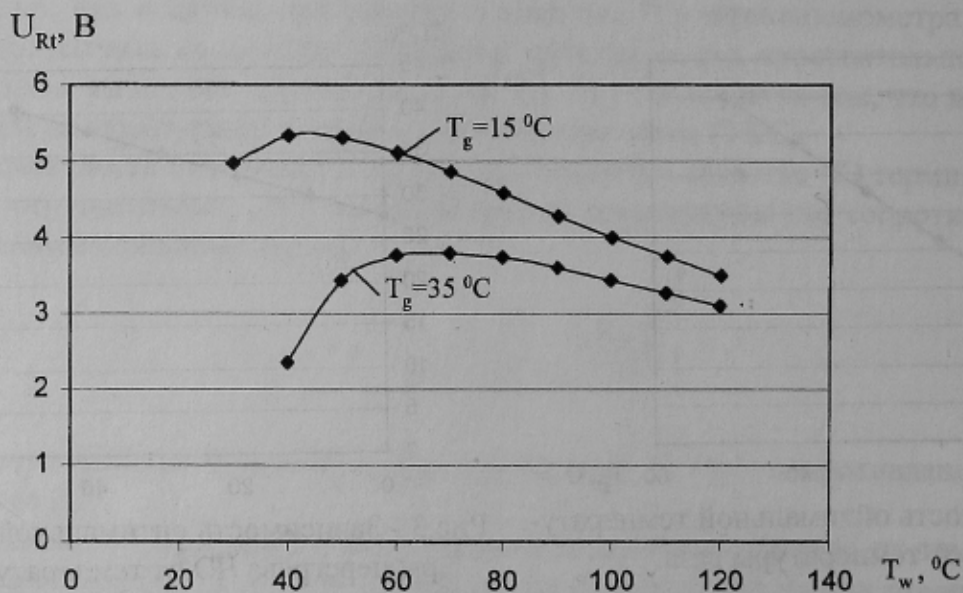


Рис.5 - Результаты имитационного моделирования.

Таким образом, для обеспечения максимальной чувствительности термоанемометра на различных температурах потока необходимо обеспечивать соответствующий перегрев ЧЭ. Т.е. температура перегрева должна быть адаптивной температуре потока. Реализовать такой режим чисто аналоговыми средствами весьма затруднительно. Однако при использовании программируемого микроконтроллера (МК) задача реализации режима работы термоанемо-

метра постоянной температуры с адаптивной температурой перегрева ЧЭ может быть решена достаточно просто.

Вариант структурной схемы такого термоанемометра представлен на рис.6. В этой схеме перегрев ЧЭ задается программно и поддерживается на заданном уровне благодаря цифровому регулятору, реализованному на МК.

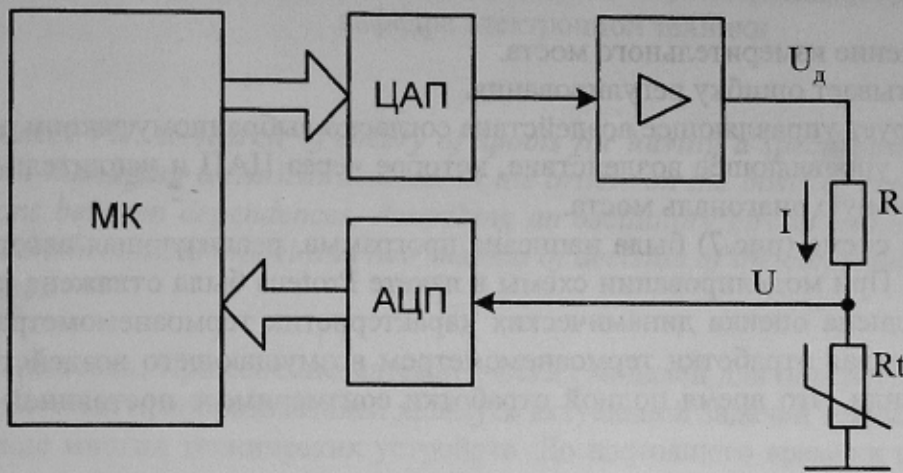


Рис.6 - Структурная схема термоанемометра с адаптивной температурой перегрева ЧЭ.

На базе предложенной структурной схемы термоанемометра была разработана принципиальная схема для моделирования в пакете Proteus (рис.7). В данной схеме использован термистор с постоянной времени 1 с.

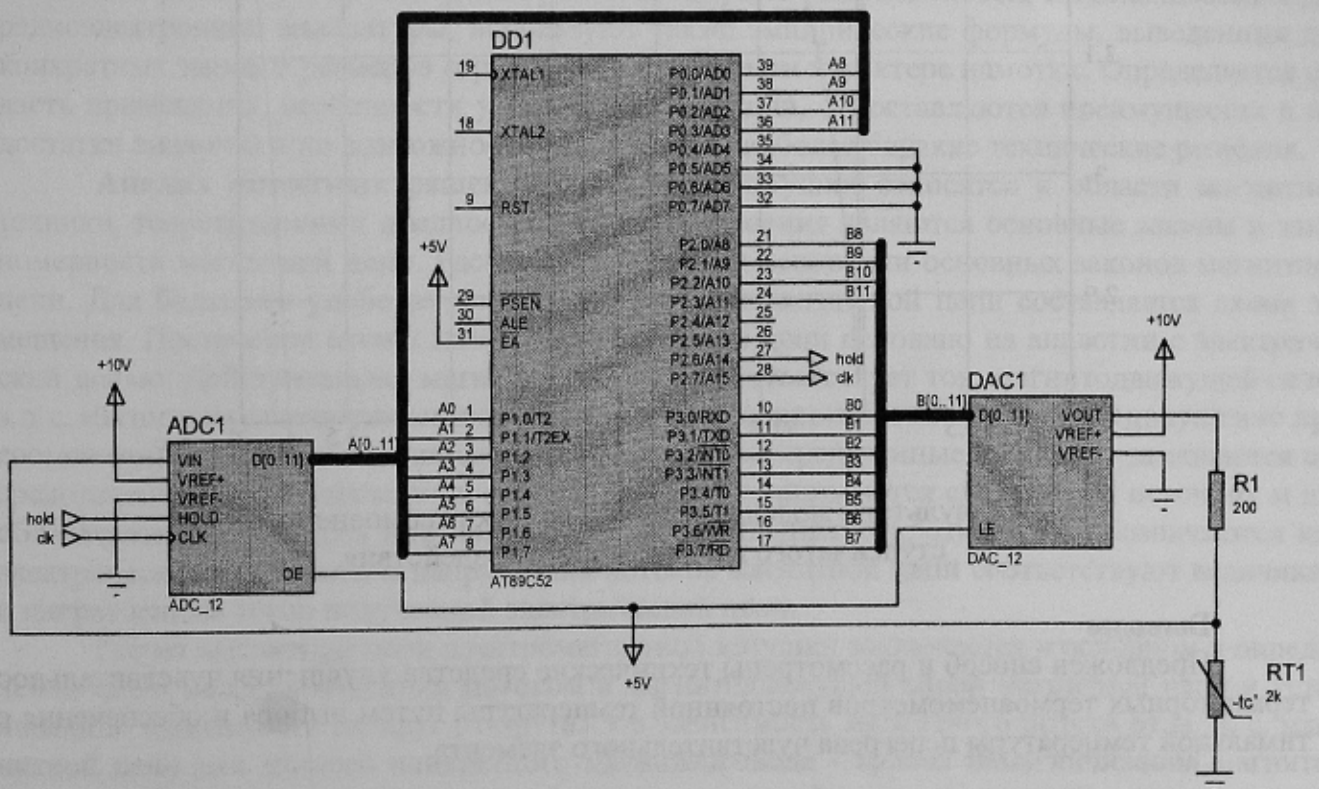


Рис.7 - Модель термоанемометра с адаптивной температурой перегрева ЧЭ.

Рассмотрим алгоритм работы термоанемометра, построенного по схеме (рис.6). Микроконтроллер циклически, через заданный интервал времени  $dt$  выполняет следующие действия:

- 1) Измеряет напряжение термистора  $U_{Rt}$ .
- 2) Рассчитывает текущее сопротивление термистора по формуле

$$R_t = \frac{U_{Rt}}{U_d - U_{Rt}} \cdot R, \quad (7)$$

где  $U_d$  – напряжение измерительного моста.

- 3) Рассчитывает ошибку регулирования.
- 4) Формирует управляющее воздействие согласно выбранному закону регулирования.
- 5) Выдает управляющее воздействие, которое через ЦАП и усилитель поступает в измерительную диагональ моста.

Для МК в схеме (рис.7) была написана программа, реализующая алгоритм цифрового ПИ-регулятора. При моделировании схемы в пакете Proteus была отлажена программа работы МК и выполнена оценка динамических характеристик термоанемометра. На рисунке 8 представлена кривая отработки термоанемометром возмущающего воздействия в виде ступеньки. Получили, что время полной отработки соизмеримо с постоянной времени ЧЭ (1 секунда).

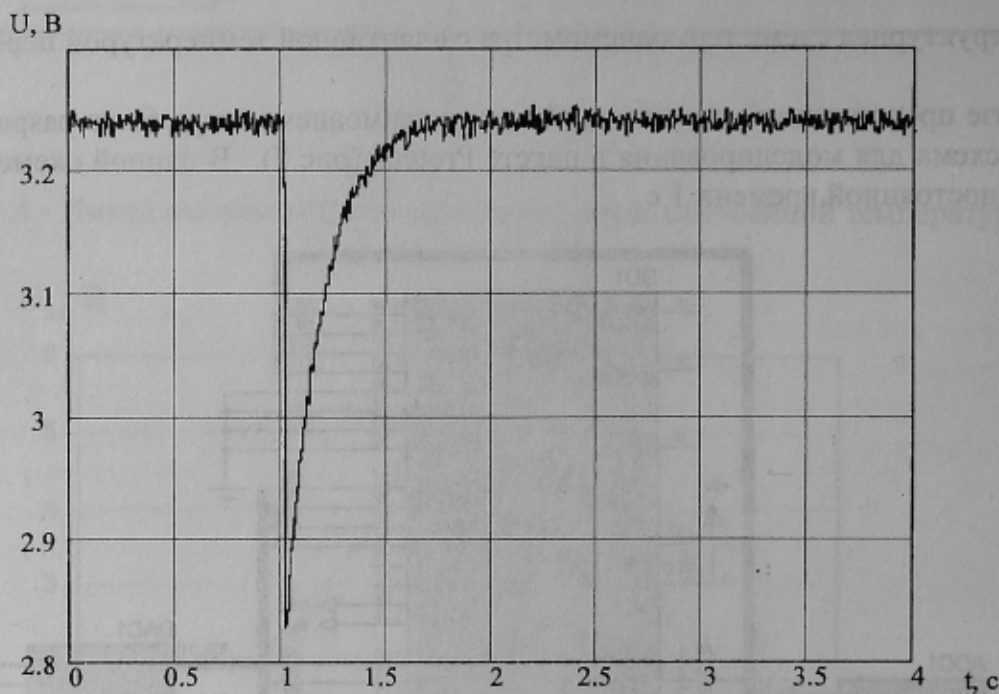


Рис.8 - Результаты моделирования отработки термоанемометром ступенчатого возмущающего воздействия.

### Выводы

Предложен способ и рассмотрены технические средства улучшения чувствительности термисторных термоанемометров постоянной температуры путем выбора и обеспечения оптимальной температуры перегрева чувствительного элемента.

### Литература

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. – М., «Энергия», 1977. – 344 с.: ил.