

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11525341>

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

Р.Е.Юсупов, (ҚММИ)

Ключевые слова: многофункциональный, скорость потока, температура воздуха, теплообмен, контроль, направление потока, источник излучения, приемник излучения, измерительная схема.

В таких отраслях промышленности как тепло и ветроэнергетика, нефтегазовые комплексы, строительство высотных зданий, радио и телевизионные ретрансляторы, транспортные туннели, горно-рудные шахты и др, необходимо контролировать такие важные параметры воздушных потоков как скорость, температуру, направление, наличие или отсутствие воздушного потока.

Среди существующих устройств для контроля направления и скорости воздушных потоков [1,2] недостаточно исследованы и разработаны устройства состоящие из тепловых преобразователей скорости воздуха и оптоэлектронного преобразователя направления потока воздуха, которые имеют ряд существенных достоинств перед другими, такие как высокая чувствительность, надёжность, точность и простота технологии изготовления. Кроме того, современные системы контроля и управления воздушными потоками требуют, чтобы устройства контроля были многофункциональными и позволяли одной конструкцией контролировать скорость, температуру, направление и наличие потока воздуха, а также удобство сопряжения с микропроцессорными средствами.

Этим требованиям для контроля скорости воздуха наиболее полно удовлетворяют термоанемометрические тепловые преобразователи, которые обладают высокой чувствительностью, особенно при малых скоростях потоков. Функциональные возможности устройства повышаются путем одновременного измерения с помощью тепловых преобразователей скорости и температуры потока воздуха, а так же благодаря применению оптоэлектронного преобразователя контроля поворота флюгера декартовых координатах в диапазоне от 0 до 360 градусов.

Статья иллюстрируется следующими рисунками: на рис.1 – конструкция устройства для измерения скорости и направления горизонтального ветра; на рис.2-измерительная схема устройства; на рис.3 -представлены расположения верхнего приемника излучения и оптического экрана при различных направлениях ветра; а именно:на рис. 3 a, b, и c показаны расположения верхних и нижних приемников излучения при исходном направлении ветра в виде стрелки в векторной диаграмме на экране компьютера; на рис. 3 d, e, f – показаны расположения верхних и нижних приемников излучения и стрелки на экране компьютера при повороте от исходного направления ветра на 90 градусов против часовой стрелки; на рис. 3 g, h и i показаны расположения приемников излучения, экрана и стрелки при повороте направления ветра на 180 градусов от исходного; на рис. 3 j, k и l показаны расположения приемников излучения, экрана и стрелки при повороте направления ветра; на рис. 4. приведены статические характеристики теплового преобразователя.

Устройство для измерения скорости и направления ветра (рис.1, рис.2) состоит из корпуса 1, флюгера 2, стержня-оси 3, подшипников 4 и 4', медной трубки 5, в которую помещены основной 6 и дополнительный 7 терморезисторы и нагревательный элемент 8, кольцевого источника излучения 9, верхних полукольцевых приемников излучения 10,11 и смещенных на 90 градусов относительно них нижних полукольцевых приемников 12,13; верхнего 14 и нижнего 15 полудисковых оптических экранов (рис.3,4); постоянных электрических сопротивлений 16,17,18,19,20,21,22; переключателя 23; электронных усилителей 24,25,26, аналого-цифровых преобразователей 27,28,29; микропроцессора 30; штепсельного разъема 31; выводных проводов 32. На рисунках обозначены: U_m - напряжение питания подаваемое в мостовые схемы I,II,III; U_1, U_2, U_3 -выходные напряжения мостовых схем I, II и III

Статья сопровождается следующими рисунками: на рисунке 1 показана конструкция устройства для измерения скорости и направления горизонтального ветра; на рисунке 2 - измерительная схема устройства; на рисунке 3 - расположения верхнего приемника излучения и оптического экрана при различных направлениях ветра. В частности, на рисунках 3a, 3b и 3c представлены положения верхних и нижних приемников излучения при исходном направлении ветра в виде стрелки на векторной диаграмме на экране компьютера; на рисунках 3d, 3e и 3f показаны положения верхних и нижних приемников излучения и стрелки на экране компьютера при повороте от исходного направления ветра на 90 градусов против часовой стрелки; на рисунках 3g, 3h и 3i показаны положения приемников излучения, экрана и стрелки при повороте направления ветра на 180 градусов от исходного; на

рисунках 3j, 3к и 3l показаны положения приемников излучения, экрана и стрелки при повороте направления ветра. На рисунке 4 приведены статические характеристики теплового преобразователя.

Устройство для измерения скорости и направления ветра (рисунки 1 и 2) состоит из корпуса (1), флюгера (2), стержня-оси (3), подшипников (4 и 4'), медной трубки (5), в которую помещены основной (6) и дополнительный (7) терморезисторы, нагревательного элемента (8), кольцевого источника излучения (9), верхних полукольцевых приемников излучения (10, 11) и смещенных на 90 градусов относительно них нижних полукольцевых приемников (12, 13), верхнего (14) и нижнего (15) полудисковых оптических экранов (рисунки 3 и 4), постоянных электрических сопротивлений (16, 17, 18, 19, 20, 21, 22), переключателя (23), электронных усилителей (24, 25, 26), аналого-цифровых преобразователей (27, 28, 29), микропроцессора (30), штепсельного разъема (31) и выводных проводов (32). На рисунках обозначены: U_m - напряжение питания, подаваемое в мостовые схемы I, II, III; U_1 , U_2 , U_3 - выходные напряжения мостовых схем I, II и III.

Устройство для измерения скорости и направления ветра работает следующим образом.

При наличии горизонтального ветра со скоростью V (рис.1) основной терморезистор 6 с нагревательным элементом 8 нагревается и благодаря медной трубке 5, обеспечивающей хороший тепловой контакт с окружающим воздухом вступает в теплообмен с потоком ветра и в зависимости от величины скорости потока V устанавливается определенный процесс теплообмена и его температура и следовательно электрическое сопротивление терморезистора 6.

Устройство для измерения скорости и направления ветра функционирует следующим образом.

При наличии горизонтального ветра со скоростью V (рисунок 1) основной терморезистор 6 с нагревательным элементом 8 нагревается. Благодаря медной трубке 5, обеспечивающей хороший тепловой контакт с окружающим воздухом, происходит теплообмен с потоком ветра. В зависимости от величины скорости потока V устанавливается определенный процесс теплообмена, который влияет на температуру терморезистора 6, а следовательно, изменяет его электрическое сопротивление.

В исходном состоянии при отсутствии скорости ветра ($V = 0$) мост I для измерения скорости ветра (рис.2) уравновешен ($U_I = 0$) и при положении переключателя 23 в «а» сопротивления 6,7,16,17 равны между собой. При наличии скорости ветра ($V \neq 0$) терморезистор 6 в результате увеличения теплообмена охлаждается, температура его уменьшается и его сопротивление

изменяется, при этом мост выходит из равновесия и его выходное напряжение U_1 дает информацию о скорости потока ветрам [$U_1 = f(v)$]. Далее сигнал о скорости ветра через 24 и 27 подается в микропроцессор 30.

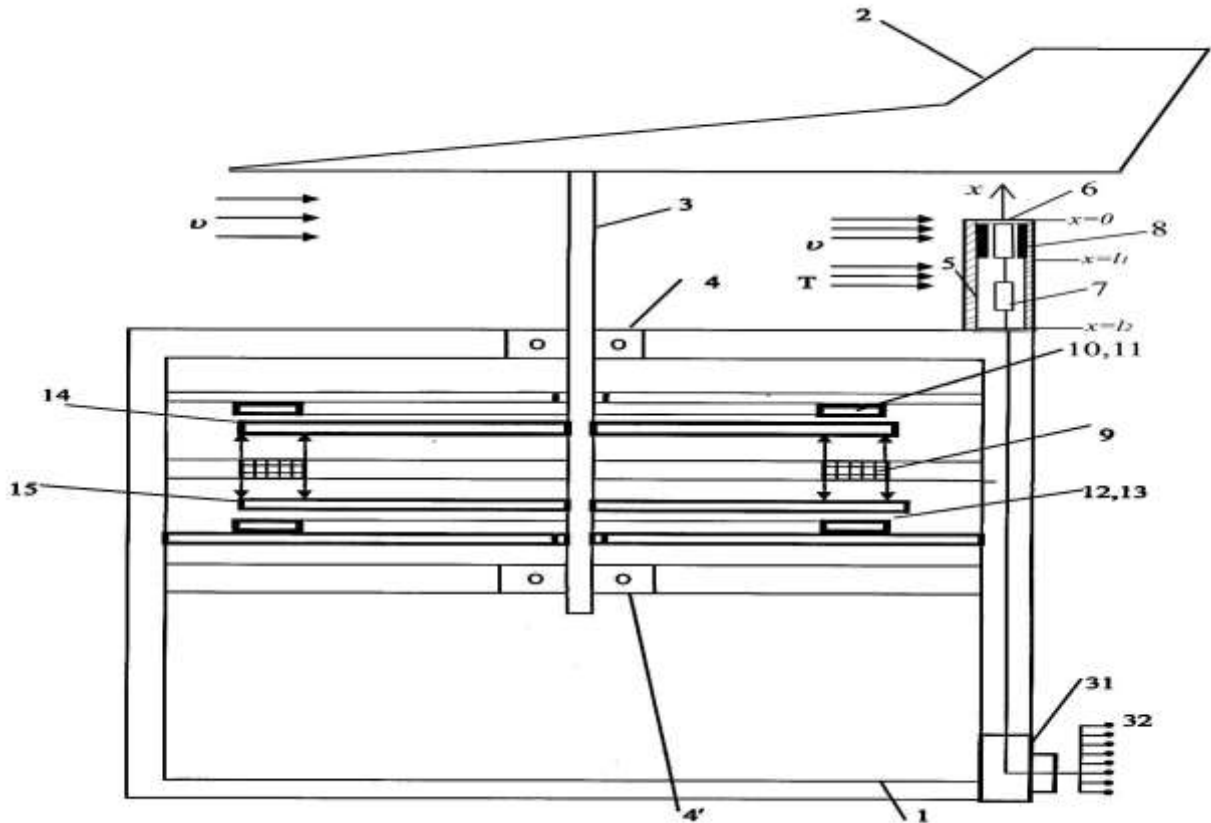


Рис.1. Конструкция многофункционального устройства для измерения скорости и направления горизонтального ветра.

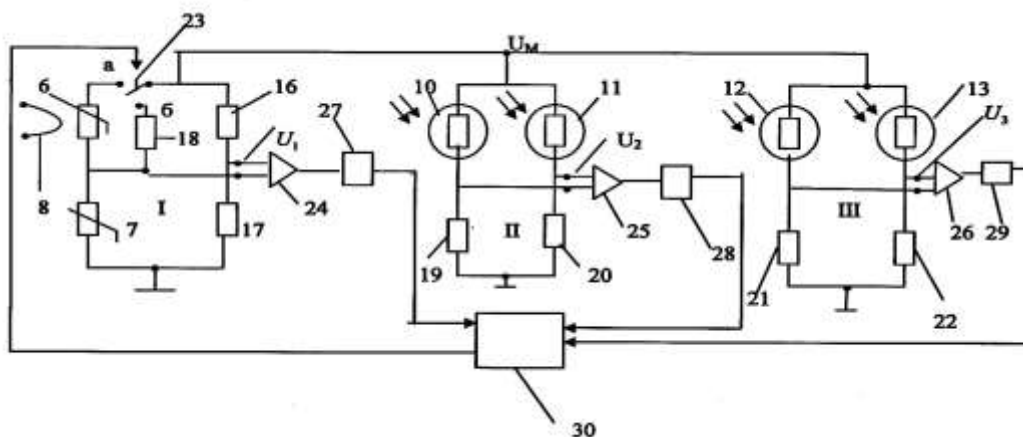


Рис.2. Измерительная схема многофункционального устройства измерения скорости и направления горизонтального ветра.

Так как при изменении температуры изменяется и сопротивление терморезистора 6, то для компенсации этого изменения используется терморезистор 7, который реагирует только на температуру потока. Для измерения температуры потока сигнал от микропроцессора 30 через переключатель 23 в положении «б» подключает к мостовой измерительной схеме I постоянное сопротивление 18 и мостовая схема I с терморезистором 7 будет контролировать только температуру T потока ветра. Благодаря медной трубке 5 в которую помещены терморезисторы 6 и 7 и нагревательный элемент 8 обеспечивается хороший тепловой контакт с потоком воздуха и защищаются 6,7 и 8 от атмосферных осадков и других воздействий.

Таким образом, мостовая измерительная схема I с терморезисторами 6 и 7 и нагревательным элементом 8 позволяет благодаря переключателю 23 измерять скорость при положении контакта переключателя 23 «а» и температуру потока при положении контакта переключателя 23 «б». Далее в обоих случаях выходной сигнал U_1 , усиливается электронным усилителем 24 и через аналого-цифровой переключатель 27 подается на микропроцессор 30, в котором периодически получают информацию о скорости v и температуре T воздушного потока.

В исходном направлении горизонтального ветра флюгер 2 с осью 3 принимает положение как показано на рис.1 и одновременно принимают соответствующие положения оптические полудисковые экраны 14 и 15, 3 а и в по отношению к полукольцевым фоторезисторам 10,11 и 12,13. В мостовой измерительной схеме II с полукольцевыми фоторезисторами 10 и 11 происходит одинаковое затемнение на половину их сопротивлений и при равенстве их сопротивлений другим сопротивлениям моста 19 и 20 выходное напряжение моста II будет равно нулю ($U_2 = 0$). А в другой мостовой схеме III (рис.2) с фоторезисторами 12 и 13 из-за полного затемнения фоторезистор 13 (его сопротивление будет максимальным) и полного освещения фоторезистора 12 (его сопротивление будет минимальным) и при равенстве сопротивлений других плеч 21 и 22 выходное напряжение моста U_3 будет иметь максимальное значение со знаком «+». Эти значения напряжений мостов U_2 и U_3 могут быть отображены на экране компьютера в виде векторной диаграммы как показано на рис.3с. Откладывая по осям U_2 и U_3 их значения (рис.5) мы получаем векторное изображение направления горизонтального ветра при данном положении флюгера 2. При изменении направления ветра, например, перемещаясь против часовой стрелки, флюгер 2 с помощью оси- стержня 3 повернет оптические экраны 14 и 15 и на выходе мостовых

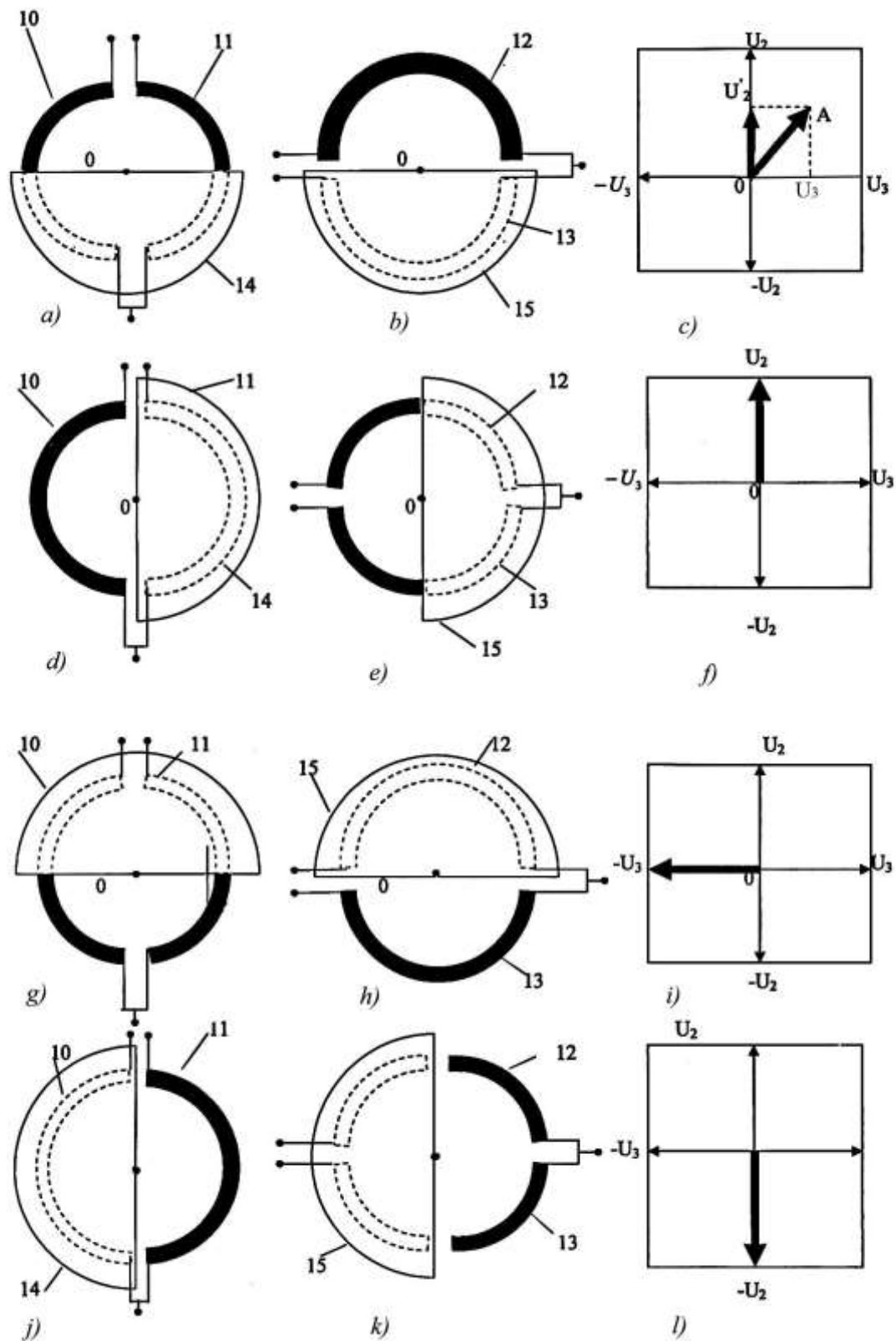


Рис.3. схемы расположения верхнего приемника излучения и подвижного оптического экрана.

схем ИДИ появятся соответствующие выходные напряжения U'_2 и U'_3 и их векторная сумма будет давать информацию о реальном направлении потока ветра с помощью стрелки ОА. На рис.3, d,e,f,g,h,I,j,k,l показаны расположения фоторезисторов 10,11,12,13 и оптических экранов 14,15 и полученные на экране компьютера изображения стрелки поворота при повороте флюгера 2 на 90,180 и 270 градусов против часовой стрелки по отношению к исходному направлению ветра, показанному на рис.1. Теория теплового преобразователя скорости термоанемометрического типа (рис.1) основана на установлении связи между скоростью воздушного потока V и распределения температуры $T(x)$ вдоль теплопровода 5 преобразователя. Рассмотрим данную тепловую систему преобразователя в виде теплового четырехполюсника, что позволит эффективно проанализировать тепловую систему состоящую из двух участков l_1 и l_2 .

В матричной форме уравнение теплового четырехполюсника с распределенным источником тепла записывается в виде:

$$\begin{vmatrix} T(x) \\ \Phi(x) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} T_q(x) \\ \Phi_q(x) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A(x) & B(x) \\ C(x) & D(x) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T(0) \\ \Phi(0) \end{vmatrix} \quad (1)$$

или в операторной форме

$$\begin{vmatrix} T(x,p) \\ \Phi(x,p) \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} T_q(x,p) \\ \Phi_q(x,p) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A(x,p) & B(x,p) \\ C(x,p) & D(x,p) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T(0,p) \\ \Phi(0,p) \end{vmatrix} \quad (2)$$

где: $T(x,p)$, $\Phi(x,p)$ - температура и тепловой поток;

$T_q(x,p)$, $\Phi_q(x,p)$ - распределенные источники температуры и теплового потока;

$T(0,p)$, $\Phi(0,p)$ - значения температуры и типового потока в начале и в конце теплопровода; $A(x,p)$, $B(x,p)$, $C(x,p)$, $D(x,p)$ параметры теплового четырехполюсника. На основании (1) для теплового преобразователя можно написать уравнение распределения $\theta(x)$ вдоль участка $0 \leq x \leq l_1$, при постоянном тепловом потоке $q(x)=q=const$.

$$T_1(x) = T_1(0)ch\gamma_1 x + \frac{q}{g(1 - ch\gamma_1 x)} \quad (3)$$

и вдоль участка $l_1 \leq x \leq l_2$

$$T_2(x) = T_2(l_1)ch\gamma_2 x - z_2 \Phi_2(l_1)sch\gamma_2 x \quad (4)$$

В точке $x = l_1$ имеет место равенство температур $T_1(l_1) = T_2(l_1)$ и их производных

$$\left. \frac{dT_1(x)}{dx} \right|_{x=l_1} = \left. \frac{dT_2(x)}{dx} \right|_{x=l_1} \quad (5)$$

В результате решения уравнений получено

$$T_1(x) = \frac{q}{g_1} \left(1 - \frac{ch\gamma_1 x}{ch\gamma_2 l_1 + \frac{\gamma_2 sch\gamma_1 l_1}{\gamma_2}} \right) \quad (6)$$

$$T_2(x) = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \left[\frac{q}{g} - T_1(0) \right] sch\gamma_1 l e^{-(x-l_1)\gamma_2} \quad (7)$$

Анализ выражений (6) и (7) с точки зрения повышения чувствительности позволяет сделать выводы:

- 1) Участок $0 \leq x \leq l_1$, целесообразно выполнять из материалов с большим значением γ и минимальным d_1
- 2) Термочувствительный элемент необходимо устанавливать на участке $0 \leq x \leq l_1$ ближе к торцевой части теплопровода при $x=0$.
- 3) Длина участка $0 \leq x \leq l_1$ должна обеспечивать выполнение условия $q(x)=const$ на участке расположения термочувствительного элемента.
- 4) Длина участка $l_1 \leq x \leq l_2$ должна обеспечить минимальное влияние изменения температуры подставки.

Измерительная схема реализующая вышеуказанный принцип приведена на рис.2.

На рис.4. приведены статические характеристики теплового преобразователя термоанемометрического типа.

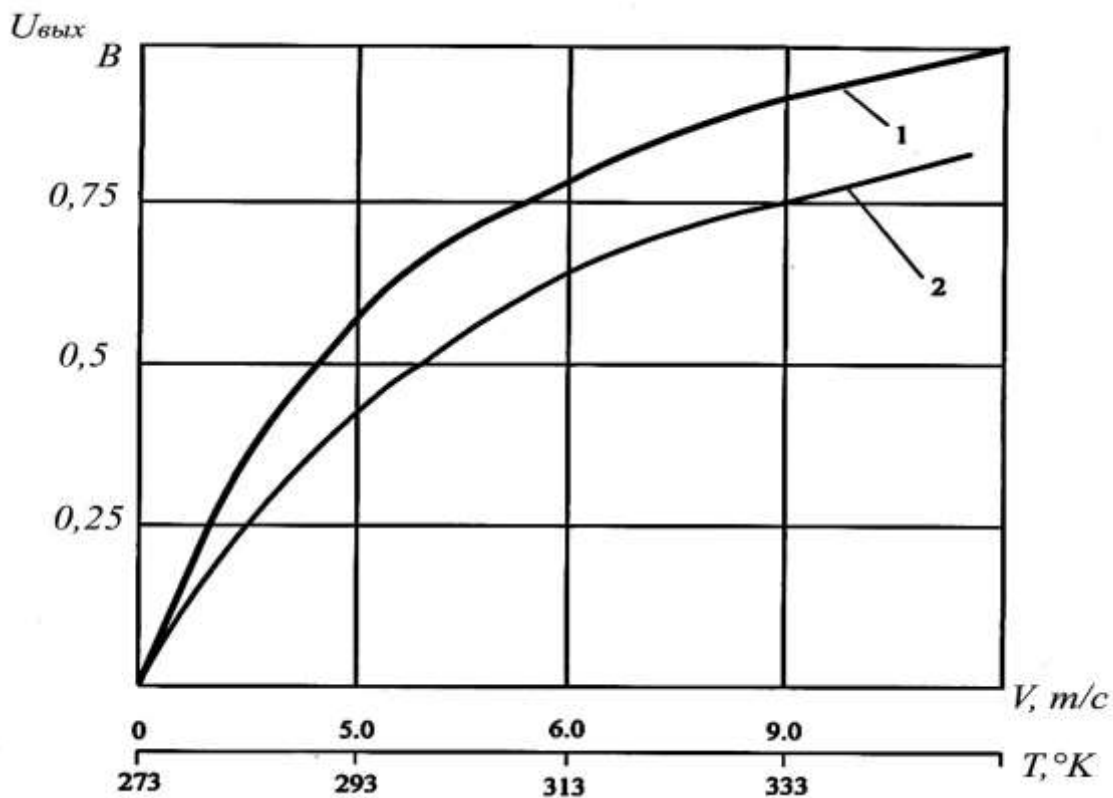


Рис.4. Статические характеристики теплового преобразователя: 1 – при контроле скорости потока; 2 – при контроле температуры потока.

Таким образом благодаря тому, что в мостовой измерительной схеме I основной терморезистор 6, снабженный нагревательным элементом 8 и переключателем 23, имеющим возможность поочередно подключать к плечу мостовой схемы терморезистор 6 или постоянное сопротивление 18 обеспечивается возможность с помощью дополнительного терморезистора 7 осуществлять компенсацию влияния изменения температуры воздуха при измерении скорости и отдельно измерять температуру потока воздуха. Применение кольцевого источника излучения 9, расположенного между верхними и нижними полукольцевыми фоторезисторами 10,11,12,13, соединенных в кольцо 2 и смещенных на 90 градусов относительно друг друга и расположения полудисковых оптических экранов 14,15, закрепленных на оси 3 между источником излучения и фоторезисторами 10,11,12,13 позволяет на экране компьютера получить полное изображение направления ветра в диапазоне 0-360 градусов в векторной форме.

Укажем также, что с помощью микропроцессора 30 статические характеристики теплового преобразователя (рис.4) могут быть линеаризованы.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Патент RU№2101736 C1 G01 W1/02
2. Патент RU№2073872 C1 G01 P5/06
3. Авторское свидетельство № 590677 G01 P5/12 БИ № 4 1978
4. Авторское свидетельство SU№ 1138647 A G01 C 9/09 БИ №5 1985
5. Азимов Р.К., Азимов А. Тепловые преобразователи скорости и направления потоков газов и жидкостей. М.Энергоатомиздат, 1990 с 87.
6. Патент UZ IAP 04754 G 01 W1/00 Бюл №9.2013