

УДК 62-533.6

Д.Н. Кузнецов, А.А. Дьяченко, Д.А. Чупис
Донецкий национальный технический университет
Донецкий национальный университет
E-mail: kuzen2000@rambler.ru

НАСТРОЙКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА АДС-200/250

Аннотация

Кузнецов Д.Н., Дьяченко А.А., Чупис Д.А. Настройка оптимального регулятора температуры воздушного потока аэродинамического стенда АДС-200/250. В статье решается задача экспериментального определения оптимальных настроек цифрового ПИД-регулятора температуры воздушного потока в составе электронной системы аэродинамического стенда АДС-200/250 при различных скоростях потока. Предложена методика расчета оптимальных настроек регулятора и приведены результаты натурных испытаний.

Ключевые слова: настройка, регулятор температуры, аэродинамический стенд, испытания.

Актуальность.

В настоящее время задача измерения скорости воздушного потока в системах учета расхода, экологического мониторинга и в системах автоматического управления вентиляций предъявляет все более высокие и жесткие требования к метрологическим и эксплуатационным характеристикам измерителей скорости воздуха. Основными требованиями являются безинерционность измерений, широкий динамический диапазон и высокая точность во всем диапазоне измеряемых скоростей.

Как правило, измерители скорости воздуха проходят метрологическую аттестацию в аэродинамических трубах. Аэродинамическая труба представляет собой физический прибор, позволяющий получить в одном из его элементов, а именно в "рабочей части", где располагается исследуемое тело, равномерный прямолинейный установившийся поток воздуха определенной скорости [1,2].

Особенностью метрологической аттестации термоанемометрических преобразователей скорости (далее – термоанемометров, ТА) является необходимость их предварительной градуировки при различных температурах воздушного потока [3]. Причем точность установки и поддержания температуры должна быть не хуже долей градуса. Эффективность градуировки термоанемометров во многом зависит от качества настройки регулятора температуры. Таким образом, для обеспечения эффективной градуировки термоанемометров необходимо решить актуальную задачу оптимальной настройки регулятора температуры аэродинамического стенда [4,5].

Постановка задачи. На этапе предварительных экспериментов было установлено, что параметры контура управления температурой аэродинамического стенда сильно зависят от скорости потока в трубе. Т.е. коэффициенты оптимального регулятора температуры являются функциями скорости потока. Поэтому для обеспечения оптимальных настроек регулятора температуры в широком диапазоне рабочих скоростей потока необходимо решить следующие основные задачи:

- 1) Экспериментальное определение оптимальных параметров регулятора при различных скоростях и температурах воздушного потока;

- 2) Подбор вида функций для аппроксимации экспериментальных данных.
- 3) Реализация цифрового ПИД-регулятора и экспериментальная проверка качества его работы.

Решение поставленных задач. На рисунке 1 приведена функциональная схема электронной системы аэродинамического стенда АДС-200/250, установленного в СКТБ «Турбулентность» ДонНУ. Данная система работает в связке с персональным компьютером и обеспечивает управление скоростью и температурой воздушного потока в аэродинамической трубе, а также регистрацию измерительных данных от образцовых и градуируемых средств скорости потока.

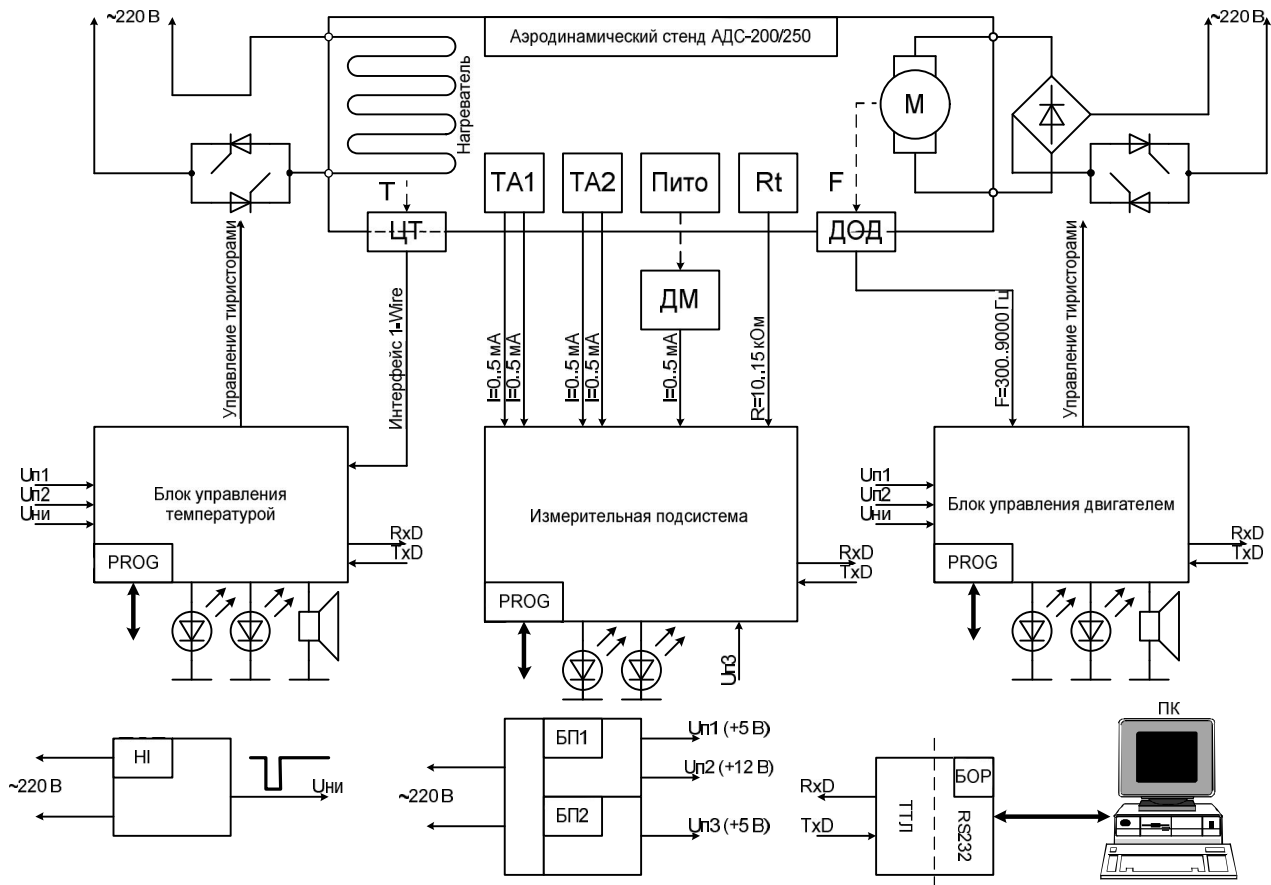


Рисунок 1 – Электронная система аэродинамического стенда АДС-200/250

Контур управления температурой (КУТ) воздушного потока является частью рассматриваемой электронной системы. В состав КУТ входят: спиральный нагреватель потока мощностью 2 кВт, цифровой термометр ЦТ DS18B20 с однопроводным интерфейсом обмена данными «1-Wire», микропроцессорный блок управления температурой на базе 8-разрядного микроконтроллера ATmega8 и тиристорный регулятор мощности с фазоимпульсным управлением.

В блоке управления температурой реализован алгоритм цифрового ПИД-регулятора, структура которого представлена на рисунке 2. Непрерывный закон ПИД-регулятора имеет вид

$$u(t) = K_n e(t) + K_n \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}. \quad (1)$$

где $e = T - T_{зад}$ – ошибка регулирования; K_n , K_u и K_d – коэффициенты пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего звеньев соответственно.

Запишем уравнение (1) в конечных разностях, путем замены $t = kT_k$ и получим алгоритм цифрового ПИД-регулятора

$$u(k) = K_n \left[e(k) + \frac{1}{T_u} \sum_{i=1}^k e(i)T_k + T_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_k} \right]. \quad (2)$$

где $k=1,2,3\dots$ – номер периода квантования; T_k – период квантования.

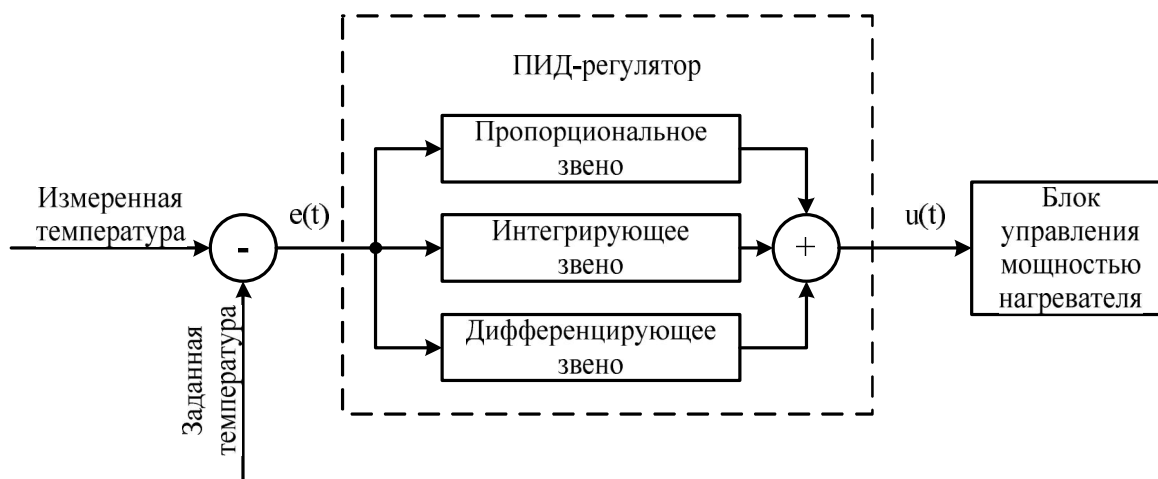


Рисунок 2 – Структура ПИД-регулятора блока управления температурой

Настройка регулятора. Для настройки цифрового ПИД-регулятора температуры был использован экспериментальный метод незатухающих колебаний (Никольса-Циглера) [6]. Экспериментальный метод настройки регуляторов не требуют знания математической модели объекта. Однако предполагается, что система смонтирована и может быть запущена в работу, а также существует возможность изменения настроек регулятора. Таким образом, можно проводить некоторые эксперименты по анализу влияния изменения настроек на динамику системы.

Сущность метода незатухающих колебаний заключается в следующем. В работающей системе выключаются интегральная и дифференциальная составляющие регулятора ($T_u = \infty$, $T_d = 0$), т.е. система переводится в П-закон регулирования. Путем последовательного увеличения коэффициента усиления K_n с одновременной подачей небольшого скачкообразного сигнала задания добиваются возникновения в системе незатухающих колебаний с периодом $T_{кр}$. Это соответствует выведению системы на границу колебательной устойчивости. При возникновении данного режима работы фиксируются значения критического коэффициента усиления регулятора $K_{кр}$ и периода критических колебаний в системе $T_{кр}$. При появлении критических колебаний ни одна переменная системы не должна выходить на уровень ограничения. По значениям $K_{кр}$ и $T_{кр}$ рассчитываются настройки ПИД регулятора:

$$K_n = 0,6K_{кр}; T_u = T_{кр}/2; T_d = T_{кр}/8. \quad (3)$$

В результате эксперимента были определены значения граничного коэффициента $K_{кр}$ и периода критических колебаний $T_{кр}$ при скоростях потока от 2,5 до 20 м/с и температурах

от 25 до 45 °С. Типовой вид графика температуры потока в режиме возникновения незатухающих колебаний представлен на рисунке 3. Результаты определения $K_{кр}$ и $T_{кр}$ приведены в таблицах 1 и 2. Скорость потока в таблицах характеризуется частотой импульсов датчика оборотов двигателя F . Минимальной скорости 2,5 м/с соответствует $F=500$ имп/с, максимальной скорости 20 м/с – $F=4000$ имп/с.

Из результатов следует, что $K_{кр}$ и $T_{кр}$ сильно зависят от скорости потока и практически инвариантны к изменениям его температуры. Графики зависимостей $K_{кр}(F)$ и $T_{кр}(F)$ представлены на рисунках 4 и 5 соответственно.

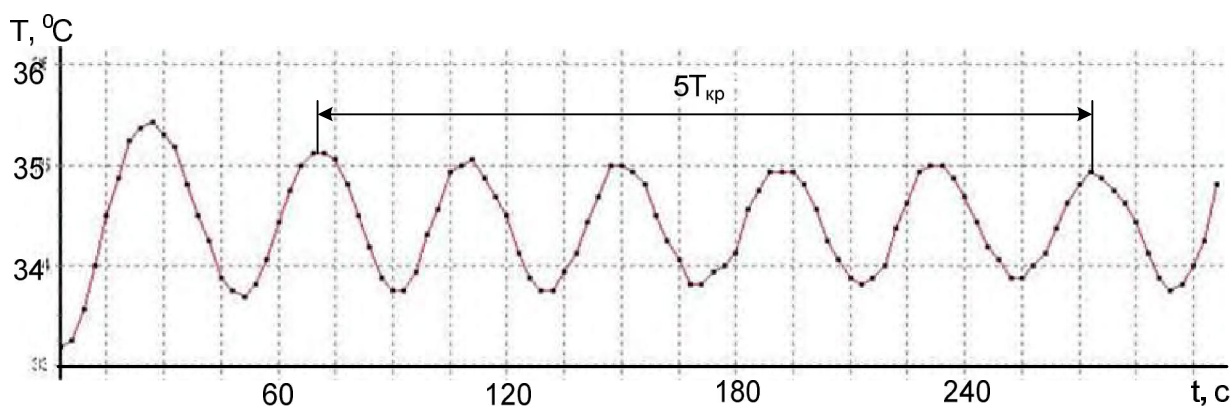


Рисунок 3 – Типовой вид графика температуры потока в режиме незатухающих колебаний

Таблица 1 – Период критических колебаний $T_{кр}$, с при различных скоростях и температурах

	$T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T=35\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T=45\text{ }^{\circ}\text{C}$
$F=500$ имп/с	67	65	63
$F=1000$ имп/с	40	41	42
$F=2000$ имп/с	30	30	30
$F=4000$ имп/с	22	21	21

Таблица 2 – Критический коэффициент передачи $K_{кр}$ при различных скоростях потока

F , имп/с	$K_{п\text{ }кр}$
500	300
1000	500
2000	700
4000	900

Аппроксимация экспериментальной зависимости $T_{кр}(F)$ выполнялась степенной функцией вида

$$T_{кр} = A \cdot F^n . \tag{4}$$

Коэффициенты A и n были определены средствами программы Excel путем добавления на график линии тренда и ее уравнения. В итоге получили: $A=1733$ и $n=-0,534$. Погрешность аппроксимации при этом не превышает 5 %. Аналогично для зависимости $K_{кр}(F)$ была подобрана логарифмическая аппроксимирующая функция

$$K_{кр} = B \ln(F) - C = 2.885 \ln(F) - 15 , \tag{5}$$

которая обеспечивает погрешность аппроксимации не более 2 %.

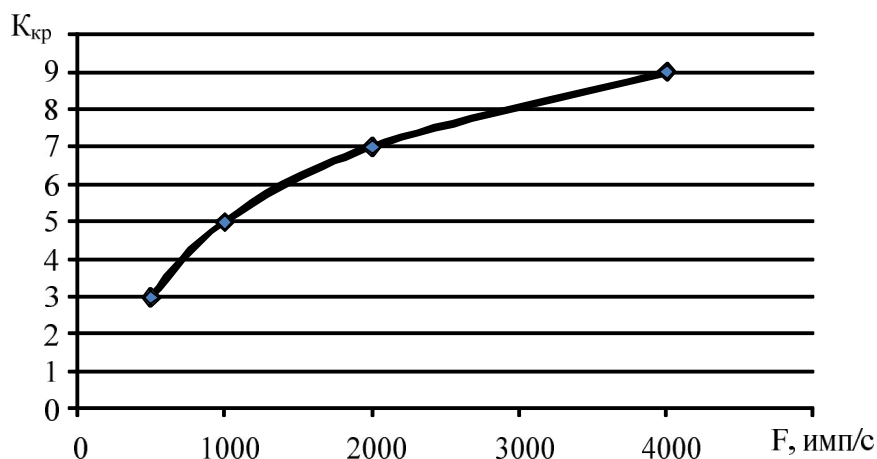


Рисунок 4 – Зависимость критического коэффициента усиления $K_{кр}$ от скорости потока

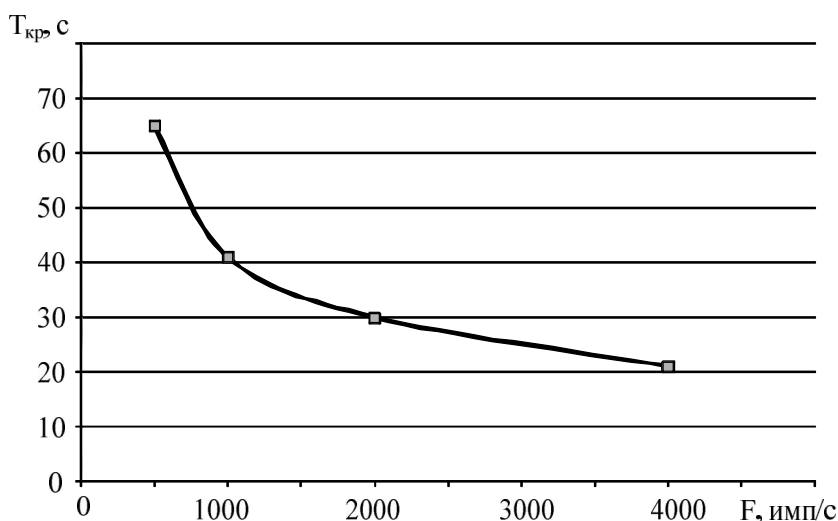


Рисунок 5 – Зависимость периода критических колебаний $T_{кр}$ от скорости потока

Зависимости (4) и (5) были реализованы на программном уровне в блоке управления температурой потока электронной системы аэродинамического стенда. Алгоритм работы регулятора температуры предполагает, что при каждом изменении уставки по скорости потока программа, используя зависимости (3-5), определяет оптимальные настройки цифрового ПИД-регулятора, чем обеспечивается высокое качество регулирования и, в конечном счете, высокая эффективность градуировки термоанемометров.

На рисунках 6-8 представлены результаты испытаний спроектированного регулятора температуры потока в составе электронной системы аэродинамического стенда АДС-200/250. При испытаниях фиксировалась реакция регулятора на скачкообразное изменение скорости потока (рис.6), изменение уставки по температуре в сторону ее увеличения (рис.7) и уменьшения (рис.8). Из результатов испытаний следует, что при различных переходных режимах в контуре управления температурой потока рассчитанный и настроенный по предложенной методике цифровой ПИД-регулятор обеспечивает закон регулирования близкий к оптимальному. Время установления заданной температуры с допустимой ошибкой регулирования $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет порядка 120 секунд.

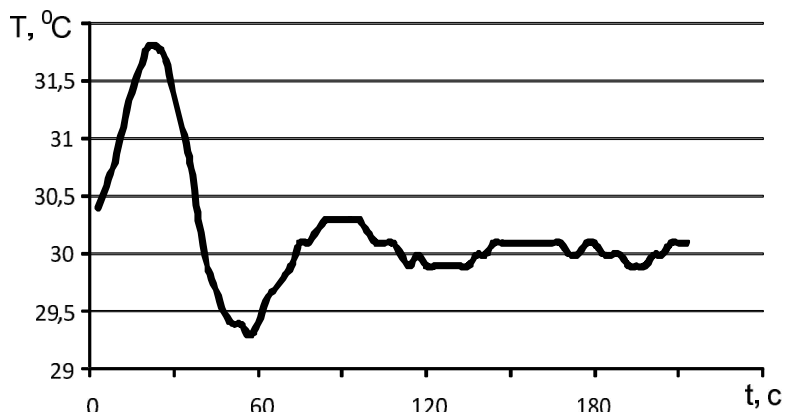


Рисунок 6 – График переходного процесса температуры потока при изменении скорости потока с 2,5 до 10 м/с

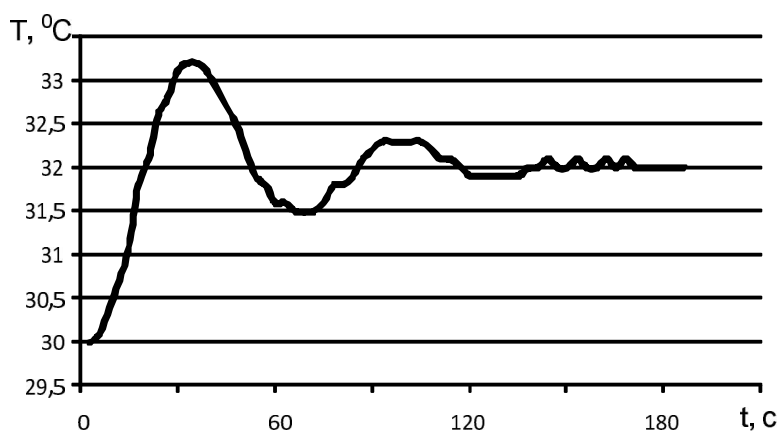


Рисунок 7 – График переходного процесса температуры потока при изменении уставки температуры с 30°C до 32°C при скорости потока 10 м/с

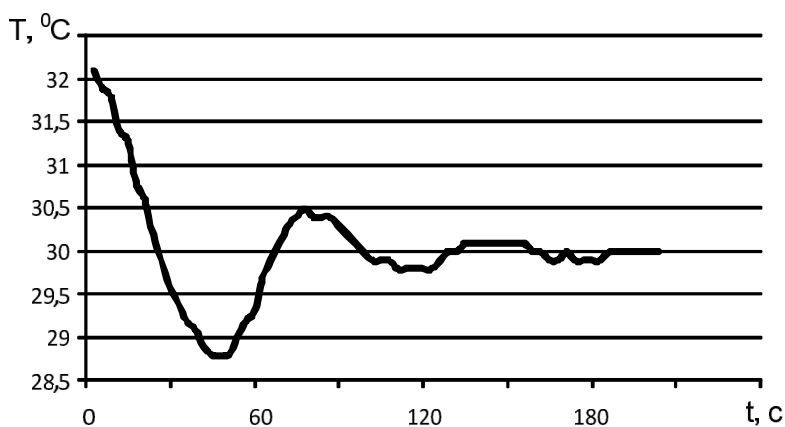


Рисунок 8 – График переходного процесса температуры потока при изменении уставки температуры с 32°C до 30°C при скорости потока 10 м/с

Полученные результаты позволяют оценить полное время градуировки термоанемометров. Например, при градуировке ТА на трех температурах с десятью точками по скорости имеем общее число точек градуировки $3 \cdot 10 = 30$, и полное время градуировки $30 \cdot 120 = 3600$ секунд или 1 час.

Выводы.

1. Предложенная методика расчета и реализации цифрового ПИД-регулятора температуры воздушного потока аэродинамического стенда позволяет учесть зависимость коэффициентов регулятора от скорости потока и обеспечивает оптимальные настройки в широком диапазоне скоростей потока.

2. Разработанный регулятор температуры является адаптивным к изменению скорости потока, что обеспечивает повышение эффективности градуировки термоанемометров, за счет сокращения времени установления температуры воздушного потока и повышения точности ее поддержания.

Литература

1. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И.Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1974, – 480 с.

2. Повх И.Л. Техническая гидромеханика. 2-е изд., доп. / И.Л. Повх. - Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.

3. Ярин Л.П. Термоанемометрия газовых потоков / Л.П. Ярин, А.Л. Генкин, В.И. Кулес. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983, – 198 с., ил.

4. Зори А.А. Повышение эффективности градуировки первичных измерительных преобразователей термоанемометров / А.А. Зори, Д.Н. Кузнецов // 36. наук. пр. ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2001. – Вип. 25. – С. 183-189.

5. Зори А.А., Кузнецов Д.Н. Методы и программно-аппаратные средства автоматизированной системы градуировки первичных измерительных преобразователей термоанемометров / А.А. Зори, Д.Н. Кузнецов // Известия ТРТУ. Тематический выпуск: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Компьютерные технологии в инженерной и управленч. деятельности". Таганрог: ТРТУ. – 2002. – №2 (25). – С.148-150.

6. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Линейные системы: учеб. пособие / Д. П. Ким. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – Т.2. - 288 с.

Надійшла до редакції:
15.02.2011

Рекомендовано до друку:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

Abstract

Kuznetsov D.N., Dyachenko A., Chupis D. Optimum air flow temperature regulator adjustment for the aerodynamic stand ADS-200/250. In this paper the problem of experimental optimum adjustments defining for a digital air flow temperature PID-controller in the aerodynamic stand ADS-200/250 is solved for various air flow velocities. The technique of PID-controller optimum adjustments calculation is proposed and experimental results are given.

Keywords: *adjustment, temperature controller, aerodynamic stand, tastings.*

Анотація

Кузнецов Д.М., Дьяченко А.А., Чупіс Д.А. Налаштування оптимального регулятора температури повітряного потоку аеродинамічного стенду АДС-200/250. У статті вирішується задача експериментального визначення оптимальних настройок цифрового ПИД-регулятора температури повітряного потоку в складі електронної системи аеродинамічного стенду АДС-200/250 при різних швидкостях потоку. Запропоновано методіку розрахунку оптимальних параметрів регулятора та наведені результати натурних випробувань.

Ключові слова: *налаштування, регулятор температури, аеродинамічний стенд, випробування.*

© Кузнецов Д.Н., Дьяченко А.А., Чупіс Д.А., 2011