

АЛГОРИТМ ОПРОСА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ПОТОКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА, ИНВАРИАНТНЫЙ К УРОВНЮ ЕГО ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Кузнецов Д.Н.

Донецкий национальный технический университет, г.Донецк
кафедра электронной техники

Abstract

Kuznetsov D. Algorithm interrogation the measuring channel of average speed of a flow in the aerodynamic stand, invariant to a level of pulsations instant speed. The algorithm ensuring invariancy a casual error of measurements average speed of a flow from a level pulsations of instant speed is considered.

Общая постановка проблемы. В СКТБ «Турбулентность» при Донецком национальном университете совместно с кафедрой «Электронная техника» Донецкого национального технического университета разработана специализированная информационно-измерительная система (ИИС) градуировки термоанемометрических измерительных преобразователей скорости (ТИПС) газа повышенной эффективности с использованием аэродинамического стенда АДС-200/250 [1,2]. Одним из способов повышения эффективности градуировки ТИПС, является снижение продолжительности градуировки путем сокращения времени многократного опроса измерительных каналов ИИС.

Постановка задачи. Многократный опрос каналов ИИС осуществляется с целью повышения точности и достоверности измерительных данных градуировки путем их статистической обработки. Длительность этой операции прямо пропорциональна объему выборки, который, в свою очередь, определяется требованиями к точности результатов измерений и уровнем турбулентности потока. Известно, что объем выборки пропорционален дисперсии сигнала [3], т.е. при увеличении (уменьшении) среднего уровня пульсаций скорости в M раз объем выборки и время измерений необходимо увеличить (уменьшить) в M^2 раз. Установили, что уровень турбулентности потока в АДС в общем случае не постоянен и зависит от ряда факторов, в том числе от скорости потока. Эксперименты подтвердили, что на малых скоростях (порядка 1 м/с) относительный уровень пульсаций мгновенной скорости потока в 4...5 раз больше, чем на максимальной (40 м/с). Следовательно, необходимый объем выборки в различных режимах и точках градуировки будет разным. При меньших объемах выборок не выполняются требования по точности измерений, а при больших – имеет место неоправданное уменьшение быстродействия.

Решение задачи и результаты исследований. Сущность предложенного алгоритма опроса и первичной обработки данных измерительных каналов ИИС градуировки, инвариантного к уровню пульсаций скорости потока, заключается в итеративном определении, непосредственно в процессе многократного опроса каналов, минимального количества выборок мгновенных значений измерительных сигналов, достаточного для минимизации случайной составляющей суммарной погрешности результата измерения средней скорости до уровня, позволяющего пренебречь ею в сравнении с неисключенной систематической составляющей.

Условие, при котором случайной погрешностью измерений можно пренебречь, определяется неравенством [4]:

$$\frac{\sqrt{n} \cdot \Delta_{sv}}{\sigma_v} > 8, \quad (1)$$

где n – объем выборки; Δ_{sv} и σ_v – соответственно неисключенная систематическая погрешность (НСП) и СКО случайной погрешности результатов наблюдений скорости потока.

Откуда, минимальное достаточное количество наблюдений:

$$n_{\min} = \frac{64 \cdot S_v^2}{\Delta_{sv}^2} \tag{2}$$

Предложенный алгоритм многократного опроса и обработки данных измерительных каналов ИИС градуировки, инвариантный к уровню турбулентности потока, состоит из следующих шагов:

- 1) Определить минимальный объем выборки мгновенных значений сигнала измерительного канала средней скорости потока, обеспечивающий требуемую достоверность статистических оценок [4], по формуле:

$$n_{\min} = \frac{2}{1 - p} \tag{3}$$

- 2) Выполнить опрос выбранного канала n_{\min} раз и сформировать выборку минимального объема.
- 3) Исключить из полученного ряда наблюдений результаты, содержащие грубые погрешности.
- 4) Если условие (1) выполняется, то переход на п.5, иначе выполнить однократный опрос выбранного канала и перейти на п.3.
- 5) За результат измерения принять среднее арифметическое ряда наблюдений.

Предложенный алгоритм обеспечивает инвариантность (независимость) точности измерений средней скорости потока от уровня его турбулентности.

Блок-схема предложенного алгоритма приведена на рис.1.

Выполним оценку сокращения времени операции многократного опроса измерительных каналов ИИС. В качестве исходных данных примем следующие: интервал временной дискретизации $T_o=0,1$ с, допустимая НСП результата измерения средней скорости потока $\Delta_{sv}=0,5$ %, зависимость уровня турбулентности потока в области градуировки от средней скорости, полученная экспериментально (рис.2).

Результаты расчета объемов выборок n и длительностей измерений T в различных точках по скорости потока сведены в табл.1.

Табл.1. Результаты расчета объемов выборок n и длительностей измерений T в различных точках по скорости потока

i	$v_i, \text{кг/м}^2/\text{с}$	$\sigma_{vi}, \%$	n_i	$T_i, \text{с}$
1	1	2,2	1239	123,9
2	2	2	1024	102,4
3	4	1,6	655	65,5
4	6	1,45	538	53,8
5	9	1,2	369	36,9
6	15	1	256	25,6
7	20	0,85	185	18,5
8	25	0,8	164	16,4
9	30	0,75	144	14,4
10	40	0,7	125	12,5

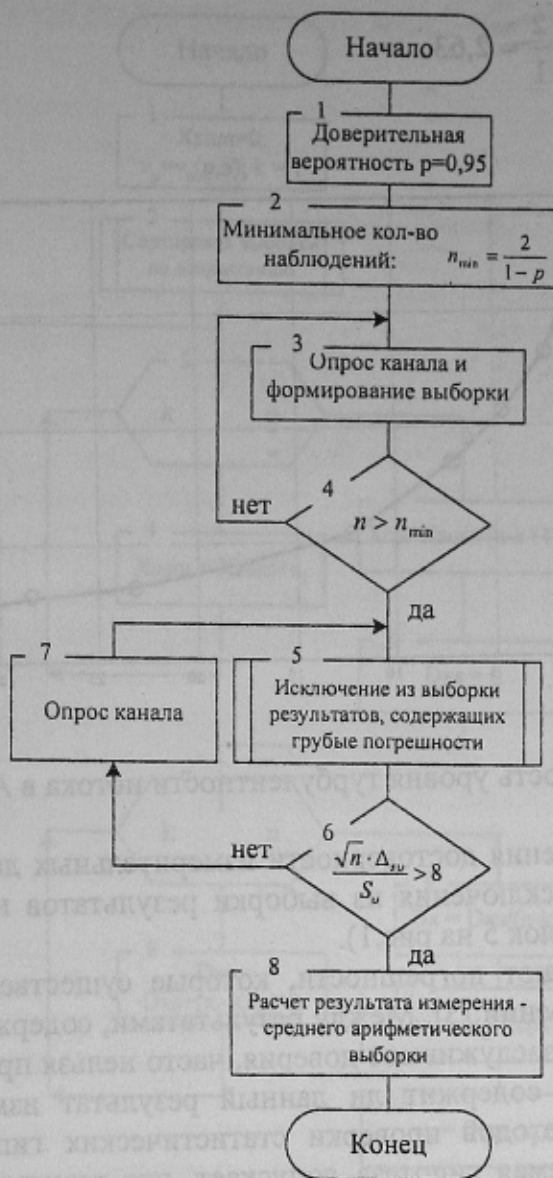


Рис.1. Блок схема алгоритма опроса измерительного канала средней скорости потока ИИС градуировки, инвариантный к уровню его турбулентности

На основании полученных результатов определим:

- 1) Суммарное время измерений при использовании предложенного алгоритма опроса каналов:

$$T_{эц1} = 4 \cdot \sum_{i=1}^{10} T_i = 1880 \text{ с.} \tag{4}$$

- 2) Суммарное время измерений без использования предложенного алгоритма опроса каналов:

$$T_{эц2} = 40 \cdot T_1 = 4956,2 \text{ с.} \tag{5}$$

Используем полученных выше результаты для оценки сокращения времени измерений при градуировке от использования алгоритма опроса каналов, инвариантного к уровню пульсаций скорости потока:

$$M = \frac{T_{\text{дс}} 2}{T_{\text{дс}} 1} = 2,63. \tag{6}$$

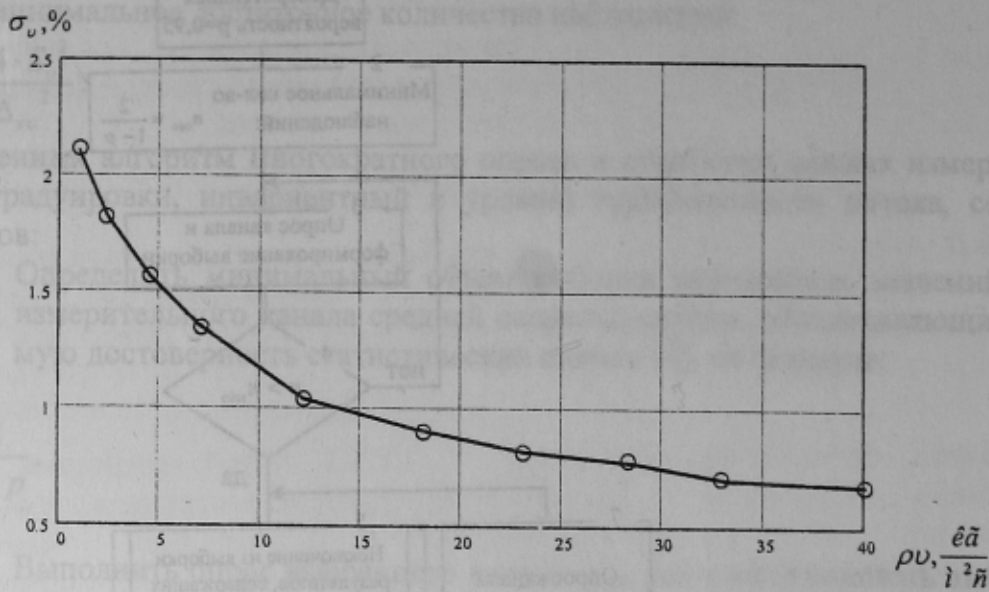


Рис.2. Зависимость уровня турбулентности потока в АС от средней скорости

С целью повышения достоверности измерительных данных предложенный алгоритм содержит процедуру исключения из выборки результатов наблюдений, которые содержат грубые погрешности (блок 5 на рис.1).

Грубыми называют погрешности, которые существенно превышают ожидаемые в данных условиях измерений [3]. Между результатами, содержащими грубые погрешности, и результатами, которые заслуживают доверия, часто нельзя провести четкую границу. В этом случае вопрос о том, содержит ли данный результат измерений грубую погрешность, решается одним из методов проверки статистических гипотез. При выявлении грубых погрешностей проверяемая гипотеза допускает, что результат измерений x_i не содержит грубой погрешности и является одним из значений случайной величины X . Сомнения в первую очередь вызывают наибольший (x_{max}) и наименьший (x_{min}) из результатов наблюдений. Блок-схема алгоритма исключения результатов измерений, содержащих грубые погрешности, представлена на рис.3. Проверка гипотезы сводится к следующему:

- 1) для полученного ряда наблюдений находят статистические оценки параметров нормального закона распределения вероятностей – математического ожидания и дисперсии

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \tag{7}$$

$$D_x = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2. \tag{8}$$

- 2) находят вспомогательные отношения

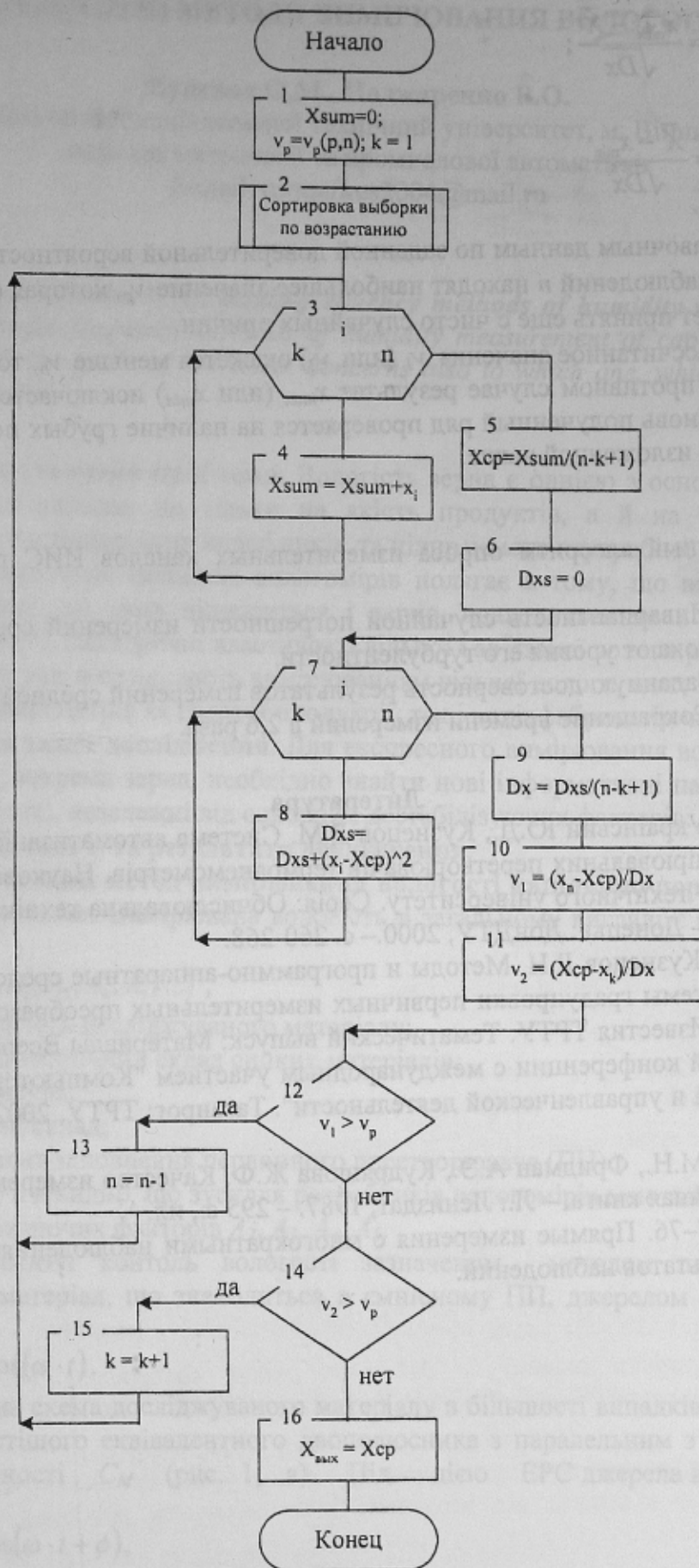


Рис.3 Блок-схема алгоритма исключения результатов измерений, содержащих грубые погрешности

$$v_1 = \frac{x_{\max} - \bar{X}}{\sqrt{Dx}}; \tag{9}$$

$$v_2 = \frac{\bar{X} - x_{\min}}{\sqrt{Dx}}. \tag{10}$$

- 3) по справочным данным по заданной доверительной вероятности P и числу результатов наблюдений n находят наибольшее значение v_p , которая случайная величина v может принять еще с чисто случайных причин.
- 4) если рассчитанное значение v_1 (или v_2) окажется меньше v_p , то гипотеза принимается; в противном случае результат x_{\max} (или x_{\min}) исключается из ряда наблюдений и вновь полученный ряд проверяется на наличие грубых погрешностей по методике, изложенной выше.

Выводы.

Предложенный алгоритм опроса измерительных каналов ИИС градуировки ТИПС обеспечивает:

- 1) Инвариантность случайной погрешности измерений средней скорости потока от уровня его турбулентности.
- 2) Заданную достоверность результатов измерений средней скорости потока.
- 3) Сокращение времени измерений в 2,6 раза.

Литература

1. Зорі А.А., Український Ю.Д., Кузнецов Д.М. Система автоматизації градуювання первинних вимірювальних перетворювачів термоанемометрів. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 20: – Донецьк: ДонДТУ, 2000.– с. 260-268.
2. Зори А.А., Кузнецов Д.Н. Методы и программно-аппаратные средства автоматизированной системы градуировки первичных измерительных преобразователей термоанемометров. Известия ТРТУ. Тематический выпуск: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием "Компьютерные технологии в инженерной и управленческой деятельности". Таганрог: ТРТУ, 2002, №2 (25). – с.148-150.
3. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений: Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987. – 295 с., ил.
4. ГОСТ 8.207–76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.