



даткин, Н.А. Порунов, Н.Н. Макаров, В.П. Белов, Д.А. Истомин. Заявл. 23.11.2009. Опубл. 20.08.2011. Бюл. №23.

[7] Никитин А.В., Солдаткин В.М. Теоретические основы построения, разработка и экспериментальные исследования системы измерения параметров вектора ветра на борту вертолета // Вестник Тульского государственного университета. Технические науки. –2017. – Выпуск 9. – Ч.2. – С. 141-154. (1,75 п.л.).

Д.А. Егоров, А.С. Пеньков, Н.В. Глушкова, А.В. Никитин

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА СТОЯНКЕ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА

(Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н.Туполева-КАИ)

Анализ авиационных происшествий вертолетов показывает [1], что значительная часть из них связана с отсутствием у экипажа информации о состоянии окружающей воздушной среды. Для удовлетворения требований безопасности, регламентируемых Руководством по летной эксплуатации вертолета [2], необходимо использовать бортовые средства измерения параметров вектора ветра на стоянке, стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета. Однако при расположении средств измерения параметров вектора ветра на фюзеляже вертолета на их работу оказывают существенное влияние индуктивные потоки вихревой колонны несущего винта, ограничивающие возможность измерения скорости и угла направления ветра при вращении несущего винта.

Все это определяет актуальность создания бортовой системы измерения параметров вектора скорости ветра вертолета, обеспечивающей:

- измерение величины W и направления ψ вектора скорости ветра w относительно продольной оси вертолета или продольной W_x и боковой W_z составляющих вектора W , а также абсолютного давления P_{H_0} и температуры наружного воздуха T_{H_0} на стоянке до запуска силовой установки и раскрутки трансмиссии вертолета (стояночный режим);
- измерение параметров вектора скорости ветра W при запуске силовой установки, раскрутке трансмиссии и вращении несущего винта вертолета, в процессе руления и маневрирования по земной поверхности;
- измерение параметров вектора истинной воздушной скорости V_B (величины (модуля) V_B , угла скольжения β и угла атаки α), абсолютной H и относительной $H_{отн}$ высот и вертикальной скорости $V_y = dH / dt$ при взлете и посадке, при снижении и заходе на посадку, определение продольной W_x и боковой W_z составляющих вектора скорости ветра W на режиме висения при работе силовой установки, вращении несущего винта и работе автомата перекоса (взлетно-посадочный режим).



Тогда, на стоянке величина W и угол направления ψ , а следовательно, продольная W_x и боковая W_z составляющие вектора скорости ветра W , а также статическое давление P_{H_0} определяются по давлениям P_i и $P_{ст.д}$, воспринимаемым посредством трубок полного давления 4 и кольцевого приемника 6 дросселированного статического давления неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника 1 (рис. 1).

Как показано в работе [4], угловые характеристики трубок полного давления (рис. 2) симметричны относительно оси трубок. При этом угловые характеристики трубок полного давления с номерами $i-1$ и $i+1$ имеют точку пересечения, угловая координата которой совпадает с координатой максимума угловой характеристики i -трубки полного давления. Пересекающиеся ветви угловых характеристик $i-1$ и $i+1$ трубок полного давления имеют участки достаточно большой угловой протяженностью, в пределах которой воспринимаемые давления P_{i-1} , P_i и P_{i+1} зависят от угла направления ψ ветра, набегающего на неподвижный многоканальный проточный аэрометрический приемник.

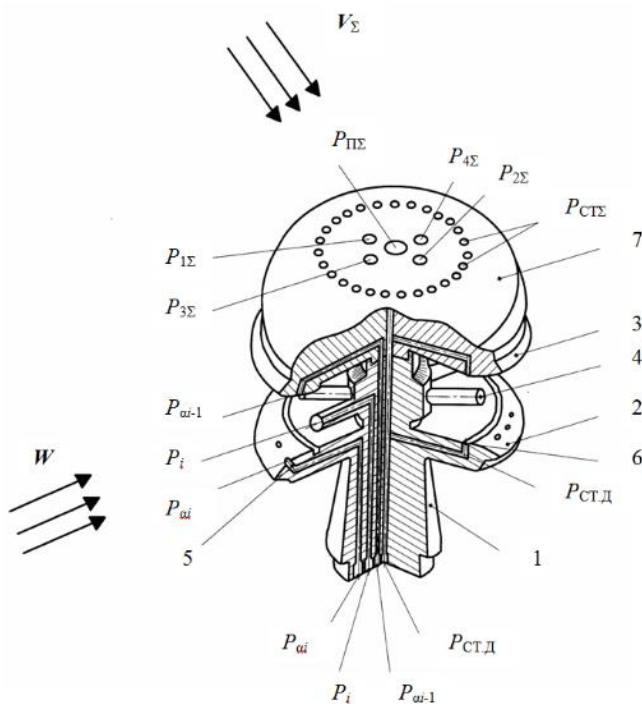


Рисунок 1 – Конструктивная схема неподвижного комбинированного аэрометрического приемника

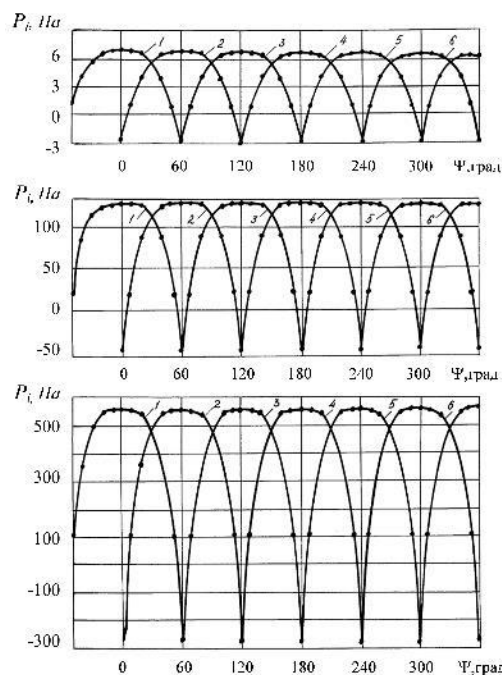


Рисунок 2 – Угловые характеристики неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника

Указанные особенности угловых характеристик неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника позволяют использовать следующий алгоритм обработки первичных информативных сигналов P_i для определения параметров вектора ветра W на стоянке вертолета [4].

На первом этапе обработки массива давлений P_i определяется номер i -й трубки полного давления, в пределах которой локализовано направление вектора скорости ветра W . За такую i -ю трубку полного давления, как следует из



рис. 3, принимается трубка, в которой значение измеренного давления P_i является наибольшей из всех трубок полного давления (номера трубок полного давления обозначаются $i = 0, 1, 2, 3 \dots n$). При этом принимается, что ось трубки полного давления под номером $i = 0$ совпадает с началом исходной системы координат отсчета угла направления ψ вектора скорости ветра W .

По определенному номеру i -й трубки полного давления, в которой давление P_i наибольшее, определяется первое приближение ψ_{mi} угловой координаты направления вектора скорости ветра W в соответствии с соотношением

$$\psi_{mi} = \frac{360}{n} i, \text{ где } n - \text{ количество расположенных под одинаковым углом трубок}$$

полного давления (как правило $n = 6$ или $n = 8$).

На втором этапе обработки массива давлений P_i проводится предварительная оценка положения ψ вектора скорости ветра W . С этой целью сравниваются между собой давления P_{i-1} и P_{i+1} и проверяется какое из неравенств выполняется

$$P_{i-1} > P_{i+1} \text{ или } P_{i-1} < P_{i+1},$$

где P_{i-1} и P_{i+1} – давления, измеренные в трубках полного давления, смежных с i -ой трубкой.

Для определения точного значения угловой координаты ψ вектора скорости ветра осуществляется преобразование реальной угловой характеристики трубок полного давления в другую систему координат путем введения безразмерной угловой координаты θ , начало которой совпадает с точкой пересечения смежных ветвей угловых характеристик $i-1$ и $i+1$ трубок полного давления, как показано на рис.3. Сущность такого преобразования координат сводится к замене углового отклонения $\Delta\psi$ угловой характеристики i -ой трубки полного давления от реального направления ψ вектора скорости ветра W на безразмерную координату θ , изменение которой определяется выбором шага t_0 введенной координатной сетки.

Угловое положение θ i -й трубки полного давления относительно направления ψ вектора скорости ветра W в новой системе координат определяется из решения одного из уравнений:

$$\bar{P}_i = \frac{P_{i+1}}{P_i} = \frac{f(\theta)}{f(-\theta)} \text{ или } \bar{P}_i = \frac{P_{i-1}}{P_i} = \frac{f(-\theta)}{f(\theta)}, \quad (1)$$

где $f(\theta)$ и $f(-\theta)$ – аппроксимирующие полиномы степени k , вычисленные по результатам предварительной градуировки неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника и описывающие соответственно правую и левую части угловой характеристики смежных $i-1$ и $i+1$ трубок полного давления в введенной системе координат.

Тогда второе приближение угловой координаты ψ вектора скорости ветра

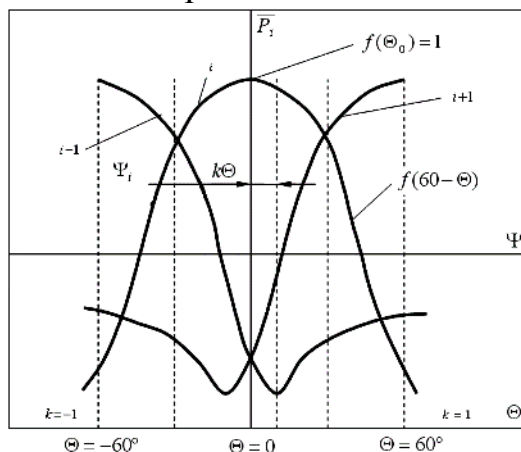


Рисунок 3 – Графическая интерпретация преобразования угловых координат трубок полного давления



W в исходной системе координат будет определяться выражением

$$\psi = \psi_{mi} \pm (\theta_{\max} - \theta_x)t_0, \quad (2)$$

где t_0 – координатный шаг сплайн-функции, реализующей аппроксимирующий полином $P_i = f(\theta)$ в безразмерной системе координат, например при $n = 6$ $t_0 = 60^\circ$.

Для определения модуля (величины) W вектора скорости ветра по полученному значению θ безразмерного углового положения i -ой трубки полного давления вычисляется значение давления $P_{i \max}$, соответствующее совпадению направления вектора скорости ветра с осью i -ой трубки полного давления. Это вычисление проводится в соответствии со следующими зависимостями:

$$P_{i \max} = \begin{cases} P_i \frac{f(\theta_{\max})}{f(-\theta_x)} & \text{при } P_{i-1} > P_{i+1}; \\ P_i \frac{f(-\theta_{\max})}{f(-\theta_x)} & \text{при } P_{i-1} < P_{i+1}. \end{cases} \quad (3)$$

По полученному значению $P_{i \max}$ определяется численное значение величины W скорости ветра с использованием выражения вида

$$W = \sqrt{\frac{2}{\rho_{H_0}} (P_{i \max} - P_{H_0})} = \sqrt{\frac{2P_0 T_0}{P_{H_0} T_{H_0} \rho_0} (P_{i \max} - P_{H_0})}, \quad (4)$$

где $\rho_{H_0} = \rho_0 \frac{P_{H_0} T_{H_0}}{T_0 P_0}$ – плотность воздуха на высоте стоянке H_0 ; P_{H_0} и T_{H_0} – статическое давление и абсолютная температура на высоте стоянки H_0 ; P_0 , T_0 и ρ_0 – статическое давление, абсолютная температура и плотность воздуха на высоте $H=0$ стандартной атмосферы.

Статическое давление P_{H_0} и абсолютная температура T_{H_0} на высоте стоянки H_0 вертолета определяются по статическому давлению $P_{\text{ст.д}}$, воспринимаемому неподвижным проточным аэрометрическим приемником 1 (рис. 1), и по показаниям приемника температуры торможения T_T .

Предлагаемая бортовая система измерения ветра решает задачу информационного обеспечения экипажа вертолета на стоянке, при рулении и маневрировании по земной поверхности, на взлетно-посадочных и полетных режимах. Использование системы позволит повысить эффективность применения и безопасность эксплуатации одновинтовых вертолетов различного класса и назначения.

Литература

- [1] Ерусалимский М.А., Егоров В.Н. Экипажам вертолетов – информационную поддержку // Авиасоюз. 2011. №2. С. 24 – 26.
- [2] Руководство по летной эксплуатации вертолета Ми-8 (издание 4-ое). М: Авторитет. 1996. 554с.
- [3] Патент РФ на изобретение № 2426995, МПК G 01 P 5/00. Система измерения малых воздушных скоростей вертолета / В.В. Солдаткин, В.М. Солдаткин, Н.А. Порунов, Н.Н. Макаров, В.П. Белов, Д.А. Истомин. Заявл. 23.11.2009. Оpubл. 20.08.2011. Бюл. №23.



[4] Никитин А.В., Солдаткин В.М. Теоретические основы построения, разработка и экспериментальные исследования системы измерения параметров вектора ветра на борту вертолета // Вестник Тульского государственного университета. Технические науки. –2017. – Выпуск 9. – Ч.2. – С. 141-154. (1,75 п.л.).

Е.С. Ефремова

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИХРЕВОЙ СИСТЕМЫ ВОЗДУШНЫХ СИГНАЛОВ ДОЗВУКОВОГО САМОЛЕТА

(Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ)

Традиционные системы воздушных сигналов построены на основе нескольких датчиков и приемников первичной аэрометрической информации (флюгерных датчиков угла атаки и скольжения, приемников воздушных давлений, приемников температуры наружного воздуха), распределенных по фюзеляжу и вынесенных в набегающий воздушный поток [1, 2]. При этом восприятие, выделение, преобразование и обработка амплитудных информативных сигналов в виде углов поворота флюгера, абсолютных давлений, перепадов давлений, электрических сопротивлений и других неизбежно приводит к аддитивным и мультипликативным погрешностям, зависящим от параметров набегающего потока и атмосферы [3].

Значительно меньше потери информации при выделении, преобразовании и обработке частотно-временных первичных информативных сигналов, их восприятие с помощью одного многофункционального приемника определяют перспективность оригинальной вихревой системы воздушных сигналов [4, 5] (см. рисунок), построенная на основе оригинального вихревого датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости [6, 7].

Измеренные частоты f_1 и f_2 поступают на вход устройства обработки 4, выполненного в виде вычислителя, на выходе которого формируются значения аэродинамического угла α и истинной воздушной скорости V_B в соответствии с уравнениями [6, 7]

$$\alpha = \arctg \frac{f_2 - f_1}{f_1 + f_2}; \quad V_B = \frac{l}{\sqrt{2Sh}} \frac{f_1 f_2}{\sqrt{f_1^2 + f_2^2}}, \quad (1)$$

где f_1 и f_2 – частоты вихреобразования за клиновидными телами 1; Sh – число Струхала; α и V_B – аэродинамический угол и истинная воздушная скорость.