



### Литература

- [1] Соколов Ю.Г. *Применение вертолетов с авианесущих кораблей*. М.: Воениздат, 1989. 180 с.
- [2] Ерусалимский М.А., Егоров В.Н. *Экипажам вертолетов – информационную поддержку* // Авиасоюз. 2011. №2 (35). С. 24–25.
- [3] *Нормы летной годности гражданских вертолетов*, НЛГВ. М.: ЦАГИ, 1987. 350 с.
- [4] Тихомиров А.А. *Ультразвуковые анемометры и термометры для измерения пульсаций скорости и температуры воздушных потоков. Обзор* // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т.23. №7. С. 585 – 600.
- [5] Азбукин А.А., Богусевич Л.Я., Кобров А.А., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Шелевой В.Д. *Автоматические метеостанции АМК–03 и их модификации* // Датчики и системы. 2012. №3. С. 42 – 52.
- [6] 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. Опубл. 20.08.2011. Бюл. №23.
- [7] Солдаткин В.В. *Система воздушных сигналов вертолета на основе неподвижного аэрометрического приемника и информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта*: Монография. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. 284 с.

Д.М. Габитова, А.В. Никитин

### ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА СТОЯНКЕ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА

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

Анализ авиационных происшествий одновинтовых вертолетов показывает [1], что значительная часть из них связана с отсутствием у экипажа информации о состоянии окружающей воздушной среды. Для удовлетворения требований, 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  $\psi$  вектора скорости ветра  $w$  от-



носителем 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  $\beta$  и угла атаки  $\alpha$ ), 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  $\psi$ , 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  $\psi$  ветра, набегающего на неподвижный многоканальный проточный аэрометрический приемник.

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  $\psi$  вектора скорости ветра  $W$ .

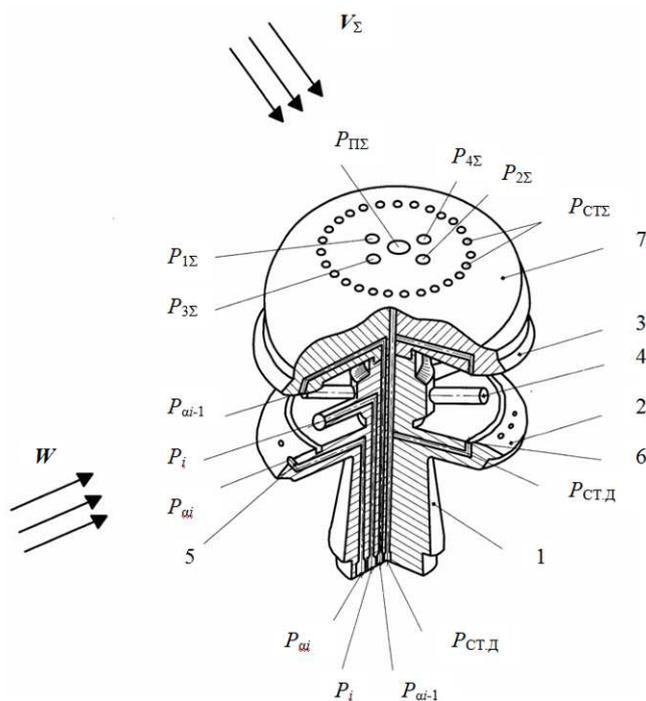


Рисунок 1 – Конструктивная схема неподвижного комбинированного аэрометрического приемника

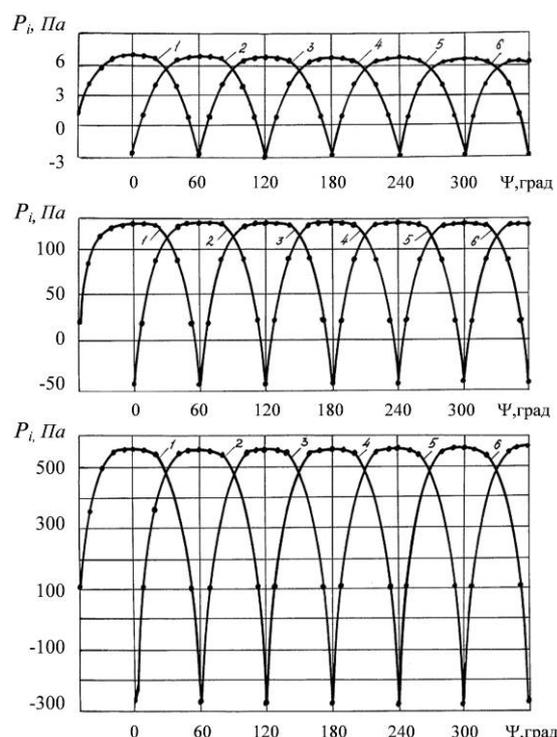


Рисунок 2 – Угловые характеристики неподвижного многоканального проточного аэрометрического приемника

По определенному номеру  $i$ -й трубки полного давления, в которой давление  $P_i$  наибольшее, определяется первое приближение  $\psi_{mi}$  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  $\psi$  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  $\psi$  вектора скорости ветра осуществляется преобразование реальной угловой характеристики трубок полного давления в другую систему координат путем введения безразмерной угловой координаты  $\theta$ , 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  $\psi$  вектора скорости ветра  $W$  на безразмерную координату  $\theta$ , изменение которой определяется выбором шага  $t_0$  введенной координатной сетки.



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

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

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  $\psi$  вектора скорости ветра  $W$  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  $\theta$  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  $\rho_0$  – статическое давление, абсолютная температура и плотность воздуха на высоте  $H=0$  стандартной атмосферы.

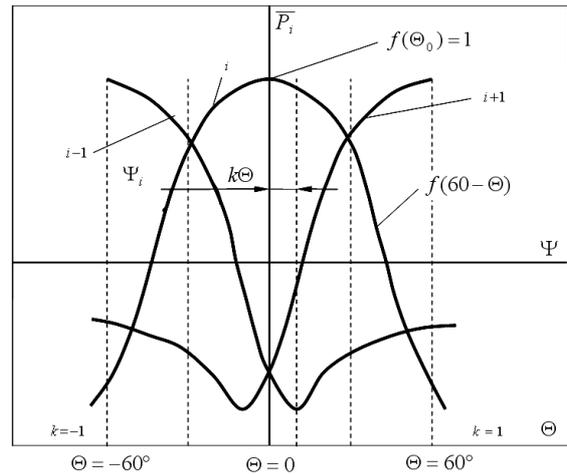


Рисунок 3 – Графическая интерпретация преобразования угловых координат трубок полного давления



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

Предлагаемая бортовая система измерения параметров вектора 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. Опубл. 20.08.2011. Бюл. №23.

[4] Солдаткин В.М. *Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов*. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2001. 448 с.

С.Л. Гавлиевский

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

(Самарский государственный технический университет)

### 1. Введение

Технологические сети связи (ТСС) являются неотъемлемой составной частью производственных комплексов, предназначенных для добычи, транспортировки, хранения и поставок углеводородов. Широкое использование волоконно-оптического кабеля (ВОК) снимает проблему нехватки пропускной способности ТСС для пропуска всех видов трафика, но лишь при условии, что кабель находится в рабочем состоянии. При обрыве кабеля на отдельных участках и переходе на резервные каналы, пропускная способность уменьшается на порядки. И этот факт необходимо учесть при выполнении научно-исследовательских работ и системного анализа [1-5]. При этом также надо учесть, что поскольку ВОК проложен в непосредственной близости от трубопровода, то при возникновении чрезвычайной ситуации (ЧС), велика вероятность обрыва ВОК. А это означает, что именно при работе в экстремальных условиях, пропускная способность ТСС может резко сократиться, что может по-