



Литература

- [1] Браверман А.С., Вайнтруб А.П. Динамика вертолета. Предельные режимы полета. М.: Машиностроение, 1988. 280 с.
- [2] Володко А.М. Безопасность полетов вертолетов. М.: Транспорт, 1981. 223 с.
- [3] Нормы летной годности гражданских вертолетов. М.: Изд-во ЦАГИ, 1987. 350 с.
- [4] Никитин А.В., Солдаткин В.М. Система измерения параметров вектора ветра и вектора истинной воздушной скорости на борту вертолета // Датчики и системы. – 2015. - №4(191). – С. 48-54.

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

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА СТАРТОВЫХ И ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНЫХ РЕЖИМАХ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА

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

Для предотвращения авиационных происшествий на стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета, при решении полетных и специальных задач необходима информация о величине и положении вектора ветра относительно продольной оси вертолета [1-3]. Измерение параметров вектора ветра и вектора истинной воздушной скорости на стоянке, при рулении и маневрировании по земной поверхности, при взлете и посадке, на режиме висения и в полете известными средствами [4, 5] ограничивается значительными аэродинамическими возмущениями, вносимыми вихревой колонной несущего винта, что определяет необходимость создания бортовых систем, максимально учитывающих специфику аэродинамики и динамики движения вертолета на всех этапах полета.

Учитывая специфику работы бортовой системы измерения параметров вектора ветра одновинтового вертолета для определения параметров вектора ветра W и вектора истинной воздушной скорости V_B вертолета при работе двигательной установки и раскрутки трансмиссии, при рулении и маневрировании по земной поверхности, на взлетно-посадочных режимах, при снижении и на режиме висения, предложено построить ее на основе неподвижного комбинированного аэрометрического приемника с использованием информации аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта [6].

В качестве информативного параметра аэродинамического поля вихревой колонны несущего винта вертолета используется вектор скорости V_Σ в виде геометрической суммы стационарных составляющих вектора скорости V воздушного потока, формируемого движением вертолета относительно окружающей среды или вектором скорости ветра W , и вектора скорости V_i индуктивного воздушного потока, создаваемого несущим винтом вертолета, т.е. $V_\Sigma = V + V_i$. За



меру величин составляющих вектора скорости ветра W и вектора истинной воздушной скорости V_B вертолета принимается угловое положение вектора скорости v_Σ результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта, относительно неподвижного датчика воздушных сигналов, которое регистрируется ортогонально расположенным приемникам давлений P_1 и P_2 , P_3 и P_4 на поверхности полусферического приемника.

Величину V_Σ скорости результирующего набегающего воздушного потока можно определить по полному $P_{\Pi\Sigma}$ и статическому $P_{CT\Sigma}$ давлениям и температуре $T_{T\Sigma}$ заторможенного результирующего воздушного потока, воспринимаемой приемником температуры торможения, используя зависимость [7]:

$$V_\Sigma = 44,826 \sqrt{\frac{T_{T\Sigma} \left[\left(\frac{P_{\Pi\Sigma}}{P_{CT\Sigma}} \right)^{0,2857143} - 1 \right]}{\left(\frac{P_{\Pi\Sigma}}{P_{CT\Sigma}} \right)^{0,2857143}}}, \quad (1)$$

где параметры, входящие в формулу (1) имеют размерности в единицах системы СИ.

Для конкретного места установки неподвижного датчика воздушных сигналов на фюзеляже вертолета составляющие V_{ix} , V_{iy} , V_{iz} вектора индуктивного потока V_i в связанной системе координат можно описать уравнениями вида [7]:

$$V_{ix} = k_{ix}|V_{i0}|; \quad V_{iy} = k_{iy}|V_{i0}|; \quad V_{iz} = k_{iz}|V_{i0}|, \quad (2)$$

где k_{ix} , k_{iy} , k_{iz} – безразмерные коэффициенты, зависящие от величины (модуля) вектора скорости V , угла атаки α , угла скольжения β и других параметров полета вертолета, определяемые по результатам летных испытаний системы на вертолете;

те; $|V_{i0}| = \sqrt{\frac{Gn_y}{2\chi\rho_H F}}$ – модуль вектора скорости V_i индуктивного потока на режиме висения ($V = 0$); G – текущий вес вертолета; n_y – нормальная перегрузка;

$\rho_H = \frac{P_H T_H}{T_0 P_0} \rho_0$ – плотность воздуха на высоте полета H ; P_H и T_H – статическое

давление и температура на высоте H ; F – площадь, ометаемая несущим винтом вертолета; χ – коэффициент заполнения несущего винта.

Поскольку неподвижный датчик ветра расположен на фюзеляже на определенном радиусе-векторе R от центра масс вертолета, то при вращении вертолета относительно центра масс имеет место кинематическое искажение вектора скорости v невозмущенного воздушного потока, набегающего на приемник, которое определяется уравнением вида

$$\mathbf{V}_k = \mathbf{V} + \omega \times \mathbf{R}(x, y, z), \quad (3)$$

где \mathbf{V}_k – кинематически искаженный вектор скорости набегающего воздушного потока в месте установки многофункционального аэрометрического приемника; $\omega(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ – вектор угловой скорости вращения вертолета относительно цен-



тра масс; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые скорости вращения вертолета относительно осей связанной системы координат; x, y, z – координаты места установки многофункционального аэрометрического приемника в связанной системе координат, центр которой находится в центре масс вертолета.

Проекции вектора \mathbf{V}_k на оси связанной системы координат определяются как

$$V_{kx}=V_x+(\omega_y z-\omega_x y); \quad V_{ky}=V_y+(\omega_z x-\omega_x z); \quad V_{kz}=V_z+(\omega_x y-\omega_y x). \quad (4)$$

По давлениям P_1, P_2 и P_3, P_4 , воспринимаемым отверстиями, расположенными на верхней поверхности полусферического приемника, используя известные соотношения, можно вычислить углы φ_1 и φ_2 , определяющие положение вектора скорости \mathbf{V}_Σ результирующего набегающего воздушного потока вихревой колонны несущего винта вертолета относительно осей приемника:

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{01}} \frac{P_1 - P_2}{P_{\Pi\Sigma} - P_{\text{СТ}\Sigma}} \right); \quad \varphi_2 = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\Pi\Sigma} - P_{\text{СТ}\Sigma}} \right). \quad (5)$$

Тогда по давлениям P_1 и P_2, P_3 и $P_4, P_{\Pi\Sigma}$ и $P_{\text{СТ}\Sigma}$ и по температуре торможения $T_{\text{Т}\Sigma}$, после их преобразования в электрические сигналы с помощью датчиков дифференциального и абсолютного давлений 4 (см. рисунок) и ввода через мультиплексор 5 и аналого-цифровой преобразователь 6 в микропроцессор 7, параметры вектора истинной воздушной скорости вертолета при рулении и маневрировании по земной поверхности и на взлетно-посадочных режимах вычисляются в соответствии с уравнениями вида:

$$\begin{aligned} V_x &= V_\Sigma \cos \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{01}} \frac{P_1 - P_2}{P_{\Pi\Sigma} - P_{\text{СТ}\Sigma}} \right) \right] \times \\ &\times \cos \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\Pi\Sigma} - P_{\text{СТ}\Sigma}} \right) \right] - K_{ix} |V_{i0}| - (\omega_y z - \omega_x y); \\ V_y &= V_\Sigma \sin \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{01}} \frac{P_1 - P_2}{P_{\Pi\Sigma} - P_{\text{СТ}\Sigma}} \right) \right] \times \\ &\times \cos \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\Pi\Sigma} - P_{\text{СТ}\Sigma}} \right) \right] - K_{iy} |V_{i0}| - (\omega_z x - \omega_x z); \\ V_z &= V_\Sigma \sin \left[90^\circ - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{4}{9 \sin 2\varphi_{02}} \frac{P_3 - P_4}{P_{\Pi\Sigma} - P_{\text{СТ}\Sigma}} \right) \right] - K_{iz} |V_{i0}| - (\omega_x y - \omega_y x); \\ V_B &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}; \quad \alpha = \arctg \frac{V_y}{V_x}; \quad \beta = \arcsin \frac{V_z}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}} = \arcsin \frac{V_z}{V_B}. \end{aligned} \quad (6)$$

Используя информацию о величине V_Π и угле сноса ψ_c вектора путевой скорости V_Π вертолета от доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС) и информацию о составляющих вектора истинной воздушной скорости,



можно определить величину W и направление ψ вектора скорости ветра \vec{W} или продольную W_x и боковую W_z составляющие вектора ветра на взлетно-посадочных режимах:

$$\Psi = \beta + \psi_c; \quad W_x = V_x - V_{\text{п}} \cos \psi; \quad W_z = V_z - V_{\text{п}} \sin \psi; \quad W = \sqrt{W_x^2 + W_z^2}. \quad (7)$$

Таким образом, рассмотренные алгоритмы обработки первичных информативных сигналов являются основой системотехнического проектирования бортовой системы измерения параметров вектора ветра и вектора истинной воздушной скорости при маневрировании по земной поверхности и на взлетно-посадочных и полетных режимах вертолета.

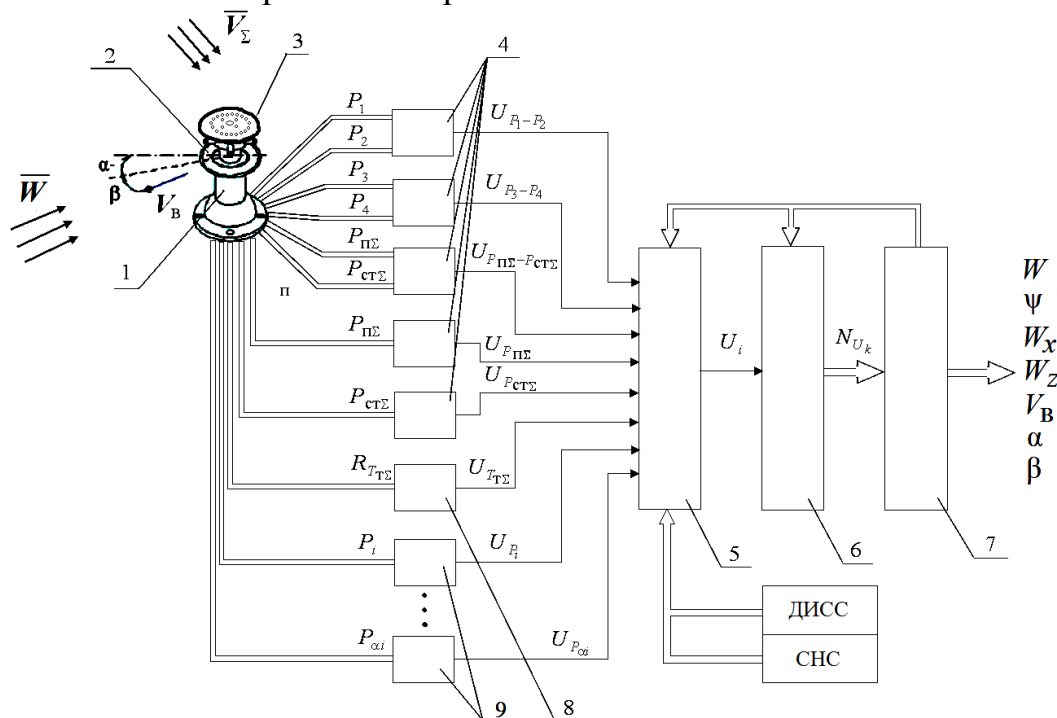


Рисунок 1 – Функциональная схема системы измерения параметров вектора ветра и истинной воздушной скорости

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. Сол-



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).