



## Литература

1. Анализ метрологических характеристик средств измерения распределенной мобильной измерительной системы на основе опорной модели объекта / Алексеев В.В., Королев П.Г., Орлова Н.В., Пименов Д.В.// XXII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. SCM'2020, Санкт-Петербург, 27–29 мая 2020, С. 79–82.
2. Бортовая информационно-измерительная система оценки состояния железнодорожного пути. Метрологическое сопровождение / Алексеев В.В., Боронахин А.М., Королев П.Г., Орлова Н.В.// XXII Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. SCM'2019, Санкт-Петербург, 23–25 мая 2019, С. 21–24.
3. Опорная модель линейного участка железнодорожного полотна / Алексеев В.В., Орлова Н.В., Седунова Е.Н.// XX Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. SCM'2017, Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017, С. 256–259.

Е.О. Арискин, А.И. Зотева, А.В. Никитин, В.В. Солдаткин, И.М. Фазулов

### УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА ВЕТРА НА БОРТУ ОДНОВИНТОВОГО ВЕРТОЛЕТА С УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ И АЭРОМЕТРИЧЕСКИМИ КАНАЛАМИ

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

Известным системам измерения параметров вектора ветра на борту вертолета, построенным на основе неподвижного приемника и аэрометрических измерительных каналов [1] или с аэрометрическими и ионно-меточными измерительными каналами [2, 3] характерны усложнение конструкции приемника, аддитивные и мультипликативные погрешности выделения и преобразования амплитудных информативных сигналов.

На рисунке приведена структурно-функциональная схема бортовой системы измерения параметров вектора ветра на вертолете с ультразвуковыми и аэрометрическими измерительными каналами, при этом ультразвуковые измерительные каналы реализуются с помощью совмещенных пар излучатель-приемник частотно-пакетных ультразвуковых сигналов [4].

Ультразвуковые измерительные каналы системы включают плату 1. На ее внешней поверхности, обтекаемой воздушным потоком горизонтального вектора ветра  $W_{\Gamma}$ , установлены две пары 3 и 4 совмещенных пьезоэлектрических излучателей – приемников  $I_1-P_1$ ,  $I_1'-P_1'$  и  $I_2-P_2$ ,  $I_2'-P_2'$ . Излучатели 3  $I_1$  и  $I_1'$ ,  $I_2$  и  $I_2'$  через модуляторы 5  $M_1$  и  $M_1'$ ,  $M_2$  и  $M_2'$  подключены к генератору 2 ( $G$ ) синусоидальных колебаний высокой частоты (10 МГц). Совмещенные пьезоэлектрические пары излучатель – приемник  $I_1-P_1$ ,  $I_1'-P_1'$  и  $I_2-P_2$ ,  $I_2'-P_2'$  установлены под углом  $\Theta_0$  к оси симметрии



приемной платы, относительно которой по часовой стрелке отсчитываются положительные значения угла направления  $\psi$  вектора ветра  $W_{\Gamma}$ . При этом, измеряемая скорость  $W_{\Gamma}$  ветра в ультразвуковых измерительных каналах  $I_1-P_1$  и  $I_2-P_2$  направлены в сторону распространения ультразвуковых колебаний, а в ультразвуковых измерительных каналах  $I_1'-P_1'$  и  $I_2'-P_2'$  – действует в сторону, противоположную направлению распространения ультразвуковых колебаний. Воспринимаемые пьезоэлектрическими приемниками  $P_1, P_1'$  и  $P_2, P_2'$  ультразвуковые колебания с частотами  $f_1, f_1'$  и  $f_2, f_2'$  усиливаются усилителями  $У_1, У_1'$  и  $У_2, У_2'$  и выделяются детекторами  $Д_1, Д_1'$  и  $Д_2, Д_2'$ .

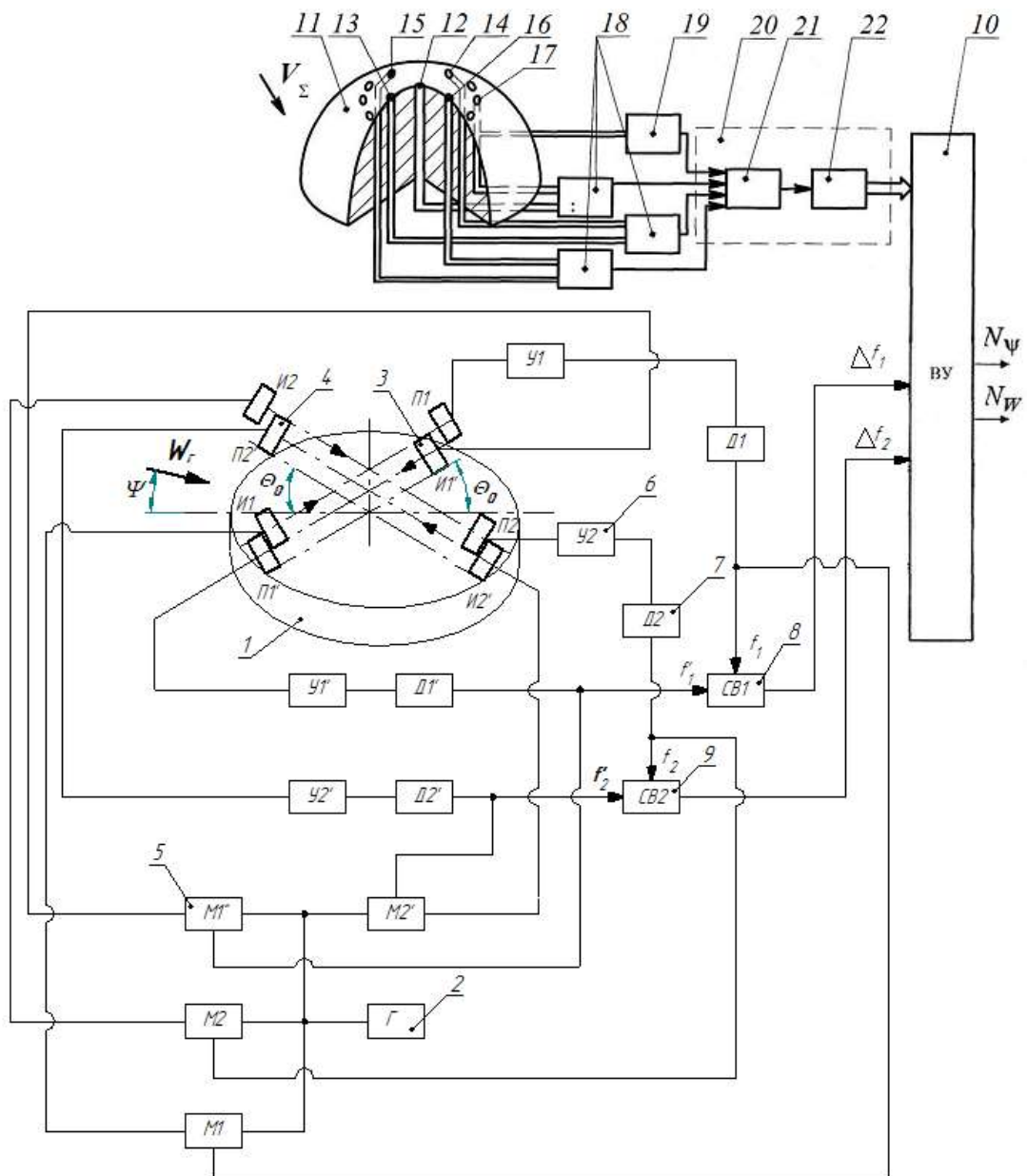


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы измерения параметров вектора ветра на борту вертолета с ультразвуковыми и аэрометрическими измерительными каналами



Частоты ультразвуковых колебаний  $f_1$  и  $f_1'$ , выделяемые детекторами  $D_1$  и  $D_1'$  поступают на вход схемы вычитания  $8 CB_1$ , на выходе которой формируется разность  $\Delta f_1 = f_1 - f_1'$ . Частоты  $f_2$  и  $f_2'$ , выделяемые детекторами  $D_2$  и  $D_2'$ , поступают на вход схемы вычитания  $9 CB_2$ , на выходе которой формируется разность  $\Delta f_2 = f_2 - f_2'$ . Разности частот  $\Delta f_1$  и  $\Delta f_2$  являются информативными сигналами ультразвуковых измерительных каналов, по которым по рассматриваемым ниже алгоритмам в вычислителе  $10$  определяются скорость  $W_\Gamma$  и угол направления  $\psi$  вектора ветра  $W_\Gamma$ .

Для измерения параметров вектора ветра на стоянке при вращении несущего винта, на стартовых и взлетно-посадочных режимах вертолета над платой  $1$  ультразвуковых измерительных каналов устанавливается неподвижный полусферический приемник  $11$ , на поверхности которого расположены: отверстия  $12-17$  для забора давлений, определяющих скорость  $V_\Sigma$  и углы направления  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  вектора скорости  $V_\Sigma$  результирующего воздушного потока вихревой колонны несущего винта. Воспринимаемые давления через пневмоэлектрические преобразователи  $18, 19$  абсолютного давления и перепадов давлений, элементы  $21, 22$  аналого-цифрового преобразователя  $20$  аэрометрических измерительных каналов поступают на вход вычислительного устройства ВУ рассматриваемой системы измерения параметров вектора ветра. Следует отметить, что аэрометрические измерительные каналы рассматриваемой системы аналогичны бортовой системы измерения параметров вектора ветра на основе ионно-меточного датчика аэродинамического угла и истинной воздушной скорости [2].

Применительно к совмещенной паре излучатель – приемник  $I_1-P_1, I_1'-P_1'$  при измерении скорости  $W$  и угла направления  $\psi$  горизонтального вектора ветра  $W_\Gamma$  время прохождения звуковых колебаний от излучателя до приемника будут определяться соотношениями:

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{L}{a + W \cos(\Theta_0 + \Psi)}; & t_1' &= \frac{L}{a - W \cos(\Theta_0 + \Psi)}; \\ t_2 &= \frac{L}{a + W \cos(\Theta_0 - \Psi)}; & t_2' &= \frac{L}{a - W \cos(\Theta_0 - \Psi)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $L$  – расстояние между излучателями  $I_1$  и  $I_1'$  и приемниками  $P_1, P_1'$  ультразвуковых колебаний;  $a$  – скорость распространения звука в воздухе.

Как только первые электрические колебания, создаваемые на выходах пьезоэлектрических приемников  $P_1, P_1'$  и  $P_2, P_2'$ , пройдя через усилители  $U_1, U_1'$  и  $U_2, U_2'$  и детекторы  $D_1, D_1'$  и  $D_2, D_2'$ , поступают на модуляторы  $M_1$  и  $M_1', M_2$  и  $M_2'$ , работающие в триггерном режиме. Модуляторы закрывают прохождение колебаний от генератора  $\Gamma$  к пьезоэлектрическим элементам излучателей  $I_1, I_1'$  и  $I_2$  и  $I_2'$  и посылка ультразвуковых колебаний прекратится. Модуляторы  $M_1$  и  $M_1', M_2$  и  $M_2'$  вновь открываются после того как последние ультразвуковые колебания первых пакетов импульсов достигнут пьезоэлектрических элементов приемников  $P_1, P_1'$  и  $P_2, P_2'$  и поступление электрических колебаний к модуляторам прекратится.

В результате между пьезоэлементами пары  $I_1-P_1$  и  $I_1'-P_1'$  и пары  $I_2-P_2$



и  $I_2'-I_2'$  будут проходить пакеты ультразвуковых колебаний с периодами следования  $2T_1, 2T_1'$  и  $2T_2, 2T_2'$ . На входы схемы вычитания 8  $CB_1$  и схемы вычитания 9  $CB_2$  будут поступать процессы с частотами  $f_1, f_1'$  и  $f_2, f_2'$ , определяемых соотношениями

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{a + W \cos(\Theta_0 + \Psi)}{L}; & f_1' &= \frac{a - W \cos(\Theta_0 + \Psi)}{L}; \\ f_2 &= \frac{a + W \cos(\Theta_0 - \Psi)}{L}; & f_2' &= \frac{a - W \cos(\Theta_0 - \Psi)}{L}. \end{aligned} \quad (2)$$

На выходе схем вычитания 8  $CB_1$  и 9  $CB_2$  формируются информативные сигналы ультразвуковых измерительных каналов в виде разности частот  $\Delta f_1 = f_1 - f_1'$  и  $\Delta f_2 = f_2 - f_2'$ , определяемые соотношениями вида

$$\Delta f_1 = \frac{2W}{L} \cos(\Theta_0 + \Psi); \quad \Delta f_2 = \frac{2W}{L} \cos(\Theta_0 - \Psi). \quad (3)$$

Тогда аналитическая зависимость для определения скорости  $W$  и угла направления  $\psi$  вектора ветра в ультразвуковых измерительных каналах будет иметь вид

$$W = \frac{L}{2} \sqrt{\Delta f_1^2 + \Delta f_2^2}, \quad \psi = \arctg \frac{\Delta f_2 - \Delta f_1}{\Delta f_1 + \Delta f_2}. \quad (4)$$

Соотношения (4) определяют алгоритмы обработки информации ультразвуковых измерительных каналов бортовой системы измерения параметров вектора ветра с ультразвуковыми и аэрометрическими измерительными каналами на стоянке до запуска силовой установки.

На других режимах эксплуатации вертолета параметры вектора горизонтального ветра  $W_H$  определяются в аэрометрических измерительных каналах в соответствии с алгоритмами, приведенными в [2, 3].

Разработанные принципы построения, структурно-функциональная схема и алгоритмы обработки информации ультразвуковых измерительных каналов позволяют обоснованно проводить проектирование системы измерения параметров вектора ветра на борту вертолета с ультразвуковыми и аэрометрическими измерительными каналами. В сравнении с ионно-меточными измерительными каналами, ультразвуковые измерительные каналы имеют существенно меньшее число каналов с однотипными элементами и малые погрешности выделения и преобразования частотных сигналов, что обеспечивает их конкурентные преимущества.

### Литература

1. Никитин, А.В. Система измерения параметров вектора ветра и истинной воздушной скорости / А.В., Никитин, В.М. Солдаткин // Датчики и системы, 2015. – №4. – С. 48-54.

2. Арискин, Е.О. Особенности построения и алгоритмическое обеспечение системы измерения параметров вектора ветра на борту вертолета с ионно-меточными и аэрометрическими измерительными каналами / Е.О. Арискин, Р.А. Лисин, М.Р. Миннебаев, В.М. Солдаткин // Вестник КГТУ



им. А.Н. Туполева, 2018. – №2. – С. 79-87.

3. Арискин, Е.О. Модели инструментальных погрешностей системы измерения параметров вектора ветра на борту одновинтового вертолета с ионно-меточными и аэрометрическими измерительными каналами / Е.О. Арискин, В.М. Солдаткин // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2019. – Том 75. – №1. – С. 82-88.

4. Кремлевский, П.П. Расходомеры и счетчики количества. Изд. 3-е перераб. и доп. / П.В. Кремлевский // Машиностроение, 1975. – 776 с.

О.К. Головнин, С.В. Востокин, А.С. Сабельников

## ПРОГРАММНЫЙ СЕРВИС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАРШРУТОВ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКИ

(Самарский университет)

На данный момент существует достаточно широкий перечень автоматизированных систем в области транспортной логистики, однако всё возрастающие требования к увеличению эффективности плана и маршрутов доставок приводят к тому, что их пользователи сталкиваются с ощутимыми временными задержками при выполнении трудоемких расчетов [1]. Эффективным способом повышения оперативности решения задач транспортной логистики выступают методы параллельных вычислений [2, 3], применяемые для распределенного состояния транспортной системы [4].

Разработан программный сервис для систем транспортной логистики, обеспечивающий реализацию параллельных вычислений на основе подхода, распределяющего информационное пространство в среде геоинформационной системы [5]. Программный сервис реализует трёхзвенную клиент-серверную архитектуру. Серверная часть реализована на языке Java с использованием фреймворка Spring. Для работы серверной части необходимо наличие Java 8+, PostgreSQL 9.8 и расширения PostGIS 3.1.1. Клиентская часть реализована на языке TypeScript с помощью фреймворка Angular и библиотеки Leaflet. Для клиентской части необходимо наличие браузера Google Chrome и подключения к сети Интернет. В качестве среды разработки использовалась IntelliJ Idea 2022.

Разработанный сервис позволяет строить кратчайшие оптимизированные маршруты с учётом критериев загруженности и вида транспорта, а также с учетом различий в пунктах отправления для каждого заказа. При этом обеспечивается работа с несколькими заказами одновременно, для чего реализуется алгоритм разбиения заказов на слои электронной карты по задаваемым критериям.

В процессе разработки программного сервиса построена диаграмма вариантов использования (рисунок 1). Подраздел работы с исходными данными позволяет добавлять и удалять стартовые точки, заказы, указывать параметры построения маршрутов. Для добавления заказа необходимо указать адрес или