

$$\gamma = \gamma_{\text{осн}} + \gamma_{\text{доп}}, \quad \gamma_{\text{осн}} = \sqrt{\gamma_{\text{мет}}^2 + \gamma_{\text{инстр}}^2},$$

где $\gamma_{\text{осн}}$ – основная погрешность ВТПТ, характеризующая его точность при эксплуатации в нормальных условиях;

$\gamma_{\text{доп}}$ – дополнительная погрешность ВТПТ, возникающая под воздействием внешних дестабилизирующих факторов;

$\gamma_{\text{мет}}$ – методическая погрешность ВТПТ, вызванная ограничениями и допущениями математической модели;

$\gamma_{\text{инстр}}$ – инструментальная погрешность ВТПТ, вызванная несовершенством элементов его электронной схемы и конструктивного исполнения.

Таким образом, для определения точности ВТПТ необходимо провести метрологическую оценку каждого компонента общей погрешности ВТПТ.

Список использованных источников

1. Гречишников, В.М. Метрологическое обеспечение разработки и испытания преобразователей информации: электрон. учеб. пособие/В.М. Гречишников; Министерство образования и науки Российской Федерации, Самарский гос. аэрокос. ун-т. – Самара: Изд-во СГАУ, 2012. – 126с. : ил. - Текст : непосредственный.

2. Ворох, Д.А. Вихретоковый преобразователь для оценки механических характеристик металлических поверхностей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.05 / Ворох Дмитрий Александрович; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»]. - Самара, 2022. - 162 с. : ил.

Ворох Дмитрий Александрович, к.т.н. доцент, доцент, каф. РЭС, vorokh.da@ssau.ru
Данилин Сергей Александрович, к.т.н. доцент, доцент, каф. РЭС, danilin.sa@ssau.ru
Бояркина Ульяна Викторовна, к.т.н. доцент, доцент, каф. РЭС, boyarkina.uv@ssau.ru
Грецов Андрей Александрович, к.т.н. доцент, доцент, каф. РЭС, greckov.aa@ssau.ru

УДК 620.179.18; 621.396.962.21; 621.396.969.18

ПОГРЕШНОСТЬ ФАЗОВОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ МАХОВОГО КОЛЕБАНИЯ ЛОПАСТИ, ВЫЗВАННАЯ ДОПЛЕРОВСКИМ ПРИРАЩЕНИЕМ

С.В. Жуков, М.А. Ковалев

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

Ключевые слова: погрешность, СВЧ – сигнал, вертолёт.

Несущий винт — это важнейший узел вертолётa, он требует постоянного мониторинга его состояния для обеспечения безопасности полета. В большинстве случаев несущий винт вертолётa (НВВ) представляет собой сложную систему из лопастей, втулки, механизма управления шагом, демпферов и системы шарниров, которая нуждается в постоянном контроле.

Анализ существующих методов и устройств контроля целостности НВВ показал их недостаточную надежность и невозможность контроля состояние лопастей в полёте, в результате чего был предложен бесконтактный способ контроля целостности лопастей вертолёта [1].

Одними из основных функциональных возможностей предложенного метода и устройства являются контроль целостности вертикального шарнирного крепления лопасти по амплитуде махового движения лопасти и контроля низкочастотных изгибно-крутильных колебаний посредством накопления и анализа измеренных амплитуд маховых колебаний и углов скручивания лопастей. Измеряя амплитуду маховых колебаний, система, используя статистический анализ, также может выявлять несоконусность установки лопастей, сближение лопастей НВВ в соосной схеме и распознавать такие явления как земной резонанс и флаттер.

Измерение амплитуды маховых колебаний реализовано за счет вычисления разности фаз излученного и принятого отраженного сигналов (рис. 1). Работа измерителя амплитуды маховых колебаний построена следующим образом. Генератор масштабного сигнала формирует колебания с относительно низкой (масштабной) частотой по сравнению с СВЧ несущей. Масштабный сигнал в модуляторе изменяет амплитуду колебаний генератора СВЧ сигнала, в результате формируется модулированное по амплитуде зондирующее СВЧ излучение в сторону траектории движения контролируемых лопастей.

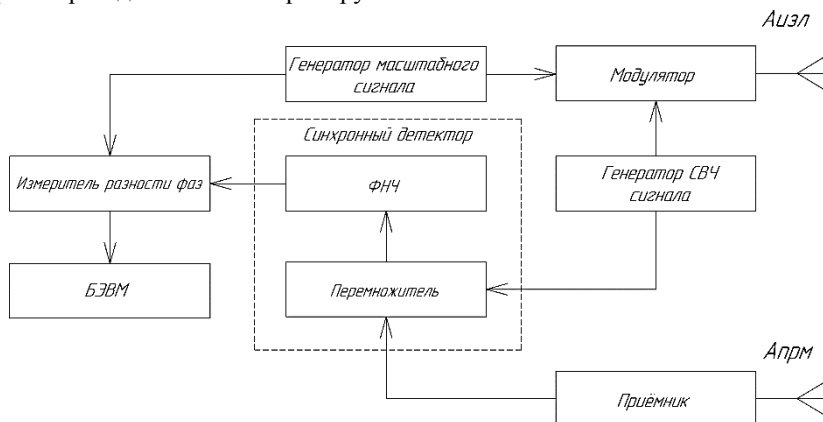


Рисунок 1 – Структурная схема измерителя амплитуды маховых колебаний

Принимается приемной АФС отраженное излучение, демодулируется и далее сигнал поступает на измеритель разности фаз, на второй вход которого в качестве опорного подается сигнал с генератора масштабного сигнала. В измерителе разности фаз сравниваются фазы опорного и принятого масштабных сигналов. Результатом сравнения разности фаз

сигналов является выходной импульс амплитуда, которого прямо пропорциональный расстоянию от АФС до лопасти [1].

Принятый отраженный сигнал можно записать в виде [2]:

$$u_{\text{пр}} = U_{\text{пр}} \cos(\omega_0 t + \varphi') \left[1 + M \cos \left(\Omega(t - t_r) + \varphi_0 + \varphi_{\text{отр}} + \varphi_{\text{изм}} + \int_{t_{\text{н}}}^{t_{\text{к}}} \omega_{\text{д}}(t) dt \right) \right],$$

где $U_{\text{пр}}$ – амплитуда принятого несущего сигнала; $\varphi_{\text{отр}}$ – фазовый сдвиг, вызванный разностью хода зондирующего сигнала от лопасти до АФС; $\varphi_{\text{изм}}$ – сдвиг фазы обусловленный задержкой в цепях измерителя; t_r – время задержки сигнала при распространении его до лопасти и обратно; $\omega_{\text{д}}(t)$ – доплеровское приращение частоты; $t_{\text{н}}, t_{\text{к}}$ – время начала и конца наблюдения; φ' – приращение фазы несущего сигнала.

Анализируя представленное выше выражение можно отметить, что помимо фазового сдвига, определяемого расстоянием до контролируемой лопасти, в преобразовании присутствуют еще и сдвиг фазы, обусловленный отражающими свойствами лопасти, задержкой фазы в цепях измерителя амплитуды маховых колебаний, а также компоненты доплеровской частоты.

Для измерителя лопасть будет представлять собой протяженный объект, поскольку геометрические размеры лопасти сравнимы его с удаленностью от радиолокационного измерителя [3].

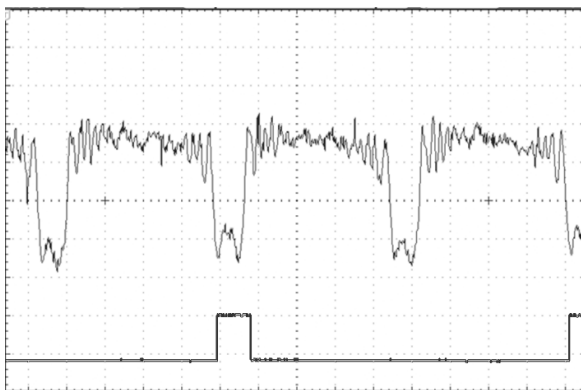


Рисунок 2 – Осциллограмма с выхода измерителя разности фаз

Вследствие того, что радиальная скорость вращения лопастей составляет около 250 м/с то для частот зондирующего излучения равной 8..10 ГГц спектр доплеровского приращения будет значительно влиять на амплитуду отраженного сигнала (рис.2) и соответственно на результат сравнения фаз масштабных сигналов. Оценка спектра доплеровского сигнала как излучения,

отраженного от протяженного объекта, позволила существенно повысить точность измерений амплитуды маховых колебаний лопастей НВВ.

Список использованных источников

1. Патент на изобретение 2 700 535 С2 Российская Федерация, МПК В64С 11/16 (2006.01). Способ контроля целостности лопастей несущих винтов вертолѐта в соосной схеме их расположения и устройство для его осуществления. Данилин А.И., Жуков С.В., Грецков А.А., Бояркина У.В., - заявл. 01.12.17; опубл. 17.09.2019, Бюл. № 26 – С. 1-5.

2. Жуков С.В., Данилин А.И., Бояркина У.В., Воронцова С.А., Фазовый метод измерения параметров деформационного состояния лопастей несущего винта вертолѐта // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2017. Т.19. №6. - с. 188-192.

3. Артюшенко В. М., Воловач В. И. Анализ параметров спектра доплеровского сигнала, отраженного от движущегося протяженного объекта // Журнал радиоэлектроники. — 2015. — № 1.

Жуков Семен Викторович, стар. препод. каф. геоинформатики и информационной безопасности, svzhukov@ssau.ru.

Ковалев Михаил Анатольевич, д.т.н., доцент, профессор каф. ЭАТ, kovalev.ma@ssau.ru.

УДК 535.8

СПОСОБ КАЛИБРОВКИ ПЗС-ЛИНЕЙКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАВНОМЕРНОГО СВЕТОВОГО ПОЛЯ

Н. В. Каштанов

УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

Ключевые слова: многоэлементная фотоприѐмная линейка, неравномерность светочувствительности пикселей, координата светового пятна, оптические измерения.

Современные датчики аэрометрических давлений предъявляют высокие требования к точности функционирования измерительных систем; допускаемая погрешность измерений не превышает 0,1–0,2 %, что определяет актуальность их совершенствования [1].

Датчик давления, показанный на рисунке 1, работает так: световое пятно проходит через отверстие в пластине, связанной с анероидом, и попадает на фотоприѐмную линейку. Когда давление меняется, анероид деформируется и смещает пластину, из-за чего пятно на линейке также смещается. Величина этого смещения позволяет вычислить давление.

При использовании многоэлементных фотоприѐмных устройств необходимо учитывать эффект неравномерности светочувствительности по пикселям — явление, при котором отдельные элементы линейки демонстрируют различную реакцию на одинаковое световое воздействие. Вследствие этого один и тот же уровень освещѐнности может давать