

Волоконно-оптический датчик аэродинамических углов на основе дифференциального преобразователя угловых перемещений

Татьяна Мурашкина, Елена Бадеева, Дмитрий Серебряков, Кирилл Серебряков, Александр Удалов, Ольга Юрова (г. Пенза)

В статье описан датчик аэродинамических углов на основе дифференциального волоконно-оптического преобразователя угловых перемещений. В качестве чувствительного элемента использована пластина с двумя отражающими поверхностями, установленная на платформе с приёмником давления воздушного потока.

Системы обеспечения безопасности полёта летательных аппаратов (ЛА) требуют измерения аэродинамических углов (АУ) с погрешностью, не

превышающей $0,4...0,5^\circ$ в диапазоне $\pm 60^\circ$. Основная погрешность известных отечественных флюгерных датчиков аэродинамических углов составля-

ет $0,4...2^\circ$, а зарубежных (по рекламным данным) – $0,1...0,25^\circ$ [1]. Низкая чувствительность преобразования флюгерных датчиков ограничивает их применение минимальной скоростью полёта $150...250$ км/ч. Основным недостатком таких датчиков, кроме больших габаритов и массы, является наличие механической преобразующей системы, которая состоит из зубчатых зацеплений, подшипников и др. [2]. Подобные узлы снижают надёжность датчиков при механических воздействиях, возникновении резонансных явлений при колебаниях летательных аппаратов и приводят к значительным динамическим погрешностям.

В данной статье предложено использовать волоконно-оптический принцип преобразования, позволяющий отказаться от механической системы с подвижными элементами [3]. Для снижения погрешности волоконно-оптических датчиков аэродинамических углов (ВОДАУ) необходимо реализовать дифференциальную схему преобразования оптического сигнала в зоне восприятия измеряемой физической величины [4].

В дифференциальных волоконно-оптических преобразователях угловых перемещений (ВОПУП) отражательного типа модулирующим элементом (МЭ) является металлическая пластина с двумя зеркальными поверхностями. С двух сторон МЭ расположены оптические волокна первого и второго измерительных каналов (ИК), причём подводящие оптические волокна (ПОВ1) первого ИК расположены соосно с отводящими оптическими волокнами (ООВ2) второго ИК, и наоборот, ПОВ2 второго ИК расположены соосно с ООВ1 первого ИК [4]. Особенностью дифференциального ВОПУП является то, что ПОВ1 и ПОВ2 подстыковываются к одному и тому же источнику излучения (ИИ). Появление силы, вектор которой перпендикулярен плоскости МЭ, приводит к смещению пластины на угол α относительно первоначального положения, и тем самым, к изменению потока излучения, попадающего в приёмные торцы отводящих волокон.

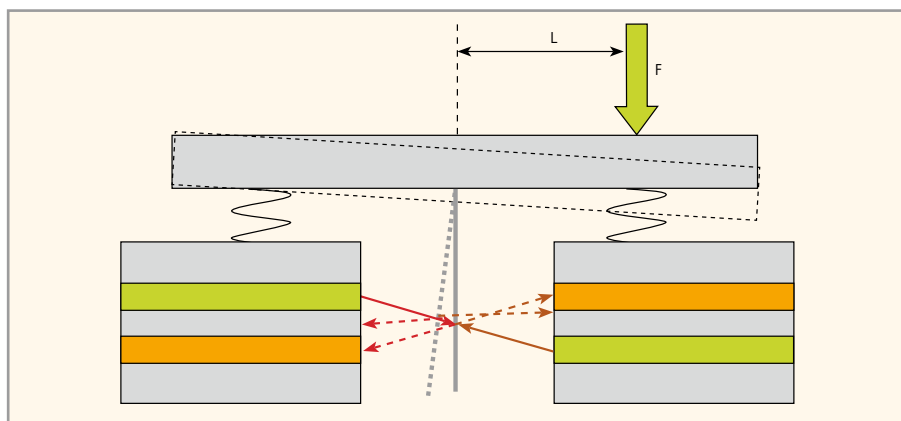


Рис. 1. Дифференциальный ВОПУП, совмещённый с сильфоном

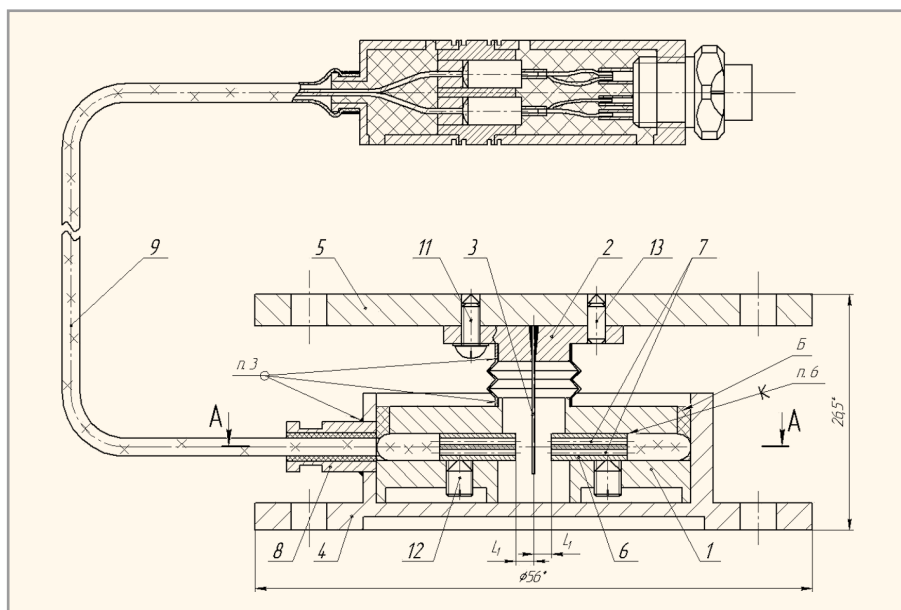


Рис. 2. Датчик аэродинамических углов с дифференциальным ВОПУП

1 – основание; 2 – державка с сильфоном; 3 – металлическая пластина; 4 – корпус; 5 – платформа; 6 – наконечники; 7 – оптические волокна; 8 – втулка; 9 – волоконно-оптический кабель

В работе [4] определены функции преобразования первого и второго ИК. Электрические сигналы на выходе приёмников излучения первого и второго ИК (ПИ1 и ПИ2) пропорциональны интенсивности поступающих на них световых потоков. Для повышения точности обработки сигнала с дифференциального ВОПУП целесообразно формировать отношение разности сигналов на выходе каналов к их сумме.

В этом случае наблюдается удвоение чувствительности преобразования, снижается влияние на точность измерения неинформативных изгибов оптических волокон, изменения мощности излучения источника излучения и чувствительности ПИ, так как данные факторы вызывают пропорциональные изменения сигналов в каналах, которые не влекут изменения отношения сигналов.

Дальнейшие исследования привели к введению в оптическую систему ВОПУП механической преобразующей системы, не содержащей взаимно перемещающихся узлов типа «зубчатая передача». Вместо них может быть использован сиффон, жёстко соединённый с платформой, на которую действует некоторая сила F , на расстоянии L относительно оси ВОПУП, на которой расположен МЭ (см. рис. 1).

На рисунке 2 показан общий вид одного из вариантов ВОДАУ на основе дифференциального ВОПУП. Датчик монтируется на корпусе 4, где установлено основание 1 с жёстко закреплённым в нём рабочим торцом волоконно-оптического кабеля (ВОК) 9. Здесь же предусмотрена державка с сиффоном 2 и закреплённым МЭ в виде металлической пластины 3, имеющей две зеркально отражающие поверхности и платформу 5, жёстко соединённую с державкой 2. В горизонтальные отверстия основания 1 установлены соосно относительно друг друга со стороны отражающих поверхностей МЭ рабочие торцы ВОК первого и второго ИК. Наконечники 6 с оптическими волокнами фиксируются винтами 6 и 12 в основании 1 после выполнения процедуры юстировки.

Воспринимающий элемент (ВЭ) (на рисунке не показан) установлен на платформе 5 на расстоянии L относительно оптической оси датчика. Под воздействием воздушного потока, ВЭ создает крутящий момент $M = L \times F$, где F – сила, с которой элемент действует на платформу 5. При этом платформа 5

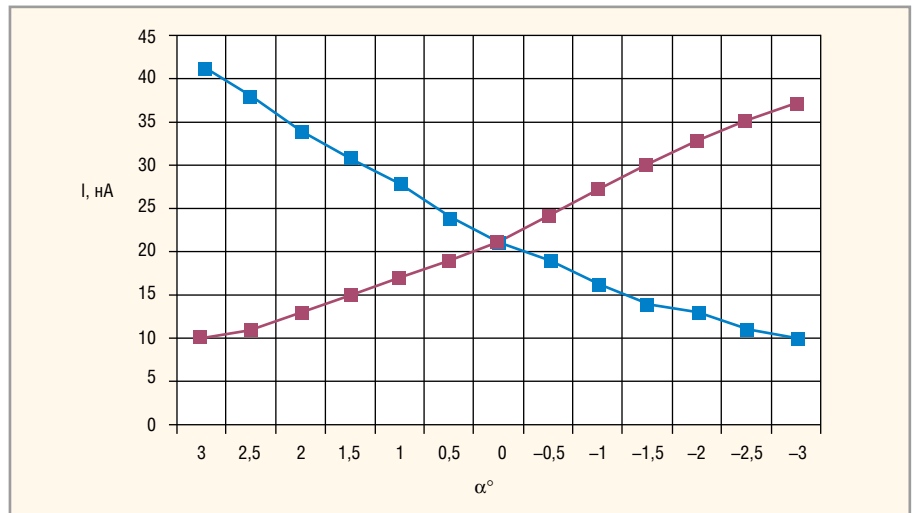


Рис. 3. Зависимости тока фотодиодов первого и второго измерительных каналов от углового перемещения МЭ в диапазоне $\pm 3^\circ$

поворачивается на угол α относительно горизонтального положения, сжимающая сиффон с одной стороны; соответственно, на данный угол перемещается пластина 3 относительно торцов ВОК. Дальнейшие преобразования связаны с преобразованием оптических сигналов в ВОПУП, как показано выше.

На рисунке 3 приведены графики зависимости тока фотодиодов от углов отклонения МЭ первого и второго каналов $I_1 = f_1(\alpha)$ и $I_2 = f_2(\alpha)$, полученные в процессе реальной юстировки и оптической регулировки дифференциального ВОПУП.

Предложенная конструкция ВОДАУ может быть легко приспособлена для измерения других физических вели-

чин – деформации, расхода жидкости и газа, силы или давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Живетин В.Б. Аэромеханический контроль (элементы теории и эксперимента). Казанское математическое общество. 2000.
2. Клюев Г.И., Макаров Н.Н., Солдаткин В.М. Авиационные приборы и системы: учебное пособие п/ред. В.А. Мишина. УлГУ. 2000.
3. Юрова О.В., Мурашкина Т.И., Пивкин А.Г., Серебряков Д.И. Волоконно-оптический преобразователь углового перемещения. Патент № 2419765 от 27.05.2011 г.
4. Бадеева Е.А., Юрова О.В., Шевелев А.С. и др. Дифференциальный ВОПУП. Современная электроника. № 8. 2010.

