

Условием зеркального отражения в определенной степени удовлетворяет излучение полупроводникового лазера на основе PbSe с  $\lambda_1 = 8,5$  мкм. Если же использовать лазер на основе JnP с  $\lambda_2 = 0,91$  мкм, то получаем условие диффузного отражения светового потока.

Следует также учесть, что при механической обработке поверхностей по заданному классу точности высота микронеровностей может отличаться от средней величины на  $\pm 10\%$ . Эти изменения вызывают дополнительные погрешности формирования потоков:  $K_z(\Delta h) = \pm 1\%$  и  $K_\partial(\Delta h) = \pm 0,5\%$ , которые необходимо учитывать при нахождении суммарных коэффициентов неидеальности отражений.

Таким образом, для получения корректных результатов измерений и для повышения точности исследования необходимо сначала оценить высоту микронеровностей поверхности в соответствие полученной высотой подобрать длину волны для источника зондирующего излучения.

#### Список использованных источников

1. Патент РФ на изобретение № 2548939, МПК G01B21/22. Способ определения угловых положений поверхности объекта и устройство для его осуществления. [Текст] / Данилин А. И., Данилин С.А., Грецов А.А. // Опубликовано 20.04.2015. Бюл. № 11.

2. Данилин, А. И. Бесконтактные измерения деформационных параметров лопаток в системах контроля и управления турбоагрегатами [Текст]/ А. И. Данилин. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2008. – 218 с.

УДК 531.781

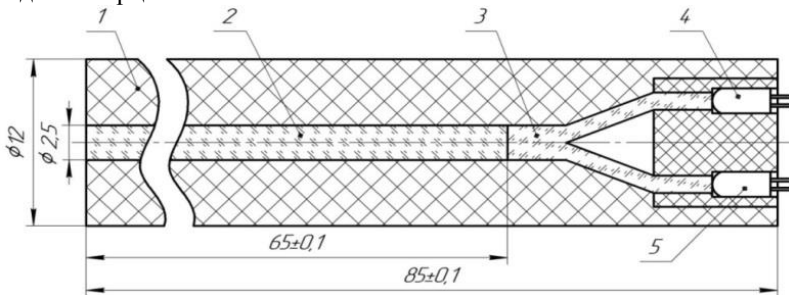
### **ОЦЕНКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПТОЭЛЕКТРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В УСТРОЙСТВЕ ДИСКРЕТНО-ФАЗОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

С.А. Данилин, А.Ж. Чернявский, А.И. Данилин  
«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королева», г. Самара

Для реализации устройства дискретно-фазового определения геометрии лопаток ГТД разработан оптоэлектронный преобразователь [1], эскиз которого в сборочном варианте представлен на рисунке 1.

Инструментальные погрешности оптоэлектронного преобразователя геометрических параметров поверхностей лопаток ГТД обусловлены отклонениями конструктивных параметров от расчётных в силу технологических допусков при изготовлении оптической насадки, а также собственными шумами источника излучения и фотоприемника.

Отклонение конструктивных параметров относится в основном к технологическому процессу изготовления ОН и объясняется скосом её выходного торца.



1 – корпус; 2 – оптическая насадка, представляющая собой единственный прутко-световод (штабик); 3 – светопроводящая световодная V-образная система; 4 – источник излучения (светодиод); 5 – фотоприёмник (фотодиод)

Рисунок 1 – Эскиз оптоэлектронного преобразователя

Известно, что если световод работает в воздухе, то скос его торца на угол  $\nu$  отклоняет ось выходного излучения на угол  $\varphi = \arcsin(n_c \sin \nu) - \nu$ , где  $n_c$  - показатель преломления материала сердцевины световода [2]. По данным калибровочных измерений изготовленных оптических насадок величина  $\nu$  может достигать 0,5 градуса. В этом случае отклонение оси индикатрисы зондирующего излучения от осевого направления ОН составит:  $\varphi = \arcsin(1,755 \sin 0,5^\circ) - 0,5^\circ = 0,38^\circ$ . Это, в свою очередь, приводит к систематической ошибке определения информационного угла  $\gamma$  при определении кривизны поверхности лопатки. Пересчет этой ошибки к тарировочному углу 90 градусов дает абсолютную погрешность определения информационного временного интервала при частоте вращения ротора электродвигателя 50 Гц:

$$\Delta_{\text{торца}} = \frac{0,38}{90} \cdot \frac{T}{4} = \frac{0,38}{90} \cdot \frac{20 \cdot 10^{-3}}{4} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

Соответственно, относительная погрешность определения информационного временного интервала на этой частоте вращения ротора:

$$\delta_{\text{торца}} = \frac{4 \cdot \Delta_{\text{торца}}}{T} \cdot 100 = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{20 \cdot 10^{-3}} \cdot 100 = 0,4\% .$$

Предъявление повышенных требований к изготовлению и сборке ОН позволяет уменьшить ошибку определения угла  $\gamma$  до 0,1 градуса, а

величину относительной погрешности определения информационного временного интервала от скоса ППК ОН до величины равной 0,1%.

Инструментальные погрешности, обусловленные шумами источника излучения, фотоприемника и операционного усилителя исследованы в работах [3]. К шумам фотоприемника, в нашем случае фотодиода, относят:

- *дробовой шум*, определяемый выражением:

$$I_{dp}^2 = 2eI_{\phi}\Delta f,$$

где  $e$  – заряд электрона;  $I_{\phi}$  – среднее значение фонового тока;  $\Delta f$  – ширина частотной полосы фотоприемника.

Фотодиод с типовым уровнем фонового тока 2нА, работающий в частотном диапазоне 10 МГц, – имеет дробовой шум порядка  $I_{dp} = 80$ пА ;

- *тепловой шум* определяется выражением:

$$I_T^2 = \frac{4kT\Delta f}{R},$$

где  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура в градусах Кельвина;  $R$  – активное сопротивление нагрузки фотодиода, включающее активное сопротивление диода.

При нагрузке  $R = 10$ кОм, температуре 298 °К и рабочем диапазоне частот 10 МГц тепловой шум составляет:

$$I_T \approx 4$$
нА ;

- *шум темнового тока*:  $I_m^2 = 2eI_{mcp}\Delta f$ ,

где  $I_{mcp}$  – среднее значение темнового тока.

Фотодиод с типовым уровнем темнового тока 10нА, работающий в полосе 10 МГц, имеет шумовую составляющую темнового тока:

$$I_m \approx 0,24$$
нА .

Источник излучения создаёт шумы, которые проявляются во флуктуации оптической мощности и случайном характере распределения интенсивности на его излучающей площадке. Шумовая составляющая источника излучения, пересчитанная к токовым шумовым компонентам фотоприемника, имеет порядок дробового шума фотодиода:  $I_{ист} \approx 100$ пА .

Полный шумовой ток определяется как среднее квадратичное дробового, теплового, темнового токов и шумовой компоненты источника излучения:  $I_{ш} = \sqrt{I_{dp}^2 + I_T^2 + I_m^2 + I_{ист}^2}$  и его значение не превышает 5 нА.

Коэффициент преобразования тока фотодиода в напряжение схемой на операционном усилителе с отрицательной обратной связью, обычно,

лежит в пределах  $(10^3 \div 10^5)$  [3], соответственно, выходное шумовое напряжение не превышает 0,5 мВ.

При напряжении источника питания операционного усилителя 5 В отношение С/Ш на его выходе оценивается величиной 60 дБ, поэтому шумами фотоприёмной части преобразователя, в силу их сравнительной малости, можно пренебречь.

#### Список использованных источников

1. Данилин С.А. Оптоэлектронный дискретно-фазовый преобразователь локальных параметров формы криволинейных отражающих поверхностей: дис. канд. техн. наук: 05.13.05. Самара: Самар. нац. исслед. ун-т им. акад. С.П. Королева, 2022. 168 с.
2. Вейнберг В.Б. Оптика световодов. / В.Б. Вейнберг, Д.К. Сагтаров, М.: Машиностроение, 1977. - 320 с.
3. Воробей Е.С., Карась В.И., Торпачев П.А. Оптимизация пары фотодиод-операционный усилитель для измерения слабых световых потоков // Измерительная техника. 1985. № 3. С.19-21.

УДК 621.396.676; 621.396.677.45

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИЙ НА ПАРАМЕТРЫ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН

С.В. Жуков, Е.А. Марченко

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

**Ключевые слова:** спиральная антенна, вибрации, вертолёт, погрешность измерений.

Лопастей несущего винта вертолета в полёте испытывают воздействие аэродинамических сил, под действием которого изменяют свое деформационное состояние. Такие деформации могут выйти из-под контроля и, соответственно, представлять опасность летательному аппарату. Для оценки таких деформаций лопастей был предложен дискретно-фазовый СВЧ-преобразователь, который измеряет перемещения контролируемой поверхности относительно радиоэлектронной приемопередающей системы, путем облучения лопастей СВЧ излучением. Приемопередающую систему было предложено устанавливать на неподвижной части корпуса вертолета, а именно на хвостовой балке [1].

Одним из основных факторов, влияющих на режимы работы первичных СВЧ-преобразователей являются вибрации, которые могут оказывать влияние на функционирование антенно-фидерных систем и, соответственно, на сигналы, принимаемые первичными преобразователями [2].