

Исследование лазерных сканирующих систем для измерения дефектов формы

К. Епифанцев, к. т. н.¹

УДК 744.42 | ВАК 2.2.4

Описывается ряд экспериментов, проведенных за несколько лет в Физическом институте Академии наук им. П.Н.Лебедева, в лаборатории «Цифровой метрологии» ФГАОУВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» и в испытательной лаборатории АО «Бортовые аэронавигационные системы». Исследовались лазерные сканирующие системы для измерения дефектов формы на примере деталей из дюралюминиевых и конструкционных сплавов. Сделаны выводы по наиболее рационально собранным схемам лазерных установок, имеющих максимальный отклик и стабильность. Сравниваются результаты оптических и контактных измерений.

В условиях импортозамещения многие приборы для измерения дефектов формы нуждаются в замене наиболее изнашиваемых компонентов, таких как контактные щупы, подшипники, кронштейны и т. д. В современных условиях по причине увеличения производственных мощностей предприятий такие элементы, как контактные щупы, изнашиваются более активно.

Процесс создания лазерного кругломера для исследования дефектов формы дорожек качения подшипников, применяемых в авиации, описан в [1, 2]. Данное исследование было взято за основной прототип будущей лазерной системы.

В экспериментах в Физическом институте Академии наук им. П.Н.Лебедева в 2023–2024 годах была применена PZS-линейка K1200ЦЛ-1, на которую через ряд фокусирующих линз, через объектив ГЕЛИОС 40-2 с фокусным расстоянием 85 мм падал луч, генерируемый диодным лазером ДМ-8-650 (рис. 1 и 2).

В результате проведения измерений было обеспечено четкое устойчивое положение осциллограммы в осциллографе. Осциллограмма перемещалась влево или вправо при перемещении детали микрометрическим винтом, что позволяет говорить о применимости данного метода к определению дефекта формы.

Результаты отклонения осциллограммы при постепенном движении детали из дюралюминия представлены на рис. 3 и 4.

Далее аналогичный эксперимент был осуществлен с конструкционной сталью. Результат представлен на рис. 5.

В результате четырех серий экспериментов и нескольких десятков итераций, была получена натурная и математическая модель импортозамещенного лазерного датчика кругломера, который может быть использован не только для кругломеров, но и, при тщательной фильтрации, для измерения контура и шероховатости [3].

В процессе проведения исследования было выявлено, что датчик должен иметь ряд высокопроизводительных фильтров для аппроксимации сигнала и борьбы с алиасингом – наложением помех в борьбе с засвечиванием, так как было отмечено, что при

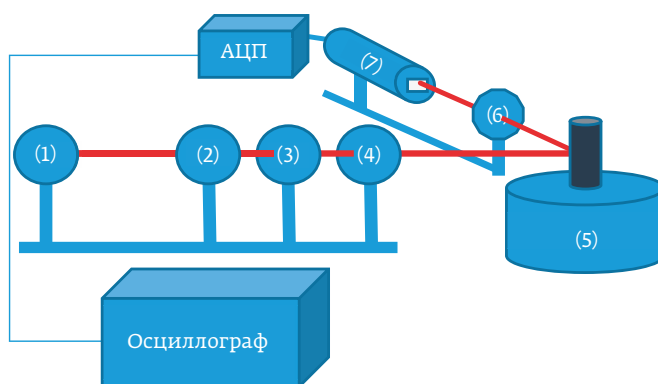


Рис. 1. Схема установки. 1 – лазер ДМ-8-650, 2 – поляризатор, 3 – затемнитель, 4 – цилиндрическая линза, 5 – деталь, 6 – объектив ГЕЛИОС, 7 – PZS-линейка K1200ЦЛ-1

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, epifancew@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5705-0282, SPIN-код: 4218-3981.

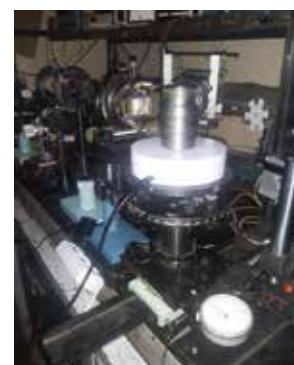
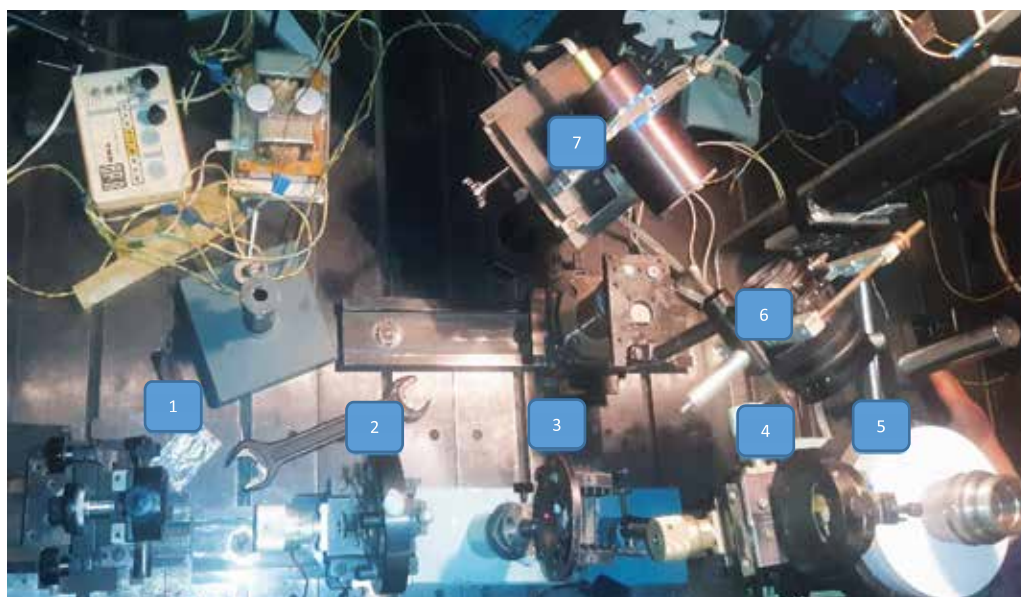


Рис. 2. Фото установки с включенным лазером. 1 – лазер ДМ-8-650, 2 – поляризатор, 3 – затемнитель, 4 – цилиндрическая линза, 5 – деталь, 6 – объектив ГЕЛИОС, 7 – PZS-линейка K1200ЦЛ-1



Рис. 3. Движение осциллограммы при микросмещении детали

приближении посторонних световых бликов к лазеру изменяется пространственная картина распределения волнового поля. Это в свою очередь приводит к изменению показаний, поэтому необходимо применять блок коррекции.

За два года в ГУАП были разработаны программы для ЭВМ (рис. 6), которые используются для преобразования оптических сигналов в графические модули [4–7]. Представленный программный продукт в комплекте с прибором – вращающимся столом с установленной деталью, штативом с закрепленным лазером – позволяет производить преобразование Фурье с входных сигналов, которые при отражении от объекта улавливает светоприемное устройство лазера. В результате было выявлено, что лучшим образом с данной задачей справляется PZS-линейка. Ранее эксперименты были проведены в ФИАН им. П.Н. Лебедева. В результате экспериментов было

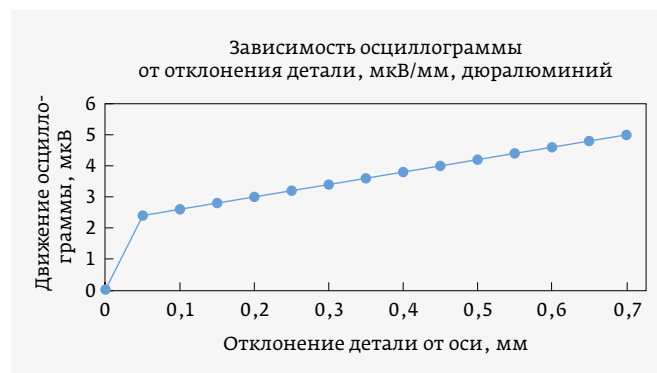


Рис. 4. График результатов экспериментов, дюралюминий. На осциллографе установлены микровольты

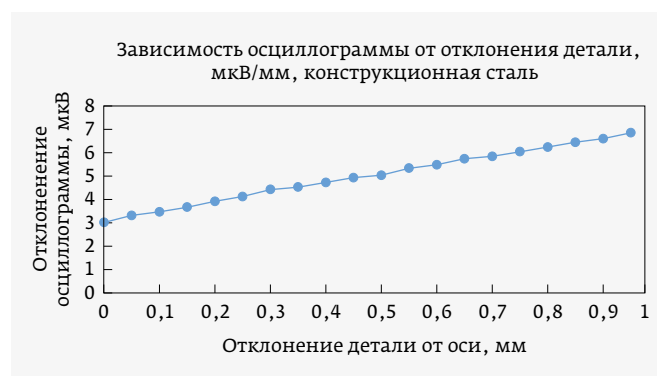


Рис. 5. График результатов экспериментов, конструкционная сталь

установлено, что успешно собранная в ФИАН установка позволяет дополнительно снижать помехи, создаваемые естественным освещением, теневыми эффектами.

Программа в комплексе с преобразованием Фурье позволяет выводить на экран персонального компьютера результаты фильтрованного усредненного лазером сигнала о дефекте формы детали и выявлять его (речь идет о таких дефектах, как конусообразность, седлообразность, биение). Расстояние от точки нахождения лазера до детали определяется в милливольтах с применением стандартного мультиметра. При создании программы использовался ряд функций Бесселя (1–3)

$$\exp[(t-\alpha^2 t^{-1})\frac{z}{2}]=\sum_{n=-\infty}^{\infty} (\frac{t}{\alpha})^n J_n(\alpha z)=$$

$$=J_0(\alpha z)+\sum_{n=1}^{\infty} J_n(\alpha z)[(\frac{t}{\alpha})^n+(\frac{-t}{\alpha})^{-n}], \quad (1)$$

Применяя теорему о вычетах к формуле (1), получаем:

$$2\pi i J_n(\alpha z)=\alpha^n \int_C t^{-n-1} \exp[(t-\frac{\alpha^2}{t})\frac{z}{2}] dt, \quad n=0,1,2,... \quad (2)$$

Здесь C является любым простым замкнутым контуром в плоскости t , охватывающим начало координат. Если положить в равенстве (2) $\alpha=1$ и выбрать в качестве C единичную окружность с центром в начале координат, $t=e^{i\varphi}$, то получаем:

$$2\pi J_n(\alpha z)=\int_0^{2\pi} e^{i(z\sin\varphi-n\varphi)} d\varphi=2\int_0^{\pi} \cos(z\sin\varphi-n\varphi) d\varphi,$$

$$n=0,1,2,... \quad (3)$$

Таким образом, в процессе исследования были выявлены оптимальные параметры и последовательности установки оптического оборудования для проведения бесконтактных измерений дефектов формы твердотельных деталей. Были отмечены разностные результирующие при сканировании детали из конструкционной стали и детали из дюралюминия. Был подобран ряд объективов, АЦП для оцифровки показаний и трансформации их в осциллограмму. Программные продукты обработки сигналов оптических датчиков кругломеров с помощью функции Бесселя, которые были ранее разработаны и применены в качестве адаптирующего луч программного ПО позволили вывести показания на более удобный интерфейс на ноутбук, что имеет альтернативу осциллографу.

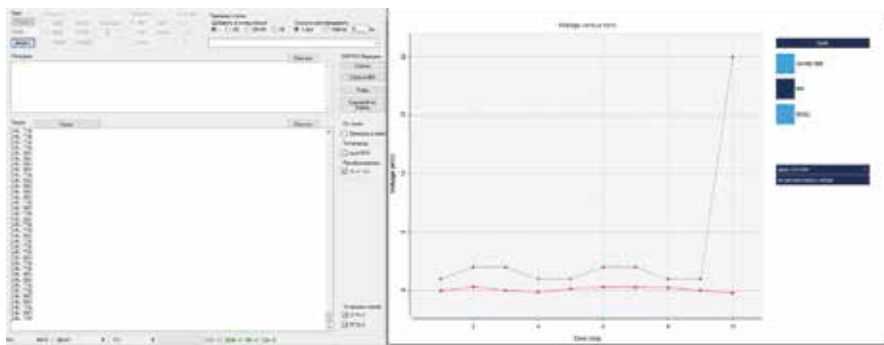


Рис. 6. Разработанная программа по считыванию отраженного лазерного сигнала

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гущина Е.А., Епифанцев К.В., Ефремов Н.Ю.** Цифровая метрология: учеб.-метод. пос. СПб: ГУАП, 2022. 104 с.
2. **Заякин О.А., Манухин А.В., Ростов А.А.** Экспериментальный лазерный кругломер, исследование основной погрешности // Известия Самар. науч. центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 6. С. 184–188.
3. **Епифанцев К.В., Петров Г.А., Белоухов В.Н., Заякин О.А.** Исследование возможности применения одновиткового вихретокового датчика для измерения дефектов формы // Инновационное приборостроение. 2024. Т. 3, № 1. С. 63–76.
4. Свидетельство о регистрации государственной программы на ЭВМ № 2023612860 «Программа для визуализации и подсчета результатов измерения дефектов формы цилиндрических твердотельных деталей оптическими методами», К.В. Епифанцев, А.Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 февраля 2023 г.
5. Свидетельство о регистрации государственной программы на ЭВМ № 2023616324 «Программа обработки сигналов оптических датчиков кругломеров с помощью преобразования Фурье для измерения дефектов формы цилиндрических твердотельных деталей», К.В. Епифанцев, А.Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 24 марта 2023 г.
6. Свидетельство о регистрации государственной программы на ЭВМ № 2023664436 «Программа обработки сигналов оптических датчиков кругломеров с помощью функции Бесселя для измерения дефектов формы, месторасположения и биения», К.В. Епифанцев, А.Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 05 июля 2023 г.
7. Свидетельство о регистрации государственной программы на ЭВМ № 2024611413 «Программа для адаптации измерений дефектов формы при преобразовании частотных и емкостных параметров электрической цепи». К.В. Епифанцев, А.Э. Егоров, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22 января 2024 г.



ПРОГРЕСС

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
КОМПАНИЯ

ШИРОКИЙ ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ И ТОЧНЫХ ДАННЫХ

Комплексно поставляем измерительное оборудование для разных сфер промышленности: генераторы, анализаторы спектра, анализаторы цепей, ватметры, осциллографы и др.

- Поставляем оборудование отдельно и в составе комплексов, управляемых ПО разработки НПК «ПРОГРЕСС».
- Средства измерения отвечают всем требованиям ГОСТ.
- Наши специалисты разработают ТУ и ПО, опираясь на требования заказчика.

Предлагаем к поставке собственные разработки, изготовленные по техническим условиям НПК «ПРОГРЕСС»:

- измерители мощности ПРЦГ-2438 с датчиками мощности ПРЦГ-71710;
- установки контроля и распределения магнитной индукции PROGRESS-CIM;
- флюксметры PROGRESS-LZ;
- тесламетры PROGRESS-LZ;
- эквиваленты сети «ПРОГРЕСС»;
- датчики мощности 87234;
- генераторы сигналов ПРЦГ-1435;
- генераторы шума ПРЦГ-16604;
- характериографы «ПРОГРЕСС – 3000».

Средства измерений уже внесены или находятся в процессе внесения в ГРСИ РФ.



РАБОТАЕМ В ФОРМАТЕ ПОЛНОГО ЦИКЛА:

разработка технического задания, проектирование, производство, монтаж, пуско-наладка и техническая поддержка.
Экспертная помощь на каждом этапе.

Свяжитесь с нами для получения подробной информации:



☎ +7 (495) 249-05-35

✉ info-zakaz@npkpro.ru

🌐 www.npkprogress.ru