

Во-вторых, изучение падения интенсивности УФ-излучения (рисунок 1) позволило установить, что данное явление особенно быстро происходит первые 400 тыс. импульсов, после чего зафиксирована некоторая стабилизация дегазационных процессов.

Это явление можно частично объяснить, что взаимодействие плазмы происходит уже не с кварцевым стеклом, а со слоем кристобалита на поверхности.

В-третьих, визуально наблюдаемые напыленные слои пагубно сказываются на индикатрисе излучения импульсной ксеноновой лампы. На рисунке 2 представлено пространственное распределение излучения при первом включении (рисунок 2, а) и после 1,0 млн. вспышек (рисунок 2, б). Представленные на рисунке 2 пространственные распределения излучения позволили сделать следующие выводы:

Размещение ИК-индикатрисы внутри аналогичной кривой для УФ-диапазона связано с более

высоким коэффициентом поглощения плазмы в красной области спектра.

Исходя из рисунка 2, а, расчет эквивалентного телесного угла позволил получить важные для практики величины телесного угла в диапазоне 1 равна  $\Omega = 10,37$ ср, а диапазоне 2 –  $\Omega = 11,75$ ср.

Описанные явления деградации оболочки существенно искажают индикатрису излучения по истечении 400 тыс. вспышек и приводят к необходимости корректировки времени воздействия УФ-излучения при дезинфицируемой обработке поверхности.

#### Литература

1. Исследование бактерицидной эффективности обеззараживания воздуха и открытых поверхностей импульсным ультрафиолетовым излучением сплошного спектра / Н.В. Шестопалов [и др.] // Медицинский алфавит. – 2017. – Т. 2, № 18. – С. 5–8.
2. Сапожников, Р. А. Теоретическая фотометрия. – М: Энергия, 1977. – 264 с.

УДК 620.1.08

### АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ФОРМЫ С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА И PZS-ЛИНЕЙКИ

Епифанцев К. В.<sup>1</sup>, Родионов Д. С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

<sup>2</sup>АО «НИИ «Масштаб»

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Адрес для переписки: Епифанцев К. В., Московский пр-т., 149В, г. Санкт-Петербург 196128, Российская Федерация, e-mail: epifancew@gmail.com

**Аннотация.** Процесс импортозамещения, прежде всего, необходим для быстроизнашиваемых ЗИП приборов, от оперативности их замены зависит работоспособность установки. В статье рассматривается процесс замещения контактного датчика кругломера на оптический датчик лазерного типа, а также в результате этого - потенциальная автоматизация измерения. В качестве экспериментального прибора рассмотрен кругломер RoundTestRA-120p.

**Ключевые слова:** оптический лазерный датчик, анализ дефектов детали, кругломер.

### AUTOMATION OF LASER SYSTEM OF SHAPE DEFECT MEASUREMENT DEVICES USING AN OSCILLOGRAPH AND PZS-RULER

Epifantsev K.<sup>1</sup>, Rodionov D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

<sup>2</sup>JSC "Research Institute "Mashtab"

Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The process of import substitution is primarily necessary for quickly wearing out spare parts for devices, since the operability of the installation depends on the efficiency of their replacement. The article considers the process of replacing the contact sensor of the roundness meter with an optical sensor of the laser type, as well as the resulting potential automation of measurement. The RoundTestRA-120p roundness meter is considered as an experimental device.

**Keywords:** optical laser sensor, defect analysis of a part, roundness meter.

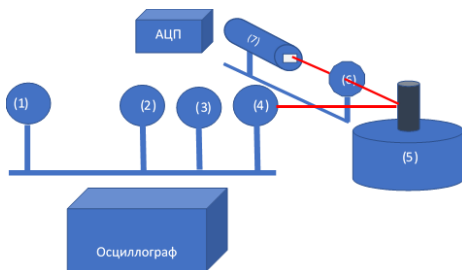
Address for correspondence: Epifantsev K., Moskovsky pr-t., 149V, Saint Petersburg 196128, Russian Federation, e-mail: epifancew@gmail.com

Автоматизация измерений во многом зависит от автоматизации таких процессов, как калибровка и юстировка. Данные процессы максимально трудоемки и определяют наличие методи-

ческой погрешности, аддитивные и мультипликативные поправки. В настоящее время контактный щуп кругломера вынуждает использовать ручной труд при калибровке и терять до 7 мин на 1 деталь

[1–4]. Актуальность исследования – не только импортозамещение, но и увеличение производительности за счет уменьшения времени, затраченного на калибровку в процессе центрирования-выравнивания детали. В исследовании [2] описан процесс создания лазерного кругломера для исследования дефектов формы дорожек качения подшипников, применяемых в авиации. Данное исследование было взято за основной прототип будущей лазерной системы.

В результате экспериментов в Физическом институте Академии наук им П.Н.Лебедева в 2023-2024 гг, 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 (рисунок 1).



1 – лазер ДМ-8-650, 2 – поляризатор; 3 – затемнитель  
4 – цилиндрическая линза, 5 – деталь; 6 – объектив Гелиос; 7 – PZS линейка K1200ЦЛ-1

Рисунок 1 – Схема установки

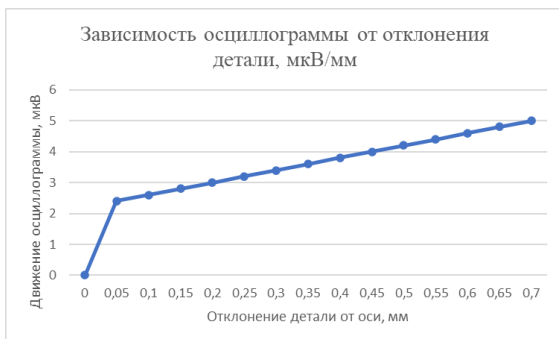


Рисунок 2 – График результатов экспериментов, дюралюминий. На осциллографе установлены микровольты



Рисунок 3 – График результатов экспериментов, конструкционная сталь

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 экспериментов на дюралюминии и конструкционной стали приведены на рисунках 2 и 3, соответственно.

Следующая схема установки представлена на рисунке 4. На данной установке был проведен третий ряд экспериментов касательного лазерного пучка. В данном эксперименте не использовался кругломер, не использовалась PZS линейка, а использовался коллиматор. Эксперимент также проводился в АО «Бортовые аэронавигационные системы». В этом эксперименте была применена оптическая схема интерферометра Майкельсона.

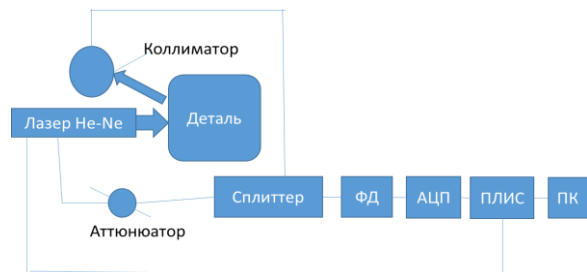


Рисунок 4 – Оптическая схема интерферометра Майкельсона, волоконно-оптическая схема измерительного тракта

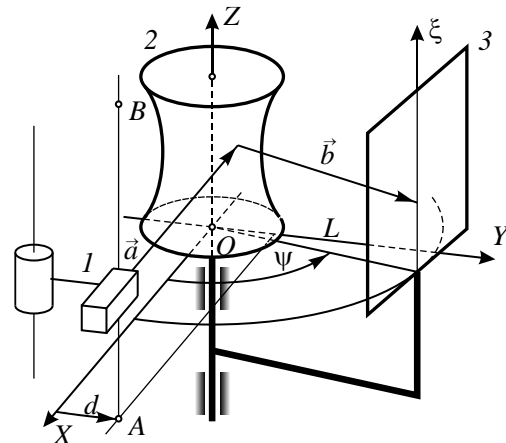


Рисунок 5 – Кинематическая схема [2]

Приведенная оптическая схема соответствует случаю приема излучения на матричный фотоприемник. Разница во взаимном положении зеркал в плечах интерферометра приводит к изменениям положения максимумов интерференции на фотоприемнике.

Также важной частью последующей работы оптического кругломера является обработка круглограммы, которая позволяет вывести на экран в удобном виде полученные результаты, которые могут представлять собой визуализированную круглограмму.

**Выводы.** В результате измерения по сравнению оригинального прибора с оптическим датчиком были выявлены некоторые зависимости (5). Соотношение микрометрического отклонения и зависимости осциллограммы имеет обратно-пропорциональную зависимость по осям CX и LX, в среднем по зависимости

$$L = 0,1 I = Lf \quad (5)$$

Таким образом, из [2] был взят прототип, который в настоящее время обрабатывается и видоизменен (рисунок 5). Основным элементом, упрощающим и удешевляющим прибор – поворотный стол. Данный стол имеет настройку угла поворота, периода, скорости, самое важное – бюджетную стоимость, что в целом удешевляет установку. Для улучшения фильтрации полученных данных необходимо применить кинематические уравнения и дополнить их динамическими

уравнениями вращательного движения твердого тела в системе координат, связанной с телом, и центр которой находится в центре инерции тела.

#### Литература

1. Гущина, Е. А. Цифровая метрология: учеб.-метод. Пособие / Е. А. Гущина, К. В. Епифанцев, Н. Ю. Ефремов. – СПб.: ГУАП, 2022. – 104 с.
2. Заякин О., А. Экспериментальный лазерный кругломер, исследование основной погрешности / О. А. Заякин, А. В. Манухин, А. А. Ростов // Известия Самар. науч. центра Российской академии наук. – 2017. – Т. 19, № 6. – С. 184–188.
3. Исследование возможности применения одновиткового вихретокового датчика для измерения дефектов формы / К. В. Епифанцев [и др.] // Инновационное приборостроение. – 2024. – Т. 3, № 1. – С. 63–76.
4. Spragg, R. C. Accurate calibration of surface texture and roundness measuring instruments / R. C. Spragg // Proc. Instr. Mech. Engrs, 1967–1968. – P. 32.

УДК 533.9.082, 533.922, 533.924, 621.373.8

### ДВУХИМПУЛЬСНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МИКРОКОЛИЧЕСТВ МЕТАЛЛОВ В ПОРИСТЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦАХ

Ермалицкая К. Ф.

*Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Исследованы возможности одноимпульсной и двухимпульсной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии для микроанализа фрагментов почвы и остатков процесса переработки электродов автомобильных аккумуляторов с целью определения остаточного содержания металлических примесей. Экспериментально определены оптимальные параметры лазерных импульсов для увеличения чувствительности анализа, разработана методика количественного анализа пористых неметаллических образцов с микровключениями металлов.

**Ключевые слова:** Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия, одиночные и двоянные лазерные импульсы.

### DOUBLE-PULSE LASER SPECTROSCOPY OF MICRO AMOUNTS OF METALS IN POROUS NON-METALLIC MATRIXES

Ermalitskaia K.

*Belarussian State University  
Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** The possibilities of single-pulse and double-pulse laser atomic emission spectroscopy for microanalysis of soil fragments and residues from the recycling process of automobile battery electrodes in order to determine the residual content of metal impurities were investigated. The optimal parameters of laser pulses to increase the sensitivity of the analysis were experimentally determined, and a method for quantitative analysis of porous non-metallic samples with metal microinclusions was developed.

**Key words:** Laser atomic emission spectroscopy, single and double laser pulses.

*Адрес для переписки: Ермалицкая К. Ф., пр. Независимости, 4, г. Минск 220030, Республика Беларусь  
e-mail: ermalskaia@gmail.com*

Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия широко применяется в последние десятилетия для анализа металлов и многокомпонентных сплавов. Однако высокая плотность лазерной мощности на поверхности образца вкупе с малым диаметром лазерного пучка (порядка 100–200 мкм) дает возможность предположить, что данный метод будет

эффективен и для прямого без механической и химической подготовки образца сканирования поверхности пористых неметаллических матриц.

Объектом исследования являлись образцы почв и пористые фрагменты, образовавшиеся после утилизации металлических электродов автомобильных аккумуляторов. При визуальном осмотре в образцах