

вательность сжатия двумерных сигналов, или сжатие, включают в себя фазы квантования, кодирования или декодирования информации.

Для выполнения одноуровневых или многоуровневых преобразований вейвлет-декомпозиций по отношению к конкретному вейвлету существуют различные программные продукты, которые позволяют провести анализ исследуемых цифровых данных, построить графики данных анализа, сравнить исходные и полученные результаты, найти различия.

Также вейвлет-преобразования можно использовать при пороговой фильтрации с целью удаления шумовой составляющей сигнала. Данный способ показывает влияние на качество восстановления исходного сигнала многих факторов: уровень вейвлет разложения исходного сигнала, отсутствие монотонной зависимости между уровнем разложения и ошибкой; оказывает влияние и метод пороговой обработки, если использовать не только мягкую пороговую обработку, то можно получить сильные отклонения от исходных данных; также на качество восстановления исходного сигнала влияет способ определения порогового значения; выбор базисного вейвлета, чем более гладкая вейвлет-функция, тем более сглаженным будет восстановленный сигнал.

К сожалению, несмотря на активное развитие исследований, которые направлены на обработку цифровых сигналов, многие проблемы остаются нерешенными. Использование мягкой и жесткой пороговой обработки сигналов приводят к скачкам в восстановленных сигналах, в результате оценки получаются смещенными, что приводит к большому разрыву с исходным сигналом.

Литература

1. Андреев, Д. А. Обработка цифровой информации на основе вейвлет-преобразований / Д. А. Андреев, В. А. Лондинов, О. Ю. Тимошевская // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции, Сочи, 01–10 октября 2021 года. – Москва: Ассоциация выпускников и сотрудников ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского содействия сохранению исторического и научного наследия ВВИА имени профессора Н. Е. Жуковского, 2021. – С. 66–70.
2. Вейвлет-анализ в примерах: Учебное пособие / О. В. Нагорнов [и др.]. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
4. Кренкель, Т. Э. Квантовое вейвлет-преобразование Добеши / Т. Э. Кренкель, М. А. Бажанова // Т-СОММ – Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т.8, №12. – С. 35–40.

УДК 53.082.54

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАТРИЧНЫХ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИНФРАКРАСНЫХ СИСТЕМ

Конойко А. И., Кравченко В. М., Кузьмицкая А. С., Малютина-Бронская В. В., Солодуха В. А.

*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В данной работе отражены результаты работ по разработке функциональной и оптической схем лабораторного стенда для исследования параметров матричного термооптического преобразователя на базе микрорезонаторов Фабри-Перо, функционирующего на основе термооптического эффекта.

Ключевые слова: термооптический преобразователь, измерительный стенд, интерферометр Фабри-Перо, оптическая схема, термооптический эффект.

TEST BENCH OF THE MATRIX THERMO-OPTICAL CONVERTERS BASIC PARAMETERS FOR INFRARED SYSTEMS

Konoiko A., Kravchenko V., Kuzmitskaya H., Malyutina-Bronskaya V., Saladukha V.

*SSPA «Optics, Optoelectronics and Laser Technology»
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. This paper presents the results of the work on the development of functional and optical schemes of a laboratory stand for studying the parameters of a matrix thermo-optical converter based on Fabry-Perot microresonators, operating on the basis of the thermo-optical effect.

Key words: thermo-optical converter, measuring stand, Fabry-Perot interferometer, optical scheme, thermo-optical effect.

Адрес для переписки: Малютина-Бронская В. В., тр-м Логойский, 22/1-207, г. Минск 220090, Республика Беларусь, e-mail: malyutina@oelt.basnet.by

Введение. В настоящее время активное развитие получило направление тепловизионной техники и инфракрасных систем (ИК-систем) в связи с их широким применением в различных областях науки и техники. Одной из основных задач, стоя-

щих в настоящее время перед разработчиками ИК-систем, является совершенствование элементной базы: создание новых фотоприемных устройств высокого пространственного разрешения; оптических систем, работающих в широком

спектральном диапазоне; снижение масс-габаритных параметров и энергопотребления; уменьшение стоимости компонентов и систем в целом и другие [1]. В качестве возможного решения поставленных выше задач был осуществлен процесс разработки и предварительных исследований неохлаждаемой матричной ИК-системы функционирующей на основе термооптического эффекта, пиксели которой представляют собой микрорезонаторы Фабри-Перо. Установлено, что под воздействием температуры в такой системе происходит сдвиг максимума спектра пропускания.

Проведенные исследования позволили определить максимальное значение коэффициента пропускания резонатора-пикселя, температурный сдвиг максимума коэффициента пропускания на рабочей длине волны, крутизну преобразования ИК-излучения и коэффициент перестройки.

Было показано, что разработанная ИК-система по крутизне преобразования не уступает промышленно выпускаемым болометрическим матрицам на базе оксида ванадия [1–2].

Кроме описанных выше параметров согласно ГОСТ Р 59606–2021 [3] для оценки работоспособности ИК-системы требуется определить обнаружительную способность (измерение мощности эквивалентной шуму), температурное разрешение и постоянную времени (тактовая частота). Поэтому целью данной работы была разработка лабораторного стенда для исследования основных параметров матричных термооптических преобразователей (ТОП).

Описание оптической схемы. На рисунке 1 показаны функциональная (а) и оптическая (б) измерительной установки для исследования основных параметров ТОП.

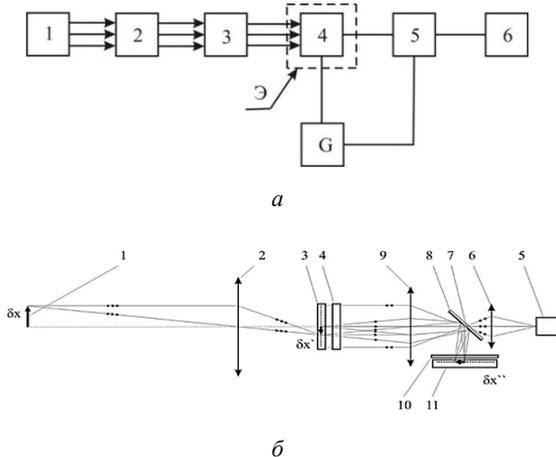


Рисунок 1 – Функциональная (а) и оптическая (б) схемы измерительной установки для исследования основных параметров ТОП

Функциональная схема включает в себя: 1 – источник ИК излучения; 2 – проекционный ИК-объектив; 3 – модулятор; 4 – испытуемый образец ТОП; 5 – фотоприемник; 6 – осциллограф; G –

источник питания; Э – светозащитный экран. Проекционный ИК объектив 2 проецирует изображение источника ИК излучения на входное окно испытуемого образца термооптического преобразователя 4, которое является одновременно входным окном прозрачным для ИК-излучения. Модулятор 3 периодически прерывает поток ИК-излучения тем самым обеспечивая соответственно минимальный и максимальный уровни ИК-излучения на входном окне испытуемого образца ТОП.

Оптическая схема включает в себя источник ИК излучения (1), проекционный ИК-объектив (2), оптически связанный с ИК-входом матрицы термочувствительных микрорезонаторов (3), широкоапертурный резонатор (4), источник считывающего излучения видимой области спектра (5), последовательно оптически связанный через первый объектив 6 ($f \geq 10\text{мм}$; $D/f = 1$), микроотверстие (7) отражателя (8), второй объектив 9 ($f \geq 20\text{мм}$; $D/f = 1$) и широкоапертурный резонатор (4) с входом матрицы термочувствительных микрорезонаторов (3) для видимого излучения, которая дополнительно оптически связана через второй объектив (9), отражатель (8), сглаживающий пространственный светофильтр (10) с фотоприемной камерой (11).

В качестве источника ИК-излучения (1) может применяться абсолютно черное тело (АЧТ). ИК объектив (2) может быть выполнен в виде положительной германиевой линзы прозрачной в ИК области спектра, либо в виде сферического или параболического алюминиевого зеркала. Матрица термочувствительных микрорезонаторов (3) выполнена в виде 2-х координатной структуры пленочных микрорезонаторов Фабри-Перо, помещенной в вакуум между двумя окнами, одно из которых прозрачно для ИК-излучения, второе – для видимого излучения. Широкоапертурный резонатор (4) выполнен в виде пленочного резонатора Фабри-Перо, помещенного в вакуум между двумя окнами прозрачными для видимого излучения. Источник излучения видимой области спектра (5) выполнен в виде полупроводникового светодиода (максимум излучения при $\lambda = 525\text{нм}$, полуширина спектра $\Delta\lambda = 80\text{нм}$) с блоком питания и фокусировкой в оптоволокно. Первый объектив (6) и второй объектив (9) выполнены в виде положительных линз из стекла К8. Отражатель (8) с микроотверстием (7) выполнен в виде плоскопараллельной пластины из стекла К8 с отражающим покрытием для излучения в видимой области спектра, в котором сформировано отверстие для прохождения сфокусированного светового пучка. Сглаживающий пространственный светофильтр (10) должен быть выполнен в виде плоскопараллельной пластины из стекла К8 с нанесенным пленочным покрытием, обладающим изменяющимся по апертуре коэффициентом пропускания, который выполнен при помощи фотолитографии. 11 – фотоприемная камера, например HD-CVI

(марки Alhva DH-HAC-HF3220EP), сигнал от которой передается на дисплей.

При постоянной рабочей частоте модулятора изменение разности начальных температур матрицы термооптического преобразователя и широкоапертурного резонатора будет приводить в конечном итоге к изменению величины переменного сигнала на осциллографе, что позволяет определить разность начальных температур ΔT , которой соответствует максимальная чувствительность термооптического преобразователя при фиксированной температуре окружающей среды T_0 . Уменьшение величины интенсивности ИК-излучения позволяет определить обнаружительную способность термооптического преобразователя. При воздействии на термооптического преобразователя периодических импульсов ИК-излучения (синусоидальной или прямоугольной формы) с постоянной амплитудой, формируемых за счет увеличения рабочей частоты модулятора, происходит уменьшение его чувствительности. Это позволяет определить постоянную времени

$\tau = 1/2\pi\nu_c$. Граничная частота ν_c соответствует спаду чувствительности на 3 дБ при увеличении частоты модуляции.

Заключение. В итоге на основании ГОСТ Р 59606–2021 была разработана оптическая схема лабораторного стенда для исследования основных параметров матричных термооптических преобразователей: обнаружительная способность, температурное разрешение и постоянная времени.

Литература

1. Перспективы применения микрорезонаторов Фабри-Перо для тепловизионной техники / В. М. Кравченко [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 280–286.
2. Исследование матрицы Фабри-Перо термооптического преобразователя / В. М. Кравченко [и др.] // Восьмой белорусский космический конгресс, 25–27 октября 2022 года, Минск: материалы конгресса: в 2 т. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – Т.2. – С.130–133.
3. ГОСТ Р 59606–2021. Оптика и фотоника. Устройства фотоприемные второго и последующих поколений. Методы измерений фотоэлектрических параметров и определения характеристик. – М: БелГИСС, 2021. – 2021.

УДК 620.179

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТВЕРДОСТИ ЧУГУНА

Крень А. П.¹, Кутепов А. Ю.¹, Никифоров А. В.², Турсунов Н. К.³, Уразбаев Т. Т.³

¹ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»

²Белорусский государственный университет

Минск, Республика Беларусь,

³Ташкентский государственный транспортный университет

Ташкент, Узбекистан

Аннотация Показаны возможности использования машинного обучения и стандартных библиотек языка программирования Python для оценки твердости чугунов различных марок, имеющих переменный модуль упругости. Установлено, что в случае применения метода микроударного индентирования это позволяет снизить погрешность до 10 единиц твердости по шкале Бринелля и отказаться от индивидуальных градуировок для различных чугунов при использовании портативных твердомеров.

Ключевые слова: твердость, модуль упругости, температура, металл, микроударное индентирование.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING FOR CAST IRON HARDNESS CONTROL

Kren A.¹, Kutsepau A.¹, Nikiforov A.², Tursunov N.³, Urazbaev T.³

¹Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus

²Belarusian State University

Minsk, Republic of Belarus

³Tashkent State University of Transport

Tashkent, Uzbekistan

Abstract. The possibilities of using machine learning and existing libraries of the Python programming language for assessing the hardness of cast irons of various grades with a variable modulus of elasticity are shown. It was established that in case of application of the microimpact indentation method this allows to reduce the error to 10 units of hardness on the Brinell scale and to refuse individual scaling for different cast irons when using portable hardness testers.

Keywords: hardness, elastic modulus, temperature, metal, micro-impact indentation.

Адрес для переписки: Крень А. П., ул. Академическая, 16, г. Минск 220072, Республика Беларусь

e-mail: alekspk@iaph.bas-net.by

Чугун широко используется в машиностроении благодаря высоким механическим характеристикам и простоте выплавки. Одним из наиболее перспективных методов контроля механических характеристик является метод динамического ин-

струментального индентирования. Он подразумевает регистрацию всей диаграммы нагружения, когда индентор находится в контакте с испытуемым материалом. Эта диаграмма позволяет определить целый набор данных [1] и рассчитать динамиче-