

отпечатка, м;  $l$  – длина трещины возле отпечатка, м;  $a$  – длина полудиagonали отпечатка, м.

Условие выбора формулы из приведенных выше зависит от отношения  $c/a$ : если  $c/a < 2,5$ , то в образце образуются трещины Палмквиста и расчет проводят по формуле (1), а если  $c/a > 2,5$ , то в образце образуются медианные трещины и расчет проводят по формулам (2) [9].

При определении величины  $K_{IC}$  наибольшую ошибку может внести погрешность при определении длины трещины. Неточность в длине трещины в 200 нм приводит к погрешности в  $K_{IC}$  на кремнии в 0,05–0,15 МПа·м<sup>1/2</sup> (5–7 %). Если же пользоваться оптикой и не распознавать треть длины трещин при малых нагрузках, погрешность может составлять 30–35 % [6]. В данной работе критерием вершины трещины был профиль АСМ в ее окрестности. Началом трещины считалась точка на ее контуре, выявленном АСМ, в которой глубина профиля отличалась от профиля в недеформированной области.

Так как при индентировании Виккерсом в материале образуются трещины, то значения микротвердости по Виккерсу  $H_V$  (используемые для определения  $K_{IC}$ ) не совсем верные. При индентировании часть энергии тратится на образование трещины и таким образом вносит погрешность в определении микротвердости по Виккерсу  $H_V$ . Следовательно, при расчетах  $K_{IC}$  нужно использовать значения  $H$ , полученные при помощи наноиндентора с алмазным наконечником типа Беркович и нагрузки не более 10 мН, при которых гарантированно не образуются трещины в материале. Такой подход представляется более корректным.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке и в рамках задания 2.3 ГПНИ «Энергетические и ядерные процессы и технологии» на 2021–2023 годы.

УДК 53.084

## ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ SO<sub>2</sub> В ВУЛКАНИЧЕСКИХ ВЫБРОСАХ

Литвинович Г.С., Бручковский И.И.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В работе представлена конструкция инструмента для полевых измерений SO<sub>2</sub> в вулканических выбросах.

**Ключевые слова:** ДОАС, УФ-спектрометр для полевых измерений, вулканические выбросы.

## INSTRUMENT FOR SO<sub>2</sub> MEASUREMENTS IN VOLCANIC EMISSIONS

Litvinovich H., Bruchkouski I.

*A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems BSU  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** The paper is dedicated to the instrument design for field measurements of SO<sub>2</sub> in volcanic emissions.

**Key words:** DOAS, UV-spectrometer for field measurements, volcanic emissions.

*Адрес для переписки: Бручковский И.И., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь  
e-mail: bruchkovsky2010@yandex.by*

## Литература

1. Трещиностойкость и механические свойства конструкционных материалов технических систем / В. В. Москвичев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2002. – 334 с.
2. Третьяков, Ю. Д. Керамика в прошлом, настоящем и будущем / Ю. Д. Третьяков // Соровский образовательный журнал. – 1998. – № 6. – С. 53–59.
3. Карбид кремния: технологи, свойства, применение / Агеев О. А. [и др.]; под ред. А. Е. Беляева и Р. В. Конаковой. – Харьков : ИСМА, 2010. – 532 с.
4. Гринчук, П. С. Получение плотной реакционно-связанной керамики на основе карбида кремния / П. С. Гринчук [и др.] // Тепло- и массообмен – 2017 : сборник научных трудов. – Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси ; редкол.: О. Г. Пенязьков. – Минск, 2017. – С. 56–68.
5. Башта, А. В. Определение твердости и трещиностойкости конструкций керамики методом индентирования / А. В. Башта // Вестник НТУ “ХПИ” ; редкол.: М. И. Рыщенко. – Харьков, 2010. – С. 106–113.
6. Механические и триботехнические свойства нитридных и оксинитридных покрытий на основе хрома и циркония, полученных электродуговым испарением / Вархолински Б. [и др.] // Трение и износ. – 2019. – Т. 40, № 2. – С. 209–217.
7. Определение трещиностойкости с использованием АСМ / Лапицкая В.А. [и др.] // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии : сборник докладов 13 международной конференции, Минск, 16–19 окт. 2018 г. / Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси ; редкол.: С. А. Чижик – Минск, 2018. – С. 260–266.
8. Influence of polishing technique on crack resistance of quartz plates / V. A. Lapitskaya [et al.] // International Journal of Fracture – 2021. – Vol. 231. – P. 61–77.
9. Niihara, K. A fracture mechanics analysis of indentation-induced Palmqvist crack in ceramics / K. Niihara // J Mater Sci Lett. – 1983. – Vol. 2. – P. 221–223.

Одним из способов предсказаний извержений является анализ измерений газового состава вулканических выбросов [1]. В зависимости от геологических особенностей породы и близости магмы к поверхности земли, соотношение концентраций вулканических газов в выбросах ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{BrO}$  и др.) может изменяться. Например, увеличение содержания  $\text{SO}_2$  в выбросах свидетельствует о близости магмы к поверхности. Основной проблемой проведения измерений газового состава вулканических выбросов является относительно высокий риск здоровью исследователя, обусловленный, в том числе, высоким содержанием загрязнений воздуха вблизи объекта исследований. В этой связи, актуальность представляют инструменты, позволяющие проведение измерений газового состава вулканических выбросов дистанционным методом. Для решения данной задачи авторами был разработан портативный инструмент DEVI (Doas Expedition Volcanic Instrument), позволяющий определять содержание газов в вулканических выбросах дистанционным методом DOAS (дифференциальная оптическая абсорбционная спектроскопия). Внешний вид инструмента DEVI представлен на рис. 1.

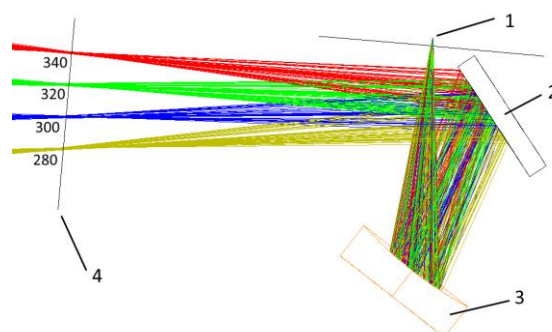
Корпус DEVI разработан таким образом, чтобы производить регистрацию спектров яркости атмосферы «с рук». Аккумуляторная батарея формата 18650 размещена в рукоятке и обеспечивает непрерывную работу прибора около 3 ч. Корпус DEVI имеет кронштейн 4 типа ласточкин хвост для крепления к штативу, что позволяет проводить серию измерений при неизменном направлении визирования. Обзорная широкоугольная RGB видеочка служит для привязки области спектрометрирования к объекту и регистрации внешнего вида объекта измерений. DEVI имеет встроенный датчик GPS (C&Q 84), компас и инклинометр MPU9250, датчик температуры, влажности и давления воздуха BME280.



1 – порт для программирования; 2 – индикатор записи видео; 3 – регистрируемый спектр на экране; 4 – кронштейн крепления DEVI к штативу; 5 – расположение датчика атмосферных параметров

Рисунок 1 – Внешний вид DEVI

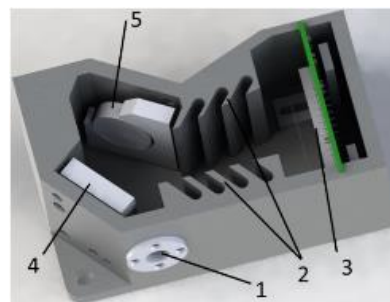
Главный оптический модуль DEVI – это спектрометр собственной разработки, спроектированный для вогнутой дифракционной решетки с ( $R = 60$  мм, 2581 штр/мм) и детектора Toshiba TCD1304DG, оптическая схема спектрометра представлена на рис. 2. Спектрометр имеет систему освещения входной щели (объектив), которая обеспечивает поле зрения около  $1^\circ$  по углу возвышения (на схеме не показана). Оптическая схема спектрометра рассчитывалась в программной среде Zemax, для чего применялся непоследовательный режим, оптимизация параметров оптической схемы проводилась с целью минимизации ширины аппаратной функции для спектрального интервала 280–340 нм и входной щели  $50 \times 50$  мкм. Расчетная величина ширины на полувысоте для монохроматической линии составила 0,7 нм.



1 – входная щель; 2 – плоское зеркало; 3 – вогнутая дифракционная решетка; 4 – детектор

Рисунок 2 – Оптическая схема спектрометра DEVI

На рис. 3 представлен вид модели спектрометра, которая использовалась при изготовлении готового изделия.



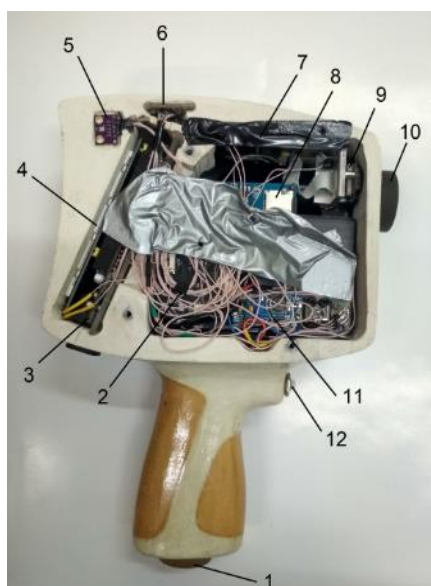
1 – узел входной щели; 2 – световые ловушки; 3 – детектор; 4 – плоское зеркало; 5 – дифракционная решетка

Рисунок 3 – Внешний вид модели спектрометра (без объектива, юстировочных винтов и светового замка)

Объектив представляет собой двояковыпуклую линзу с  $f = 90$  мм из стекла марки КУ-1.

На рис. 4 представлен вид DEVI со снятой крышкой, где обозначены видимые элементы. В приборе реализовано два режима работы: ручной

и автоматический (для работы на треноге), для каждого из которых предусмотрен режим автоэкспозиции.



1 – крышка отсека элемента питания; 2 – плата АЦП детектора спектрометра; 3 – плата контроллера; 4 – экран; 5 – датчик ВМЕ280; 6 – GPS датчик; 7 – плата видеорежистратора; 8 – карта памяти; 9 – видеокамера; 10 – объектив спектрометра; 11 – DC-DC преобразователь; 12 – кнопка запуска режимов регистрации

Рисунок 4 – Внешний вид DEVI со снятой крышкой

Разработанный инструмент использовался в экспедиции на Курильские острова в период 31.07–13.08.2021, где одной из задач было получение данных о газовом составе вулканических

выбросов. На рис. 5 представлен один из первых результатов обработки спектра яркости небесной сферы, зарегистрированного 06.08.2021 вблизи вулкана на острове Чиринкотан с целью восстановления наклонной толщи  $\text{SO}_2$  по методу DOAS.

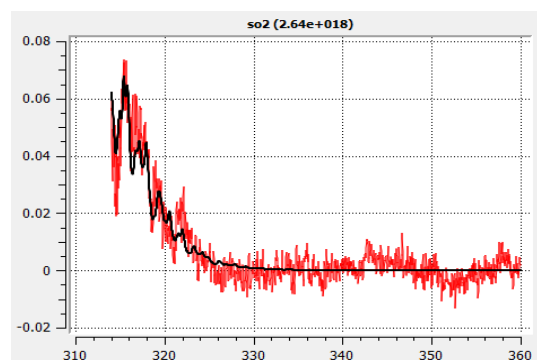


Рисунок 5 – Результат восстановления наклонной толщи  $\text{SO}_2$  по методу DOAS

Таким образом, с помощью DEVI впервые получен массив данных in-situ, содержащий в себе информацию о газовом составе вулканических выбросов для вулканов, расположенных на четырех островах: Чиринкотан, Синарка, Уруп, Кунтаминар. Для корректной обработки полученных данных необходимо провести ряд калибровок и уточнений, однако предварительный результат позволяет надеяться на получение релевантных данных касательно содержания  $\text{SO}_2$  в исследованных регионах.

#### Литература

1. Sparks R. S. J. Forecasting volcanic eruptions / R. S. J. Sparks // Earth and Planetary Science Letters. – 2003. – Vol. 210, iss. 1–2. – P. 1–15.

УДК 658.562.012.7

### МЕТОДОЛОГИЯ «SIX SIGMA» КАК ИНСТРУМЕНТ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Михейчик А.В.<sup>1</sup>, Серенков П.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИП ООО «Минавто»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** За последнее время произошли колоссальные изменения в мировой экономики, которые отразились негативно на многих отраслях промышленности. Хорошо известная методология повышения качества “Lean Six Sigma” может помочь подготовиться производственным предприятиям и иным организациям к глобальному кризису настоящего времени и не дойти до пика банкротства. Бережливая система и антикризисное управление были внедряются в различные сферы деятельности. На основе анализа представленной литературы, теоретических и практических примеров было установлено, что кризис, управляемый с помощью Lean Six Sigma в любой организации, дает реальные результаты и преобразует ситуацию в конкурентное преимущество, демонстрируя клиентам и заинтересованным сторонам хорошее деловое поведение, прозрачность, этическое отношение и минимальные затраты времени.

**Ключевые слова:** Lean Six Sigma, DMAIC, DMADV, качество, бережливая система, антикризисное управление.