

## **Микроплазменный фотоионизационный сенсор CES как инновационный инструмент обеспечения безопасности при ведении горных работ**

**Научный руководитель – Мустафаев Александр Сеит-Умерович**

*Одинцов Е.Е.<sup>1</sup>, Ножкина У.В.<sup>2</sup>, Авакян Е.Г.<sup>3</sup>*

1 - Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, *E-mail: odintsovgeorge@gmail.com*; 2 - Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, *E-mail: unozhkina@yandex.ru*; 3 - Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, *E-mail: avakyanz@inbox.ru*

На сегодняшний день разработки в сфере безопасности и охраны труда в горнопромышленном секторе приобретают всё большую ценность. В связи с этим требуются новые подходы в создании измерительного оборудования, осуществляющего мониторинг качества атмосферного воздуха рабочей зоны и постоянный контроль состояния здоровья сотрудников. Предлагаемый фотоионизационный микроплазменный сенсор, разработанный исследовательской группой Санкт-Петербургского Горного университета, является инновационным. Принцип работы данного газоанализатора основан на новом методе - методе столкновительной электронной спектроскопии. Настоящая технология повышает не только точность измерений, но и показатели автономности. Устройство имеет малые габариты, позволяющие использовать его в качестве портативного газоанализатора. Главной особенностью микроплазменного сенсора CES является принцип регистрации. В отличие от газоанализаторов предыдущего поколения, которые измеряют величину вектора импульса характеристических электронов, данный сенсор измеряет значение энергии. Уникальные характеристики прибора и широкий спектр детектируемых молекул позволяют говорить о целом ряде областей применения. В горном деле, кроме контроля качества воздуха и состояния здоровья работников, микроплазменный анализатор может быть использован для построения аэрологической карты рудника и ведения буровзрывных работ.

Метод столкновительной электронной спектроскопии основан на прямом измерении энергии характеристических электронов, полученных в процессе ионизации анализируемого газа. Такой подход позволяет избавиться от громоздкого вакуумного оборудования и, как следствие, значительно снизить габариты и массу устройства [5]. Следует также отметить, что фотоионизационные CES газоанализаторы имеют значительное преимущество по сравнению со всеми детекторами (масс-спектрометры, детекторы ионной мобильности и т.д.), это связано с тем, что только детектируемые примеси ионизируются излучением ВУФ, в то время как основные компоненты воздуха (азот, кислород) остаются нейтральными, потому что их потенциал ионизации выше, чем энергия фотонов ВУФ [2, 4]. В связи с этим фоновый сигнал уменьшается, чувствительность и разрешающая способность увеличиваются. Таким образом, когда атомы и молекулы примесей сталкиваются с фотонами (10,5-11,5 эВ), с длиной в области вакуумного ультрафиолета и известной энергией Ер, атомы анализируемого газа ионизируются с образованием свободных электронов. [3] В качестве источника фотонов предлагается использовать источники, наполненные буферным газом, например смесью Kr-He с торцевым окном MgF2 для генерации резонансного излучения криптона на атомных линиях Kr 116,48 нм (10,64 eV) и 123,58 нм (10,03 eV) [1], диаметр стеклянного цилиндра составляет 16 мм, внутри него установлены цилиндрический катод и анод.

Микроплазменный фотоионизационный сенсор CES - уникальная разработка, области применения которой не ограничиваются минерально-сырьевым комплексом. Так, детектор

способен выполнять функцию мобильного анализатора воздуха на опасных промышленных объектах, в том числе, на рудниках и в шахтах. При помощи сенсора возможны неинвазивный анализ основных биомаркеров организма и диагностика заболеваний на ранних этапах их возникновения. В минерально-сырьевом комплексе сенсор может быть использован как средство решения ряда проблем в построении аэроэкологической карты рудника. Кроме того, прибор производит непрерывный мониторинг состояния окружающей среды и сбор проб воздуха, сравнивает полученные значения с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) и оповещает о наличии превышающих эти ПДК веществ, которые представляют угрозу жизни людей.

В докладе был представлен принцип работы микроплазменного сенсора CES, основывающийся на методе столкновительной электронной спектроскопии и прямом измерении энергии характеристических электронов. Это позволяет увеличить точность измерения и превзойти уже существующие устройства данного типа по таким параметрам, как: габариты, питание, цена, масса устройства. Прибор обладает многочисленными преимущественными характеристиками: селективность (широкий спектр распознаваемых молекул), чувствительность (1ppm), малогабаритность, небольшой вес, низкое энергопотребление с питанием из аккумулятора, а также низкая цена сравнительно с аналогами. Данный микроплазменный сенсор CES может найти применение в нефтегазовой отрасли промышленности, например, для анализа проб воздуха, а также контроля состояния здоровья рабочих в виде индивидуального газоанализатора, и горном деле для контроля ведения буровзрывных работ и построения аэрологических карт. Разработка уже получила признание в России и мире - это множественные победы на международных конкурсах и конференциях и рецензии от потенциальных потребителей.

### Источники и литература

- 1) Ivanov A.S., Fedortsov A.B. High accuracy nondestructive measuring of the thickness of transparent solid and liquid films // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. No. 378. 012056.
- 2) Kudryavtsev A., Mustafaev A., Tsyganov A. et al. Electron energy spectra in helium observed in a microplasma Collisional Electron Spectroscopy detector // Technical Physics. 2012. No. 57(10). pp. 1325-1330.
- 3) Murillo O., Mustafaev A.S. & Sukhomlinov V.S. Structure of the wall sheath in a gas-discharge plasma for an arbitrary orientation of a flat probe relative to the electric field in the plasma // Technical Physics. 2019. No. 64(10). pp. 1462-1472.
- 4) Mustafaev A., Soukhomlinov V. & Ainov M. Ion's velocity distribution functions in own gas plasma // Part 1. Experiment. High Temperature. 2017. No. 55(3). pp. 346-351.
- 5) Rastvorova, I et al. Microplasma photoionization sensors // Theses of the III International Youth Scientific Conference: Physics. Technologies. Innovations of the FTI-2016. 2016. pp. 182-183.