

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертацию  
Поповой Анны Николаевны

на тему «Методы повышения точности атомно-эмиссионного спектрального анализа для приборов с системами регистрации на основе фотоприемников с зарядовой связью»  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды

Попова Анна Николаевна в 2001 году окончила Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики (технический университет) по специальности «Лазерная техника и технологии (оптотехника)», получила квалификацию «инженер».

В 2018 году поступила в аспирантуру Санкт-Петербургского горного университета по специальности 01.04.08 Физика плазмы. Поскольку полученные в ходе выполнения работы результаты по актуальности, новизне, теоретической и практической значимости, количеству и качеству публикаций, а также по апробациям на всероссийских и международных конференциях удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к присуждению ученой степени кандидата технических наук, в 2022 году Попова А.Н. переведена на направление подготовки 12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии (направленность 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий).

За период обучения в аспирантуре Попова Анна Николаевна своевременно сдала кандидатские экзамены по обеим специальностям на оценки «отлично» и «хорошо», проявила себя квалифицированным специалистом, способным самостоятельно планировать и проводить экспериментальные исследования. Приняла активное участие в 10 международных и всероссийских научно-практических конференциях, в том числе: 48 Международной Звенигородской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу (март 2021 года, г. Звенигород); Международной научно-технической конференции «Электротехнические комплексы и системы (UralCon 2023)» (сентябрь 2023 года, г. Магнитогорск); Международном семинаре «Нанопластика и наноматериалы» (ноябрь 2023 года, г. Санкт-Петербург); IV Международной конференции «Газоразрядная плазма и синтез наноструктур» (декабрь 2023 года, г. Казань). По итогам Международной выставки-конкурса разработок с использованием оборудования фирмы RHYWE «The first on-line scientific and technical exhibition» (24-28 марта 2020 г., Геттинген, Германия) в составе

научного коллектива ею получен Диплом I степени за презентацию разработки «Graphene Nanotechnology for Plasma Energetics».

Диссертация выполнена в рамках научных исследований в 2021-2023 гг. по гранту РФФИ № 21-19-00139-01 от 22.04.2021 «Композиционные наноструктуры для плазменной энергетике и нанодиагностики».

Работа Поповой А.Н. соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации по п. 2 «Индустрия наносистем» и п. 11 «Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств» Перечня критических технологий Российской Федерации (утверждены Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации»). Ее направленность отвечает Концепции технологического развития на период до 2030 г. (Распоряжение Правительства от 20 мая 2023 г. № 1315-р) в части создания новых технологий: развития методов неразрушающего анализа процессов, протекающих с участием наночастиц и наноматериалов (в т.ч. деградация и химические процессы); разработки принципов, стандартов метрологии и метрологического обеспечения в нанометровом диапазоне измерений (в т.ч. создание средств и поверочных схем для калибровки измерительных устройств, разработки методов калибровки средств измерений в нанометровом диапазоне); диагностики конструкционных материалов (в т.ч. высококоррозионностойких, хладостойких, жаростойких сплавов).

В диссертации Поповой А.Н. рассматриваются вопросы повышения точности методов и алгоритмов обработки и интерпретации информации атомно-эмиссионного спектрального анализа (а именно: точный учет фонового излучения плазмы в рабочей камере прибора, расширение динамического диапазона регистрирующих систем на основе фотоприемников с зарядовой связью, учет влияния «третьих» элементов), неизбежно возникающие при проведении количественного анализа твердых проб многоэлементных веществ (металлов и сплавов, горных пород, руд, почв и осадков).

В процессе обучения в аспирантуре Поповой А.Н. в установленный срок были выполнены теоретические и экспериментальные исследования по теме диссертационной работы в достаточном объеме, что позволило разработать алгоритм точного учета фонового излучения плазмы в месте расположения аналитических линий, использование которого существенно уменьшает среднеквадратичное отклонение при определении низких содержаний примесей в пробах; при заводской калибровке серийно производимого прибора позволяет использовать не несколько десятков стандартных образцов, а максимум два. Также предложен способ заводской калибровки спектрометров впервые учитывающий нелинейные физические эффекты (диффузия в твердой и жидкой фазе образца, изменение работы выхода

атомов определяемого элемента из образца и температуры электродов, изменение температуры плазмы, коэффициентов диффузии атомов в плазме и др.), влияющие на регистрируемую интенсивность аналитической линии определяемого элемента и на достоверность проводимых исследований. Поповой А.Н. разработана новая информационная модель связи регистрируемых сигналов эмиссионного спектрального анализа с параметрами процессов и явлений, происходящих непосредственно при воздействии на исследуемый образец в рабочих условиях прибора и предложен новый математический алгоритм, в основе которого лежит нелинейная зависимость величины соответствующей поправки к концентрации определяемого элемента в пробе от интенсивности его спектральной линии, который базируется на современных способах обработки информации и физических моделях. Также созданы новые методики построения единых градуировочных кривых для определения элементного состава веществ с различными физико-химическими свойствами, обеспечивающие проведение элементного анализа с точностью и чувствительностью, удовлетворяющими и превосходящими современные стандарты.

Основное содержание диссертации полностью соответствует защищаемым положениям. Все этапы исследований выполнены в соответствии с утвержденным планом.

Все результаты теоретических и экспериментальных исследований были получены Поповой А.Н. лично, их достоверность подтверждается использованием математических методов статистической обработки данных, применением лицензионного программного обеспечения для проведения расчетов и данными экспериментальных исследований.


Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 8 статьях – изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, входящих в перечень ВАК и международные базы данных и системы цитирования Scopus и WoS. Получен 1 патент.

Актуальность работы состоит в том, что в настоящее время существующие алгоритмы обработки первичной информации, применяемые при определении элементного состава сложных сплавов и геологических проб методом атомного эмиссионного анализа с использованием различных типов плазменных разрядов, не являются оптимальными. В связи с этим невозможным оказывается анализ элементного состава проб с требуемой чувствительностью и точностью. Полученные автором диссертации результаты позволяют решить эту проблему с использованием новых математических и физических моделей, основанных на фундаментальных принципах физики плазмы.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что созданные и обоснованные с использованием средств фундаментальной физики информационные модели позволят резко снизить количество используемых стандартных образцов, увеличить чувствительность методов атомно-эмиссионной спектроскопии, а также сходимость результатов измерений. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработанные методики обработки спектральной информации, полученной при эмиссионном определении состава сплавов, горных пород, руд, почв и осадков, позволят улучшить аналитические возможности приборов атомного эмиссионного анализа, а также улучшить эксплуатационные свойства приборов атомного эмиссионного анализа за счет сокращения времени анализа, упрощения процедуры юстировки, снижения энергопотребления.

Диссертация «Методы повышения точности атомно-эмиссионного спектрального анализа для приборов с системами регистрации на основе фотоприемников с зарядовой связью», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Попова Анна Николаевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.8 Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.


Научный руководитель, д.ф.-м.н., профессор,  
заведующий кафедрой общей и технической физики  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

  
Мустафаев Александр Сеит-Умерович

199106, г. Санкт-Петербург,  
Васильевский остров, 21 линия, д.2  
Телефон: +7 (921) 971-0675  
e-mail: [Mustafas@spmi.ru](mailto:Mustafas@spmi.ru)



Подпись А.С.-У. Мустафаева  
Заведующий отделом  
управления делопроизводства  
и контроля документооборота

  
Е.Р. Яновицкая  
28 мая 2021