

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2022-88-1-II-15-21>

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ И РЕЗЕРВНОГО КОПИРОВАНИЯ ПО «АТОМ»

© **Захар Владимирович Семёнов^{1,2*}, Анатолий Александрович Дзюба^{1,2},
Виктор Геннадьевич Гаранин², Олег Александрович Неклюдов^{1,2}**

¹ Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Россия, 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, д. 1.

² ООО «ВМК-Оптоэлектроника», Россия, 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, д. 1, к. 100;

*e-mail: info@vmk.ru

*Статья поступила 9 октября 2021 г. Поступила после доработки 15 ноября 2021 г.
Принята к публикации 24 ноября 2021 г.*

Цель данной работы состояла в создании инструмента для формирования и отправки диагностических отчетов и резервных копий программного обеспечения спектральных комплексов на основе многоканальных анализаторов эмиссионных спектров МАЭС, управляемых с помощью ПО «Атом». Был составлен список параметров и характеристик спектрального комплекса, доступных программному обеспечению, которые могут быть полезны для диагностики неисправностей. Наиболее существенными в данном случае являются: информация об установленном ПО «Атом» и об операционной системе; настройки самого ПО «Атом» и всех его модулей; настройки регистрации спектров анализатором МАЭС; отчеты о сбоях и вспомогательные данные, которые доступны в файлах со спектральными данными. В соответствии с данным списком был разработан новый программный инструмент «AtomReport», который позволяет формировать отчеты о работе прибора и его настройках, а также делать резервные копии программного обеспечения. Диагностика на основе формируемых отчетов позволяет выявлять некорректные настройки анализа, регистрации спектров или их математической обработки, а также воспроизводить и устранять неисправности в самом программном обеспечении. В работе представлены практические примеры улучшения характеристик результатов анализа благодаря проведению удаленной диагностики оборудования. Механизм создания резервных копий ПО «Атом» повышает стабильность работы комплекса за счет возможности оперативного восстановления рабочего состояния его программной части после любых изменений со стороны пользователя комплекса и диагностики неисправностей путем развертывания резервной копии в тестовом отладочном окружении. С помощью разработанного инструмента возможно также выявление неисправностей в самом оборудовании на основании данных, сохраняемых при регистрации спектров.

Ключевые слова: диагностика спектрального комплекса; резервное копирование; автоматизация; атомно-эмиссионный спектрометр; атомно-абсорбционный спектрометр; анализатор спектров МАЭС.

A TOOL FOR DIAGNOSTICS OF SPECTRAL SYSTEMS AND MAKING BACKUPS OF THE ATOM SOFTWARE

© **Zakhar V. Semenov^{1,2*}, Anatoly A. Dzyuba^{1,2},
Viktor G. Garanin², Oleg A. Nekludov^{1,2}**

¹ Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 1, prosp. Akademika Koptuga, Novosibirsk, 630090, Russia.

² VMK-Optoelektronika, 1-100, prosp. Akademika Koptyuga, Novosibirsk, 630090, Russia; *e-mail: info@vmk.ru

Received October 9, 2021. Revised November 15, 2021. Accepted November 24, 2021.

The aim of this work was to develop a tool for generating and sending diagnostic reports and backup copies of the software for spectral systems based on multichannel analyzers of emission spectra (MAES) controlled by the Atom software. To match the goal, we compiled a list of parameters and characteristics of the spectral system available to the software that can be used for troubleshooting. The information about the characteristics of the installed Atom software and operating system, the settings of the Atom software and all its modules, the settings for recording spectra by the MAES analyzer, the failure reports and auxiliary data that are available in the files with spectral data appeared to be the most useful parameters. In accordance with this list, we developed a new software tool AtomReport for generating reports on the settings and operation of the device, as well as for making backup copies of the software. Diagnostics based on generated reports provided identification of incorrect settings for analysis, recording or mathematical

processing of spectra, reproduction and elimination of malfunctions in the software. Practical examples of improving the analytical results using the remote diagnostics of the equipment are presented. The ability of obtaining backup copies of the Atom software increases the stability of the spectral system by offering the possibility of prompt restoring of the operational status of the software after any changes made by the user of the spectral system and allows the diagnostics of malfunctions using a backup copy in a test debugging environment. Moreover, the developed tool can be used to identify malfunctions in the equipment itself using the data stored during recording of the spectra.

Keywords: diagnostics of spectral systems; backup; automation; atomic-emission spectrometer; atomic-absorption spectrometer; MAES spectrum analyzer.

Введение

В ходе эксплуатации спектральных комплексов для атомно-эмиссионного и атомно-абсорбционного анализа на основе многоканальных анализаторов эмиссионных спектров МАЭС могут возникать трудности, связанные как с настройкой программного обеспечения и обработки спектральных данных, так и с самим оборудованием. Современные спектральные комплексы являются сложными и многокомпонентными системами [1, 2], для которых нахождение и устранение неисправностей в ряде случаев могут требовать проведения достаточно глубокой диагностики [3 – 5]. Так, может потребоваться устранить проблемы с регистрацией спектров или с освещением входной щели спектрального прибора, исправить некорректные настройки алгоритмов обработки спектров, локализовать и устранить ошибки в самом программном обеспечении [6 – 8].

Кроме диагностики различных проблем работы комплекса, большой интерес также представляет возможность создания резервных копий программного обеспечения, поскольку они позволяют оперативно без установления настроек вручную переходить к рабочему и корректно настроеному состоянию после любых изменений, внесенных пользователем. Резервные копии крайне полезны и с точки зрения диагностики неисправностей: при наличии проблемы с их помощью можно оперативно определить, относится ли она к неисправности самого оборудования или к программной части комплекса (например, алгоритмам обработки сигнала). Если проблема связана лишь с программной частью, то можно сравнить программные пакеты из исправной и текущей резервных копий для выявления некорректных настроек. Такой анализ может позволить не только избежать появления некорректных настроек в будущем, но и дать рекомендации по настройке спектральных комплексов данного типа у других пользователей.

Для повышения надежности и удобства работы весь процесс формирования диагностического отчета и резервного копирования необходимо автоматизировать, чтобы специалисту требовалось лишь указать основные настройки сбора диагностической информации и место для размещения создаваемого отчета или резервной копии.

Цель работы — создание инструмента для формирования и отправки диагностических отчетов и резервных копий программного обеспечения спектральных комплексов на основе многоканальных анализаторов эмиссионных спектров МАЭС, управляемых с помощью ПО «Атом».

Формирование диагностического отчета

Для достижения поставленной цели был составлен список параметров и характеристик спектрального комплекса, доступных программному обеспечению, которые могут быть полезны для диагностики неисправностей. Так, наиболее полезными в данном случае являются: информация об установленном ПО «Атом» и операционной системе, включая необходимые программные компоненты и зависимости; настройки самого ПО «Атом» и всех его модулей; настройки регистрации спектров анализатором МАЭС; отчеты о сбоях и вспомогательные данные, которые доступны в файлах со спектральными данными (SPD файлах) [9].

В соответствии с данным списком был разработан программный инструмент «AtomReport», главное окно которого представлено на рис. 1. Сразу после запуска инструмента специалисту предлагается указать имя или комментарий к создаваемому диагностическому отчету, а также выбрать данные для его формирования. Это может быть как заранее подготовленный набор данных (стандартный, полный или минимальный пакет отчета), так и определенный вручную пользователем. В последнем случае используется дополнительная таблица с возможностью выбора отдельных пунктов (как на рис. 1), что придает инструменту максимальную гибкость.

Создаваемый отчет можно сохранить или отправить одним из следующих способов:

- 1) сохранить в указанное месторасположение на компьютере: это может быть локальный жесткий диск, флеш-накопитель или сетевой диск;

- 2) открыть отчет в почтовом клиенте, установленном в системе, с возможностью описать проблему в теле письма и отправить стандартными средствами почтового клиента;

- 3) отправить на сервер разработчикам спектрального комплекса для анализа проблемы и нахождения неисправности в настройках прибора

или обработки спектральных данных, а также для возможного решения каких-либо технических проблем с ПО «Атом».

Примеры улучшения аналитических результатов с помощью удаленной диагностики

Основные проблемы и неисправности при использовании спектральных комплексов можно разделить на три группы:

1) неоптимальные или ошибочные настройки анализа (например, некорректные значения настроек расчета интенсивности спектральных линий, нахождения сцинтилляционного фона, несоответствие градуировки спектрометра по длинам волн регистрируемым спектрам, неверный режим работы генератора и др.);

2) физические проблемы с оборудованием, как правило, связанные с необходимостью корректного и своевременного его обслуживания (например, неоптимальное освещение входной щели, различные загрязнения элементов оптической схемы или компонентов штатива, некорректное обслуживание линз и др.);

3) ошибки в программном обеспечении спектрального анализа или управления оборудованием (как спектрометром, так и источником возбуждения).

Можно продемонстрировать на примерах возможности своевременной диагностики для устранения неисправностей из каждой группы в целях улучшения характеристик результатов анализа, получаемых с использованием спектральных комплексов.

Неоптимальные или ошибочные настройки анализа являются, пожалуй, самыми распространенными причинами получения неудовлетворительных аналитических результатов. Развитие вычислительной техники и различных алгоритмов обработки данных привело к тому, что зачастую именно корректная настройка обработки регистрируемых спектральных данных является определяющей для получения достоверных и воспроизводимых результатов анализа.

Так, из одной аналитической лаборатории, занимающейся определением элементов в геологических пробах методом «просыпки-вдувания» [10 – 12], поступил запрос о помощи в выявлении причины неисправности оборудования. В запросе было указано, что в ходе проведения анализа при контроле с использованием стандартных образцов (СО) было установлено систематическое занижение результатов определения практически всех химических элементов в СО. Для удаленной диагностики с помощью разработанного инструмента были получены спектральные дан-

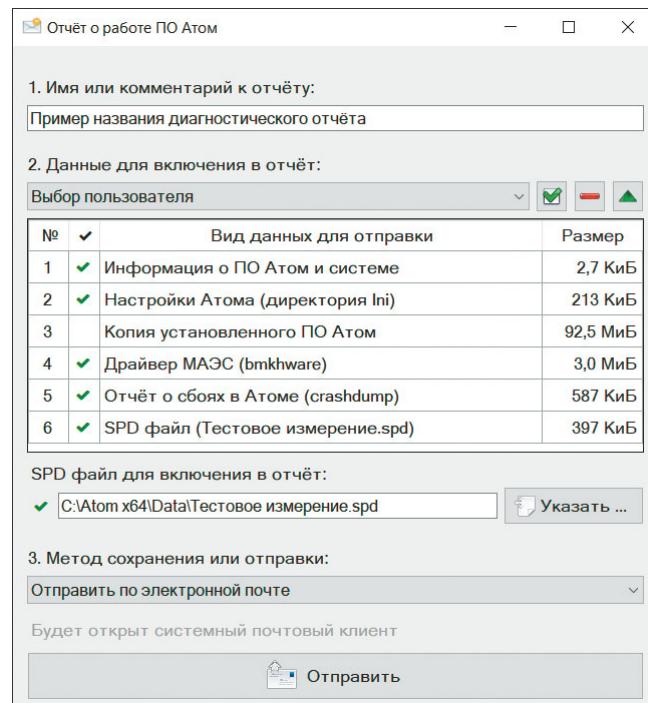


Рис. 1. Главное окно разработанного инструмента с возможностью выбора данных для составления и отправки диагностического отчета

Fig. 1. The main window of the developed tool providing the possibility of selecting data to be used for compiling and sending a diagnostic report

ные (из SPD файлов) и проведено изучение настроек их обработки.

Было выявлено, что для многих спектральных линий настройки обработки спектров и, в частности, настройки вычисления интенсивностей линий были изменены относительно первоначально установленных сервис-инженером. Изначально интенсивности спектральных линий вычислялись по интегралу сигнала, полученного с 2 – 3 (в зависимости от линии) фотодетекторов, а в диагностируемом файле алгоритм был изменен на вычисление интенсивности линий по форме пика. Само по себе такое изменение не должно послужить причиной ухудшения результатов, но стоит помнить, что, во-первых, вычисление интенсивности линий по форме пика замедляет обработку сигнала, и при отсутствии в настройках мешающих линий этот алгоритм приводит лишь к увеличению времени обработки спектров, а во-вторых, при использовании этого алгоритма нельзя сильно «переобучать» систему и добавлять много мешающих линий, поскольку это приводит к неадекватным результатам. В данном случае наблюдалась ситуация, представленная на рис. 2, где закрашенной областью выделена вычисленная ПО «Атом» форма спектральной линии Ва 233,5267 нм, полученная с учетом предположения, что рядом с ней расположены

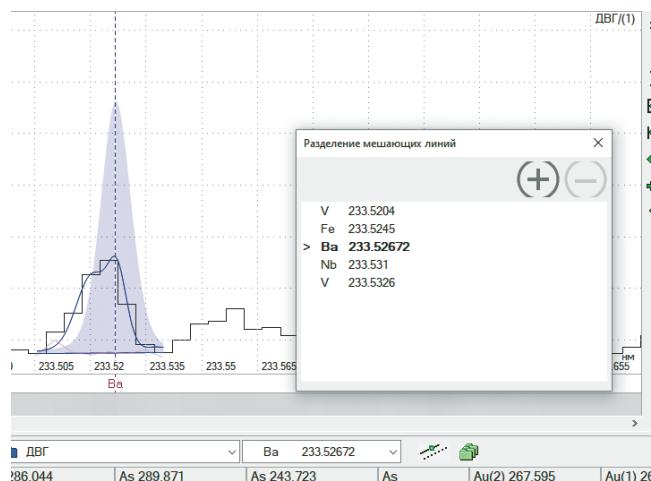


Рис. 2. Участок спектра СО ДВГ в окрестности спектральной линии Ba 233,5267 нм

Fig. 2. Spectrum region of a standard sample DVG near the spectral line Ba 233.5267 nm

спектральные линии V 233,5204, Fe 233,5245, Nb 233,531 и V 233,5326 нм. Видно, что интенсивность вычислённой линии оказалась в два раза больше, чем реальная интенсивность спектральной линии бария. Если из списка мешающих линий в инструменте «Разделения мешающих линий» удалить хотя бы линию Nb 233,531 нм, то получается более корректный расчет, представленный на рис. 3.

Произошло это из-за переобучения системы, добавления слишком большого количества мешающих линий, некоторые из которых лежат очень близко друг к другу (расстояние в пределах ширины одного фотодетектора), и аппроксимации зарегистрированного пика по суперпозиции пяти указанных выше спектральных линий. Разделить данные линии невозможно, что приводит к неправильной работе алгоритма их учета и завышению интенсивности. Более того, после детального изучения влияния мешающих элементов на данную спектральную линию при анализе большого числа СО и проб было выявлено лишь влияние спектральной линии V 233,5204 нм, а влияния остальных элементов не наблюдалось.

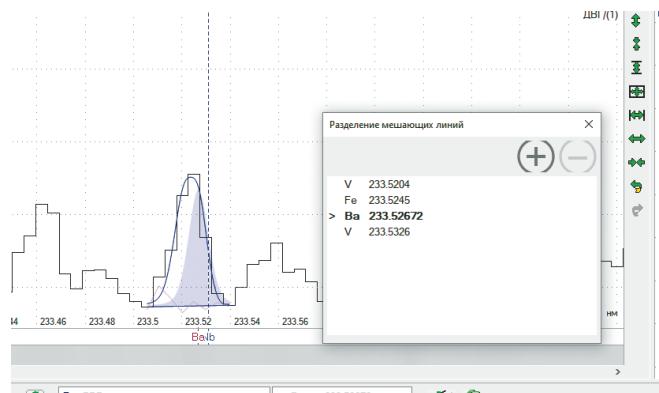


Рис. 3. Участок спектра СО ДВГ в окрестности спектральной линии Ba 233,5267 нм после удаления из настроек мешающей линии Nb 233,531 нм

Fig. 3. Spectrum region of a standard sample DVG near the spectral line Ba 233.5267 nm after removing the interfering line Nb 233.531 nm from the settings

Таким образом, использование алгоритма разделения мешающих спектральных линий по форме пика при отделении пика Nb 233,531 нм от Ba 233,5267 нм на данном спектральном приборе было невозможно, и, кроме того, данное влияние маловероятно. В случае, когда аналитики действительно сталкиваются с таким влиянием, его следует учитывать другими методами, например, при помощи инструмента «Аддитивные влияния».

По данному файлу были проведены соответствующие коррекции обработки спектров. Пример изменения результатов анализа представлен в таблице. Видно, что при низких содержаниях Ba в СО наблюдалось завышение результатов анализа. После коррекции рабочего файла анализа относительная систематическая погрешность (ОСП) значительно уменьшилась.

Физические проблемы с оборудованием, как правило, можно решить путём проведения его обслуживания, юстировки или замены расходных элементов. Например, при определении Al в пробах технического теллура методом дуговой атомно-эмиссионной спектрометрии с использованием спектрометра ДФС-458 с анализатором

Результаты контрольного опыта по определению Ba в разнотипных СО

The results of the control experiment on Ba determination in standard samples of different types

Наименование СО	Аттестовано	Содержание Ba, г/т		После коррекции	
		Измерено	ОСП, %	Измерено	ОСП, %
ДВА	400	370	-8	330	-18
ДВБ	600	600	0	590	-2
ДВГ	70	120	71	97	39
ГСО 3333-85 (СГ-3)	90	220	144	48	-47



Рис. 4. Градуировочные зависимости для определения алюминия по линии Al 308,2151 нм до (а) и после диагностики и устранения проблемы загрязнения электродов (б)

Fig. 4. Calibration curves for aluminum determination using the line Al 308.2151 nm before (a) and after the diagnostics and elimination of the electrodes contamination (b)

МАЭС, спектроаналитическим генератором «Шаровая молния ШМ-250» [13 – 15] и спектроаналитическим штативом «УШТ-4» были получены нестабильные и неудовлетворительные результаты. При построении градуировочных зависимостей для определения алюминия по линии Al 308,2151 нм статистические значения дисперсии сходимости и адекватности, а также СКО градуировки были неприемлемо высокими, что приводило к построению градиционного графика низкого качества (рис. 4, а). Была проведена диагностика проблемы путем сбора спектральных данных (SPD файлов) и настроек их обработки. При сравнении спектров одинаковых СО стало заметно, что регистрируемый спектр по какой-то причине стал существенно более насыщен линиями. По нашему предположению причиной этого могло служить загрязнение электродов либо графитового порошка, используемого для разбавления пробы. После общения с пользователем комплекса выяснилось, что ухудшение результатов во времени совпало с началом использования электродов из новой партии. После замены электродов ненадлежащего качества значения дисперсий адекватности и сходимости уменьшились почти на порядок величины, а СКО градуировки удалось снизить в 3 раза. На рис. 4, б представлена градуировочная зависимость после диагностики и устранения проблемы загрязнения электродов.

Проблемы, связанные с ошибками в программном обеспечении, следует решать путем его доработки. Поскольку ошибки из данной группы зачастую очень сложны в понимании и воспроизведении, для их диагностики в разработанное программное обеспечение добавлено сразу

несколько видов собираемых диагностических данных:

1) информация о ПО «Атом» и системе, позволяющая выявить некорректность установки ПО «Атом», отсутствие необходимых для работы компонентов системы и ряд других неисправностей, которые могут проявиться неожиданным образом;

2) файлы ПО «Атом», включая его компоненты и их настройки в различных комбинациях: резервная копия всего ПО «Атом», отдельно его настройки, а также драйвер анализатора МАЭС с его настройками. Возможность сделать копию файлов ПО «Атом» в автоматическом режиме позволяет провести диагностику неисправностей и анализа выставленных настроек, алгоритмов работы, методов возбуждения, регистрации спектров и других параметров путем развертывания проблемной резервной копии на другом компьютере (например, компьютере разработчика). В этом случае можно использовать как аналогичное оборудование, так и проверить работу на другой его версии. Такой подход позволяет с высокой вероятностью воспроизвести проблему, что существенно ускоряет ее решение;

3) отчет о сбоях: несмотря на высокую надежность и стабильность в ПО «Атом» и его компонентах могут происходить сбои, приводящие, в том числе, к аварийному завершению работы программы. В этом случае в автоматическом режиме формируется снимок частичного состояния программы (так называемый «crashdump»). Добавление в отчет такого снимка с информацией о сбое и отправка его разработчикам спектрального комплекса могут существенно помочь им в обнаружении проблемы и ее устранении.

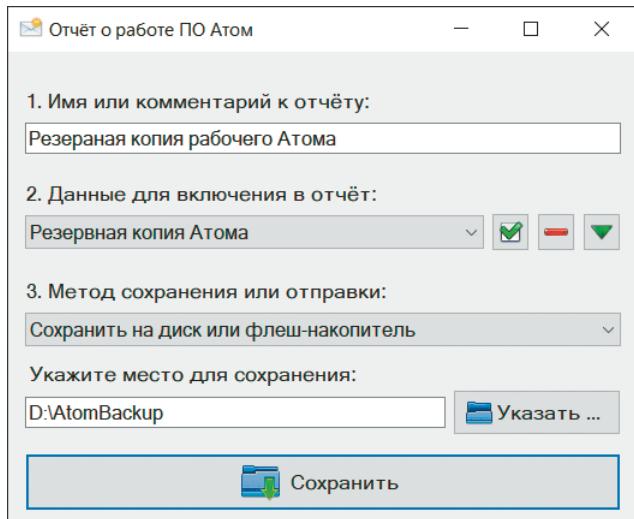


Рис. 5. Окно инструмента для создания резервной копии программного пакета «Атом»

Fig. 5. The window of the developed tool for creating a backup of the “Atom” software package

Создание резервных копий программного обеспечения спектрального комплекса

Отдельно стоит отметить возможность создания резервных копий всего программного обеспечения спектрального комплекса, поскольку она позволяет повысить стабильность работы комплекса за счет оперативного восстановления рабочего состояния его программной части после любых изменений, сделанных пользователем, а также существенно сузить область поиска неисправности путем отката к рабочей резервной копии: если на резервной копии проблема не воспроизводится, то, скорее всего, с самим оборудованием все в порядке.

На рис. 5 представлено окно разработанного инструмента в режиме создания резервной копии ПО «Атом». При создании такой копии инструмент не включает в нее временные файлы, копии установщика, а также спектральные данные пользователя из директории «Data», которые могут иметь огромный размер. Собранный копии для уменьшения размера запаковывается в архив открытого формата «ZIP». После такого сжатия размер резервной копии ПО «Атом» уменьшается всего до 30 МиБ.

Заключение

Таким образом, разработан инструмент «AtomReport» для диагностики спектральных комплексов на основе многоканальных анализаторов эмиссионных спектров МАЭС, управляемых с помощью программного обеспечения «Атом». Инструмент позволяет формировать отчеты о работе прибора и его настройках, а также

делать резервные копии программного обеспечения. Диагностика на основе формируемых отчетов позволяет выявить некорректные настройки анализа, регистрации спектров или их математической обработки, воспроизвести и устранять неисправности в самом программном обеспечении. Представлены практические примеры улучшения характеристик получаемых результатов анализа благодаря проведению удаленной диагностики оборудования. Возможность создания резервных копий ПО «Атом» повышает стабильность работы спектрального комплекса за счет возможности оперативного восстановления рабочего состояния его программной части после любых изменений, внесенных пользователем, и диагностики неисправностей путем развертывания резервной копии в тестовом отладочном окружении. С помощью разработанного инструмента можно также выявлять неисправности оборудования путем анализа сохраненных спектральных данных.

Можно ожидать, что разработанный инструмент будет полезен при диагностике и решении проблем различной сложности, возникающих при использовании атомно-эмиссионных и атомно-абсорбционных спектральных комплексов компании «ВМК-Оптоэлектроника».

ЛИТЕРАТУРА

- Пелипасов О. В., Лохтин Р. А., Лабусов В. А., Пелевина Н. Г. Аналитические возможности спектрометра «Гранд» при анализе растворов с использованием индуктивно-связанной плазмы / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 1. Ч. II. С. 82 – 85.
DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-82-85
- Labusov V. A., Boldova S. S., Selunin D. O., et al. High-resolution continuum-source electrothermal atomic absorption spectrometer for simultaneous multi-element determination in the spectral range of 190 – 780 nm / J. Anal. At. Spectrom. 2019. Vol. 34. N 5. P. 1005 – 1010. DOI: 10.1039/C8JA00432C
- Dowdeswell B., Sinha R., MacDonell S. G. Finding faults: A scoping study of fault diagnostics for Industrial Cyber-Physical Systems / J. Syst. Software. 2020. Vol. 168. P. 1 – 16.
DOI: 10.1016/j.jss.2020.110638
- Бигус Г. А., Даниев, Ю. Ф., Быстрова Н. А., Галкин Д. И. Диагностика технических устройств. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. — 616 с.
- Sartoros C., Salin, E. D. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer warning diagnosis procedure using blank solution data / Spectrochim. Acta. Part B. 1998. Vol. 53. N 5. P. 741 – 750. DOI: 10.1016/S0584-8547(98)00102-5
- Perscheid M., Siegmund B., Taeumel M., Hirschfeld R. Studying the advancement in debugging practice of professional software developers / Software Qual. J. 2017. Vol. 25. N 1. P. 83 – 110. DOI: 10.1007/s11219-015-9294-2
- Cui W., Ge X., Kasikci B., et al. REPT: Reverse debugging of failures in deployed software / 13th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 18). 2018. P. 17 – 32.
- Li Q., Pham H. NHPP software reliability model considering the uncertainty of operating environments with imperfect debugging and testing coverage / Appl. Math. Modell. 2017. Vol. 51. P. 68 – 85. DOI: 10.1016/j.apm.2017.06.034

9. Семенов З. В., Неклюдов О. А., Гаранин В. Г. Новые модули «Экспорт спектров» и «Информация из спектра» программы «Атом» / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 1. Ч. II. С. 138 – 140.
DOI: 10.26896/1028-6861-2018-83-1-II-138-140
10. Рusanov A. K. Основы количественного спектрального анализа руд и минералов. — М.: Недра, 1978. — 400 с.
11. Шабанова Е. В., Бусько А. Е., Васильева И. Е. Дуговой сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб при использовании МАЭС с высоким времененным разрешением / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2012. Т. 78. № 1. С. 24 – 33.
12. Шевелев Г. А., Василенко Л. И., Каменская Э. Н. и др. Благородные и редкие металлы в некоторых месторождениях угля Казахстана / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85. № 1. Ч. II. С. 38 – 45.
DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-38-44
13. Мандрик Е. М. Семейство электрических источников возбуждения атомно-эмиссионных спектров «Шаровая молния» / Аналитика и контроль. 2005. Т. 9. № 2. С. 129 – 134.
14. Ращенко В. В. Спектроаналитические генераторы «Шаровая молния». Модернизация и расширение ассортимента приборов / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 1. Ч. II. С. 127 – 128.
DOI: 10.26896/1028-6861-2018-83-1-II-127-129
15. Сарычева Н. А. Метрологическая оценка результатов спектрального анализа углеродистой стали, выполненного на вакуумных атомно-эмиссионных спектрометрах Polivac E980 и E983 с анализатором МАЭС и генератором «Шаровая молния 250» / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81. № 1. Ч. II. С. 75 – 79.
4. Bigus G. A., Daniev Yu. F., Bystrova N. A., Galkin D. I. Diagnostics of technical devices. — Moscow: Izd. MCTU im. N. E. Baumana, 2014. — 616 p. [in Russian].
5. Sartoros C., Salin, E. D. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer warning diagnosis procedure using blank solution data / Spectrochim. Acta. Part B. 1998. Vol. 53. N 5. P. 741 – 750. DOI: 10.1016/S0584-8547(98)00102-5
6. Perscheid M., Siegmund B., Taeumel M., Hirschfeld R. Studying the advancement in debugging practice of professional software developers / Software Qual. J. 2017. Vol. 25. N 1. P. 83 – 110. DOI: 10.1007/s11219-015-9294-2
7. Cui W., Ge X., Kasikci B., et al. REPT: Reverse debugging of failures in deployed software / 13th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 18). 2018. P. 17 – 32.
8. Li Q., Pham H. NHPP software reliability model considering the uncertainty of operating environments with imperfect debugging and testing coverage / Appl. Math. Modell. 2017. Vol. 51. P. 68 – 85. DOI: 10.1016/j.apm.2017.06.034
9. Semenov Z. V., Neklyudov O. A., Garanin V. G. New Modules “Spectrum Export” and “Information from Spectrum” Developed for “Atom” Software / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2017. Vol. 83. N 1 Part II. P. 138 – 140 [in Russian].
DOI: 10.26896/1028-6861-2018-83-1-II-138-140
10. Rusanov A. K. Basics of quantitative spectral analysis of ores and minerals. — Moscow: Nedra, 1978. — 400 p. [in Russian].
11. Shabanova E. V., Bus'ko A. E., Vasil'eva I. E. Scintillation Arc Atomic Emission Analysis of Powder Samples using MAES with High Temporal Resolution / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2012 Vol. 78. N 1. P. 24 – 33 [in Russian].
12. Shevelev G. A., Vasilenko L. I., Kamenskaya E. N., et al. Noble and rare metals in some coal deposits of Kazakhstan / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2019. Vol. 85. N 1. Part II. P. 38 – 45 [in Russian]. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-38-44
13. Mandrik E. M. Atomic-emission Spectra Electrical Source of “Fireball” Family / Analit. Kontrol'. 2005. Vol. 9. N 2. P. 129 – 134 [in Russian].
14. Rashchenko V. V. Spectroanalytical Generators “Sharovaya Molniya”: Upgrading and Diversification / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2017. Vol. 83. N 1. Part II. P. 127 – 128 [in Russian].
DOI: 10.26896/1028-6861-2018-83-1-II-127-129
15. Sarycheva N. A. Metrological Evaluation of the Results of Spectral Analysis of Carbon Steel Performed on Polivac E980 and E983 Atomic Emission Vacuum Spectrometers with a MAES Analyzer and a “Sharovaya Molniya 250” Generators / Zavod. Lab. Diagn. Mater. 2015. Vol. 81. N 1. P. 75 – 79 [in Russian].

REFERENCES

1. Pelipasov O. V., Labusov V. A., Loktin R. A., Pelevina N. G. Analytical Capabilities of a Grand Spectrometer in Analysis of Solutions Using Inductively Coupled Plasma / Inorg. Mater. 2020. Vol. 56. N 14. P. 1446 – 1449.
DOI: 10.1134/S0020168520140113
2. Labusov V. A., Boldova S. S., Selunin D. O., et al. High-resolution continuum-source electrothermal atomic absorption spectrometer for simultaneous multi-element determination in the spectral range of 190 – 780 nm / J. Anal. At. Spectrom. 2019. Vol. 34. N 5. P. 1005 – 1010. DOI: 10.1039/C8JA00432C
3. Dowdeswell B., Sinha R., MacDonell S. G. Finding faults: A scoping study of fault diagnostics for Industrial Cyber-Physical Systems / J. Syst. Software. 2020. Vol. 168. P. 1 – 16.
DOI: 10.1016/j.jss.2020.110638