

На правах рукописи



ПИМШИН Дмитрий Александрович

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И
РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
АТОМНО-ЭМИССИОННОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Специальность 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий (технические науки)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск 2008

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
КУЗНЕЦОВ Андрей Альбертович.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Черемисин Александр Алексеевич

кандидат технических наук, доцент
Михайлов Александр Владимирович

Ведущее предприятие: ОАО «Научно-исследовательский институт
технологии, контроля и диагностики
железнодорожного транспорта» (г. Омск)

Защита диссертации состоится 22 января 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.05 при Сибирском федеральном университете по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Ак. Киренского, 26, ауд. УЛК 115.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Ак. Киренского, 26, ауд. Г 2-74.

Автореферат разослан 16 декабря 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, профессор



Е. А. Вейсов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одной из основных тенденций развития машиностроительной отрасли и железнодорожного транспорта является повышение качества и безопасности. Для этого необходимо исключение появления некачественных деталей. Поэтому важно иметь возможность контроля состояния узлов и агрегатов при производстве, ремонте, эксплуатации. Актуальность вопросов контроля подчеркивается в таких документах, как федеральная целевая программа «Модернизация транспортной системы России на 2002 – 2010 годы» (утвержденная постановлением правительства РФ № 848 от 05.12.2001), распоряжение президента ОАО «РЖД» № 181 от 13.01.2006 «Дополнительные меры по повышению уровня обеспечения безопасности движения в локомотивном хозяйстве», а также Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 г. В этих документах говорится о необходимости разработки и внедрения инновационных технологий в машиностроительном комплексе и смежных отраслях, модернизации и обновления железнодорожного транспорта. Одним из направлений обеспечения качества продукции является развитие функциональных систем контроля. При этом важнейшими остаются вопросы диагностики химического состава и физико-механических свойств металлов.

Народнохозяйственная (техническая) проблема. В современных системах количественного атомно-эмиссионного спектрального анализа (АЭСА) используются традиционные (регрессионные) методики обработки данных. Что требует постоянного использования большого числа стандартных образцов и регулярной корректировки градуировочных графиков.

Научная проблема. На результаты АЭСА большое влияние оказывают условия проведения эксперимента (анализа) и несоответствия структурного состояния стандартного образца (СО) и пробы.

Цель работы – расширение функционального назначения автоматизированных систем спектрального анализа для повышения точности определения химического состава и возможности контроля физико-механических свойств металлов и сплавов, используемых на транспорте и в промышленности.

Для достижения поставленной цели **решены задачи:**

разработаны критерии разделения количественной и структурной составляющих метода АЭСА, основанные на изменениях интенсивностей излучений спектральных линий пробы относительно эталона;

исследована возможность применения многопараметрических зависимостей для контроля физико-механических свойств на основе измеренных интенсивностей;

разработана методика определения химического состава контролируемых объектов путем использования эталонов с расчетными параметрами (виртуальные эталоны);

разработана методика и алгоритм повышения точности и достоверности получаемых результатов в системах аналитического контроля на основе виртуальных эталонов;

предложены пути развития методического и программного обеспечения автоматизированных систем для реализации комплексного контроля материалов и сплавов.

Объект исследования – автоматизированные системы аналитического контроля как составная часть технического контроля химического состава и физико-механических свойств металлов и сплавов.

Методы исследования. Исследования, выполненные в работе, базируются на следующих методах:

моделирование нелинейных термодинамических систем, состояние которых определяется процессами поступления вещества с поверхности материалов в облако газового разряда;

численные методы решения линейных и нелинейных алгебраических уравнений;

создание многопараметровых моделей взаимосвязи отображения интенсивностей и определяемых параметров.

Обработка теоретико-экспериментальных данных выполнялась на основе применения математического аппарата прикладной статистики с использованием теории электрических, магнитных и оптических измерений, вычислительной математики, молекулярной физики и термодинамики.

Научная новизна.

1. Разработаны методика создания равновесных изолированных систем «эталон – проба» и методика автоматизированного поиска спектральных линий, повышающие точность определения химического состава материалов средствами атомно-эмиссионного спектрального анализа за счет уменьшения погрешности, обусловленной изменением внешних условий.

2. Разработана методика оценки физико-механических свойств металлов и сплавов по изменению интенсивностей излучений спектральных линий пробы относительно эталона, что расширяет традиционное использование атомно-эмиссионного спектрального анализа.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Способ создания равновесных и неравновесных изолированных систем «эталон – проба» с использованием одного стандартного образца, позволяющий упростить создание систем входного контроля.

2. Алгоритм приведения условий эксперимента исследуемой пробы к условиям стандартного образца с использованием соотношений для изолированных систем «эталон – проба».

3. Алгоритм оценки физико-механических свойств по изменению интенсивностей излучений спектральных линий пробы относительно эталона.

4. Методика отдельного контроля состава и свойств материала.

5. Методика и алгоритм поиска спектральных линий в автоматизированных системах контроля и диагностики.

Таким образом, **теоретическая значимость** результатов работы состоит в том, что обоснована возможность расширения функционального назначения приборов АЭСА для контроля физико-механических свойств, показаны пути повышения точности определения количественного состава за счет использования изолированных систем «эталон – проба».

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты позволяют на базе существующего оборудования промышленных спектральных лабораторий разработать измерительно-вычислительные устройства для проведения комплексного анализа на основе унифицированных алгоритмов и программ обработки результатов измерений.

Достоверность научных положений и выводов обоснована теоретически и подтверждена положительными результатами экспериментальных исследований в Дорожном центре топливно-энергетических ресурсов ЗСЖД, Локомотивном ремонтном депо Белово, а так же на омских предприятиях.

Апробация и практическая ценность работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих международных научно-практических конференциях: «Актуальные проблемы развития транспорта России: стратегические, региональные, технические» (Ростов, 2004); «Применение

анализаторов МАЭС» (Новосибирск, 2005); «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики» (Новочеркасск, 2006).

Материалы диссертации используются на ряде омских промышленных предприятий, в подтверждение чего имеются акты внедрения. Результаты работы прошли испытания в лабораториях железнодорожных предприятий, что подтверждается актами испытаний. Программное обеспечение зарегистрировано в отраслевом фонде алгоритмов и программ (ОФАП). Получен патент на способ измерения параметров спектральных линий.

Личный вклад автора. Уточнены амплитудные и фазовые параметры модели низкотемпературной плазмы, имеющие корреляционную связь с физико-механическими свойствами металлов и сплавов. Разработаны модификации методик контрольного эталона и внутреннего стандарта на основе модели низкотемпературной плазмы для фотоэлектрических систем с использованием приборов с зарядовой связью. Для тех же систем разработана модификация методики оценки физико-механических свойств металлов и сплавов. Разработано программное обеспечение, реализующее данные методики и алгоритм поиска спектральных линий для автоматизированных систем спектрального анализа.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, из них одна в изданиях, определенных ВАК. Получен патент на изобретение. Центром научно-технической информации выпущено два информационных листка (2005 г.: № 5 «Автоматизированная установка для фотоэлектрического спектрального анализа с блоком регистрации на основе линейных приборов с зарядовой связью (ПЗС)», № 6 «Автоматизированный измерительный комплекс для обработки данных спектрального анализа с фотографической регистрацией»).

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников (133 наименования), шести приложений. Общий объем (с приложениями) составляет 158 страниц печатного текста и содержит 38 рисунков и 27 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, рассмотрены вопросы ее научной новизны и указана практическая ценность работы.

В первой главе диссертации рассмотрены основные положения метода

определения химического состава средствами атомно-эмиссионной спектроскопии, его значение. АЭСА используется для контроля литейного производства, в т.ч. при изготовлении деталей и узлов подвижного состава, рельсов и стрелочных переводов. Например, на таких предприятиях как Челябинский ЭВРЗ, Уралвагонзавод, Новосибирский стрелочный завод и ряд других. Важным направлением использования АЭСА на железнодорожном транспорте является контроль продуктов износа в маслах и смазках дизелей, буксовых узлов и силовых трансформаторов, а также контроль загрязнений окружающей среды.

Свои труды по проблемам спектрального анализа публиковали представители различных направлений: Г. И. Альперович, Л. В. Арнаут, В. В. Бродский, А. И. Володин, Л. А. Грибов, А. Г. Жиглинский, А. Н. Зайдель, Х. И. Зильберштейн, В. Н. Иоффе, Ю. Х. Йорданов, Л. П. Козлов, Е. С. Куделя, И. И. Кусельман, В. И. Малышев, Н. А. Морозов, В. Н. Музгин, В. В. Налимов, В. В. Недлер, С. М. Овчаренко, В. Р. Огнев, В. К. Прокофьев, А. А. Пупышев, А. К. Русанов, В. Н. Салмов, Е. И. Сквородников, И. Р. Шелпакова, И. Г. Юделевич и др.

В первой главе рассмотрены способы регистрации спектров (фотоэлектрический и фотографический). Приведены описания и сравнительные характеристики способов. Так фотографический способ менее подвержен влиянию внешних факторов. В то же время фотоэлектрический способ более чувствителен, более прост для автоматизации процесса проведения анализов, что значительно повышает его быстродействие.

Большая часть первой главы посвящена исследованию влияния физико-механических свойств образцов на результаты АЭСА. Изучению влияния структуры посвящен ряд исследований. Например, труды Ю. М. Буравлёва, С. В. Бельнского, Н. Ф. Болховитинова, М. Е. Конторовича, С.Л. Мандельштама и др. В этих работах подробно рассмотрены теоретические положения, дано объяснение сложных физических явлений, рассмотрены способы уменьшения влияния структуры на результаты АЭСА.

В заключение первой главы приводится описание современных приборов контроля химического состава на основе АЭСА, применяемых на предприятиях железнодорожного транспорта и в промышленности. Описываются сравнительные характеристики различных комплексов. Рассмотрены приборы с зарядовой связью, поскольку они позволяют регистрировать полный спектр и по-

лучать дополнительную информацию из спектра. Однако программное обеспечение в современных фотоэлектрических системах основано на традиционных (регрессионных) методиках с постоянным использованием контрольных эталонов и государственных стандартных образцов. Это не позволяет создать качественно новые системы контроля.

Во второй главе диссертации рассматривается модель низкотемпературной плазмы (НТП). Целью создания этой модели явилось совершенствование методов обработки измерительной информации для повышения точности и достоверности результата определения химического состава.

Основой модели являются процессы, происходящие в НТП. В первую очередь это вероятность излучения фотонов атомами и ионами. Суть методики заключается в создании идеальной системы, в которой не происходит теплообмена с окружающей средой, работа внешних сил равна нулю, и суммарный импульс не изменяется. Это равновесная изолированная система (РИС). По аналогии с законом сохранения энергии и законом сохранения масс для создания РИС «эталон – проба» требуется выполнение следующих условий:

$$\begin{cases} L_{\text{эx}} + L_{\text{xэ}} = L_{\Sigma} = 1; & (1) \\ P_{\text{э}} + P_{\text{спэ}} = P_{\text{x}} + P_{\text{спx}} = P_{\Sigma} = \text{const}; & (2) \\ U_{\text{эx}} = \frac{1}{U_{\text{xэ}}}, & (3) \end{cases}$$

где $L_{\text{xэ}}$ ($L_{\text{эx}}$) – энергетический параметр элемента пробы относительно СО (СО относительно пробы); $U_{\text{эx}}$ ($U_{\text{xэ}}$) – коэффициент усиления спектрального излучения элемента СО относительно пробы (пробы относительно СО); $P_{\text{э}}$ (P_{x}), – отображение интенсивностей аналитической линии в СО (пробе); $P_{\text{спэ}}$ ($P_{\text{спx}}$) – отображение интенсивностей линии сравнения в СО (пробе).

Основные уравнения рассматриваемой модели имеют вид:

коэффициент усиления спектрального излучения –

$$U_{\text{xэ}} = \frac{\text{tg}\left(\frac{\pi P_{\text{x}}}{2 P_{\text{o}}}\right) \text{tg}\left(\frac{\pi P_{\Sigma\text{x}} + \Delta P_{\text{э}}}{2 P_{\text{o}}}\right)}{\text{tg}\left(\frac{\pi P_{\text{xсп}}}{2 P_{\text{o}}}\right) \text{tg}\left(\frac{\pi P_{\Sigma\text{x}} - \Delta P_{\text{э}}}{2 P_{\text{o}}}\right)}; \quad (4)$$

параметр, характеризующий энергетическое излучение элемента –

$$L_{xэ} = \frac{\pi}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{P_x}{P_{xcp}} \frac{P_{\Sigma x} - \Delta P_э}{P_{\Sigma x} + \Delta P_э} \right); \quad (5)$$

излучательная способность элемента СО –

$$Q_э = \frac{C_э}{e^{(AX)_э} C_э^{b_э}}, \quad (6)$$

где $C_э$ – концентрация элемента в эталоне;

коэффициент самопоглощения элемента исследуемой пробы (СО) –

$$b_i = 1 - \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg}((AX)_i C_i). \quad (7)$$

процентное содержание элемента в пробе –

$$C_x = Q_э U_{xэ} e^{(AX)_x C_x^{b_x}}; \quad (8)$$

Для выполнения условий (1) – (3) производят расчет новых значений отображений интенсивностей пробы. Полученные отображения интенсивностей используют для определения концентрации в пробе.

На основе предложенной модели рассмотрены две методики определения концентрации элементов в пробе: с контрольным эталоном и с расчетным (виртуальным) эталоном. Приведены экспериментальные подтверждения и алгоритмы программ для данных методов.

В третье главе на основании модели, описанной во второй главе, предложена методика оценки физико-механических свойств с помощью АЭСА.

В реальных системах при различных условиях эксперимента L_Σ в уравнении (1) отличается от единицы. Если $L_\Sigma < 1$, то преобладают процессы поглощения, в такой системе происходит преобразование части электрической энергии в тепловую. Для выполнения (1) к системе следует добавить энергию в виде интенсивности излучения спектральных линий. Если же $L_\Sigma > 1$, то излучение преобладает над поглощением и надо уменьшить значение параметра $L_{xэ}$. Это приведет систему «эталон – проба» к равновесному состоянию:

$$L_\Sigma = L_{xэ} + L_{эx} \pm \Delta L. \quad (9)$$

Как показали экспериментальные исследования на основании L_Σ , ΔL , $P_{срэ}$, $P_{срх}$ по алгоритму, представленному на рис. 1, можно рассчитать фазовый и амплитудный параметры, имеющие корреляционную связь со структурными

параметрами $M_c(Z)$ и физико-механическими свойствами $M_m(Y)$ сплавов. Фазовый и амплитудный параметры рассчитываются для каждого элемента примеси.

Для определения физико-механических свойств по фазовому и амплитудному параметрам используются градуировочные графики. По комплексу эталонов с заданными свойствами и одинаковым химическим составом определяются точки. Методом наименьших квадратов строится график, по которому производится оценка исследуемых свойств и параметров проб сплавов.

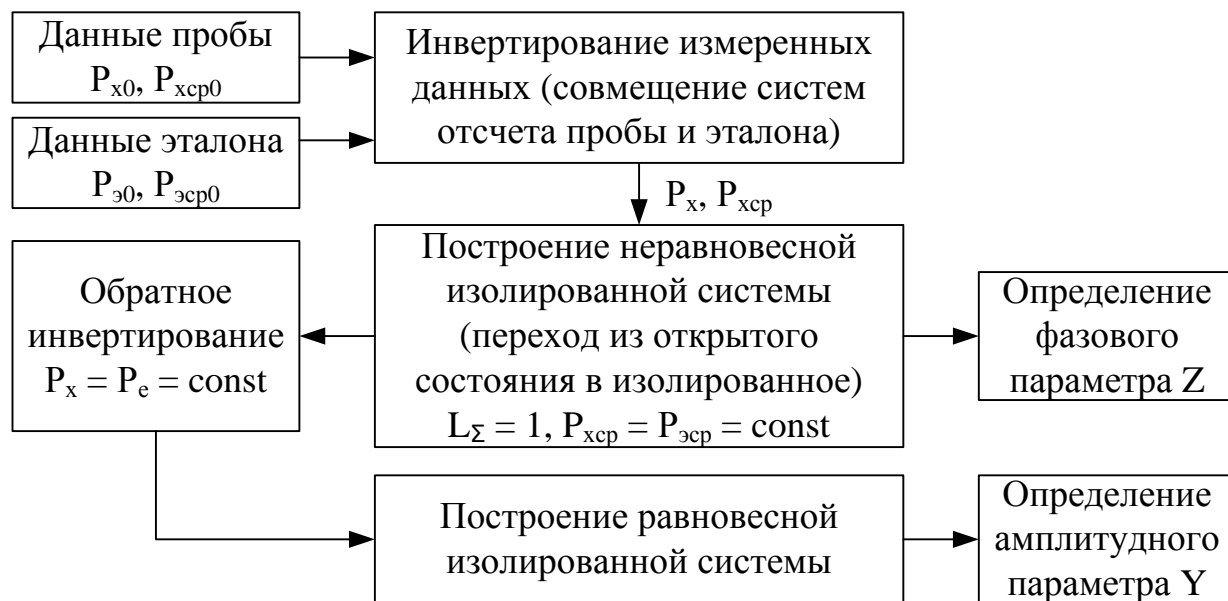


Рис. 1. Алгоритм вычисления обобщенных энергетических параметров

В третьей главе приводится экспериментальная проверка методики на примере определения твердости материала.

Четвертая глава посвящена реализации системы комплексного анализа металлов с помощью АЭСА. Комплекс базируется на типовых промышленных установках (МФС-8, ИСП-30). Приборы разработаны на основе оптических полихроматоров, разлагающих излучение от испытуемого образца в линейчатый спектр. В качестве датчиков применяются линейные приборы с зарядовой связью, позволяющие регистрировать спектр материала во всем диапазоне с длинами волн от 180 до 400 нм. Диодные линейки подключаются к унифицированному блоку измерений (УБИ) на основе микроконтроллера. УБИ в свою очередь соединяется с компьютером. Структурная схема представлена на рис. 2.

Одной из задач при проведении спектрального анализа является поиск спектральных линий, поскольку линии могут «смещаться» под действием

внешних факторов. Для этого предложен алгоритм (рис. 3). В реальном спектре выделяются несколько характерных линий около искомой спектральной линии. С помощью гаусиана строится модель этого участка спектра (пунктирная линия на рис. 3, а, $\Psi(t)$).

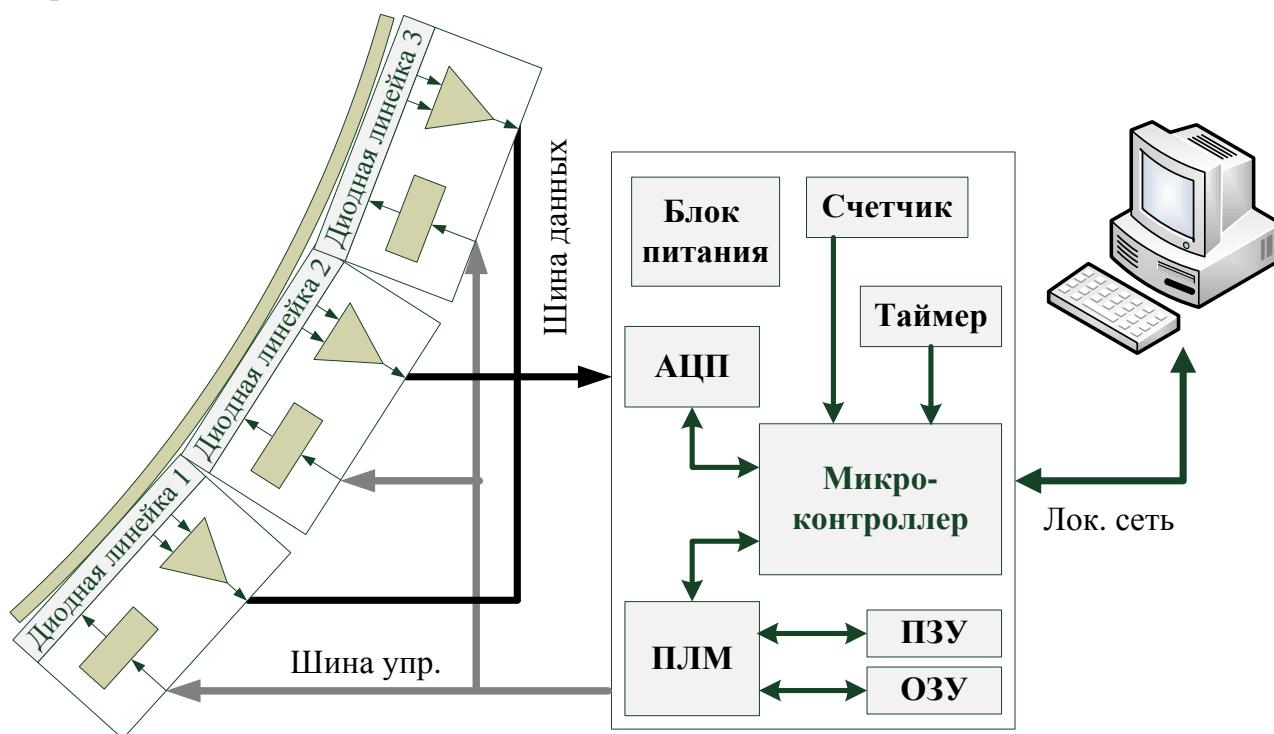


Рис. 2. Структурная схема унифицированного блока измерения

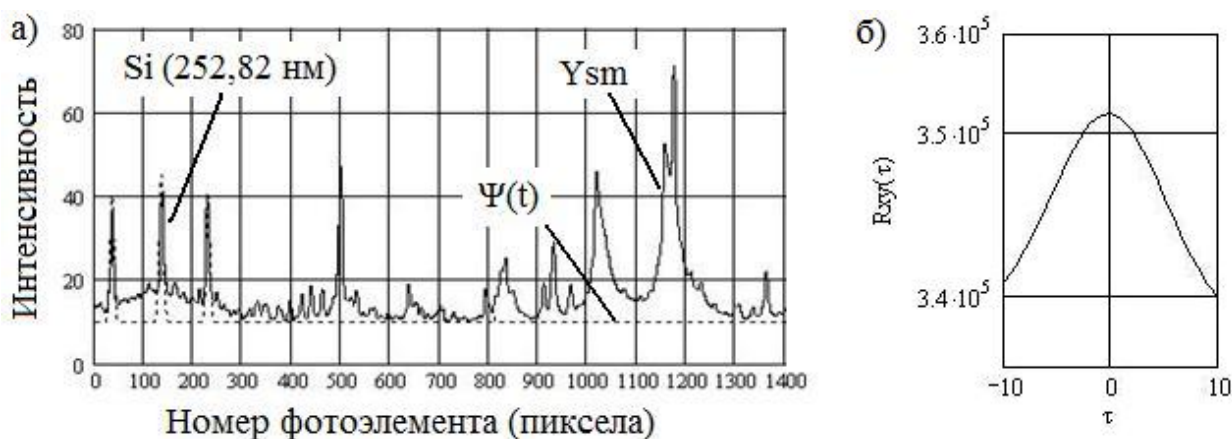


Рис. 3, а – измеренный спектр и модель линии Si (252,82 нм); б – взаимно корреляционная функция

При измерениях данная модель накладывается на измеренный спектр (сплошная линия на рис. 3, а, Y_{sm}). Для распознавания нужных аналитических линий рассчитывается взаимно корреляционная функция (рис. 3, б):

$$R_{xy}(\tau) = \sum_t (\Psi(t, \tau) Y_{sm_t}), \quad (10)$$

где Y_{sm} – сглаженный массив дискретных значений спектра; $\Psi(t, \tau)$ – модель участка спектра; τ – параметр сдвига.

Наличие максимума взаимно корреляционной функции вблизи нуля указывает на правильность поиска и присутствие нужной линии в спектре.

На описанный метод был получен патент [12] и зарегистрирована программа в отраслевом фонде алгоритмов и программ [7].

Далее в четвертой главе приводится описание программного обеспечения для системы комплексного анализа, реализованной с использованием среды разработки Borland Delphi. К основным функциям программного комплекса можно отнести следующее: управление блоком измерения и получение информации от него; управление процессом обжига и экспозиции пробы (стандартного образца); выполнение калибровки; расчет концентраций и оценивание физико-механических свойств; формирование отчетов (заключений); хранение журнала анализов; определение марки пробы. Для примера работы программы на рис. 4 приведено окно выполнения калибровки при определении твердости сплавов.

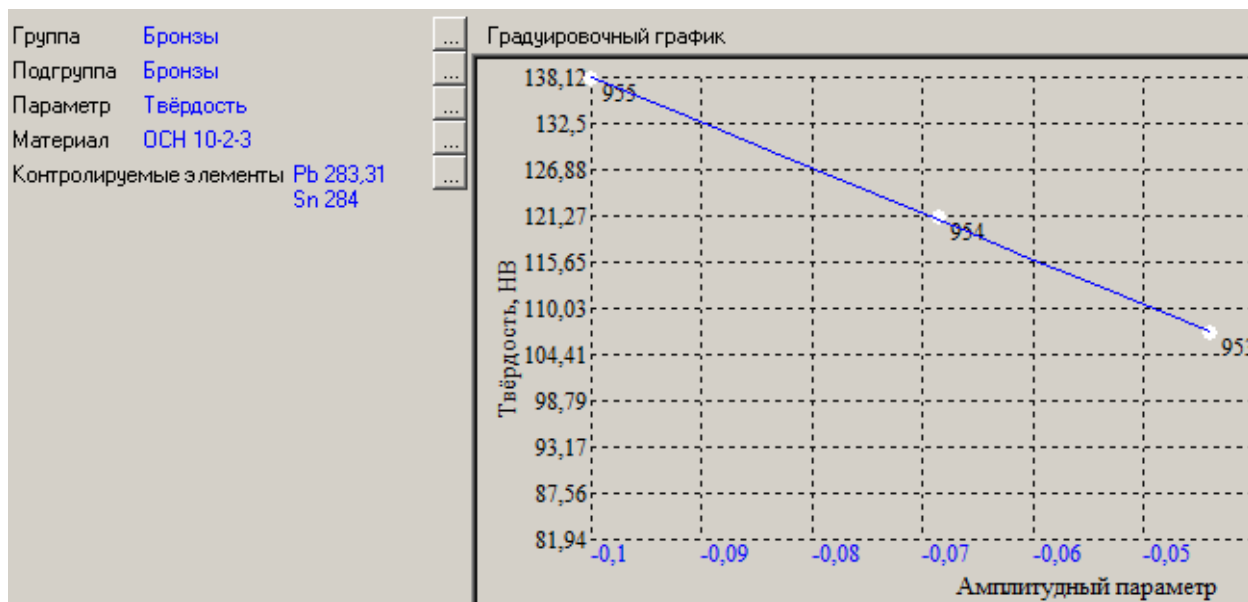


Рис. 4. Градуировочный график для твердости материала ОСН 10-2-3

Алгоритм, реализующий предлагаемую методику оценки физико-механических свойств, представлен на рис. 5. Результат работы программы –

комплексная информация о пробе, включающая в себя данные о количественном содержании элементов примеси, твердости, прочности на разрыв и др.

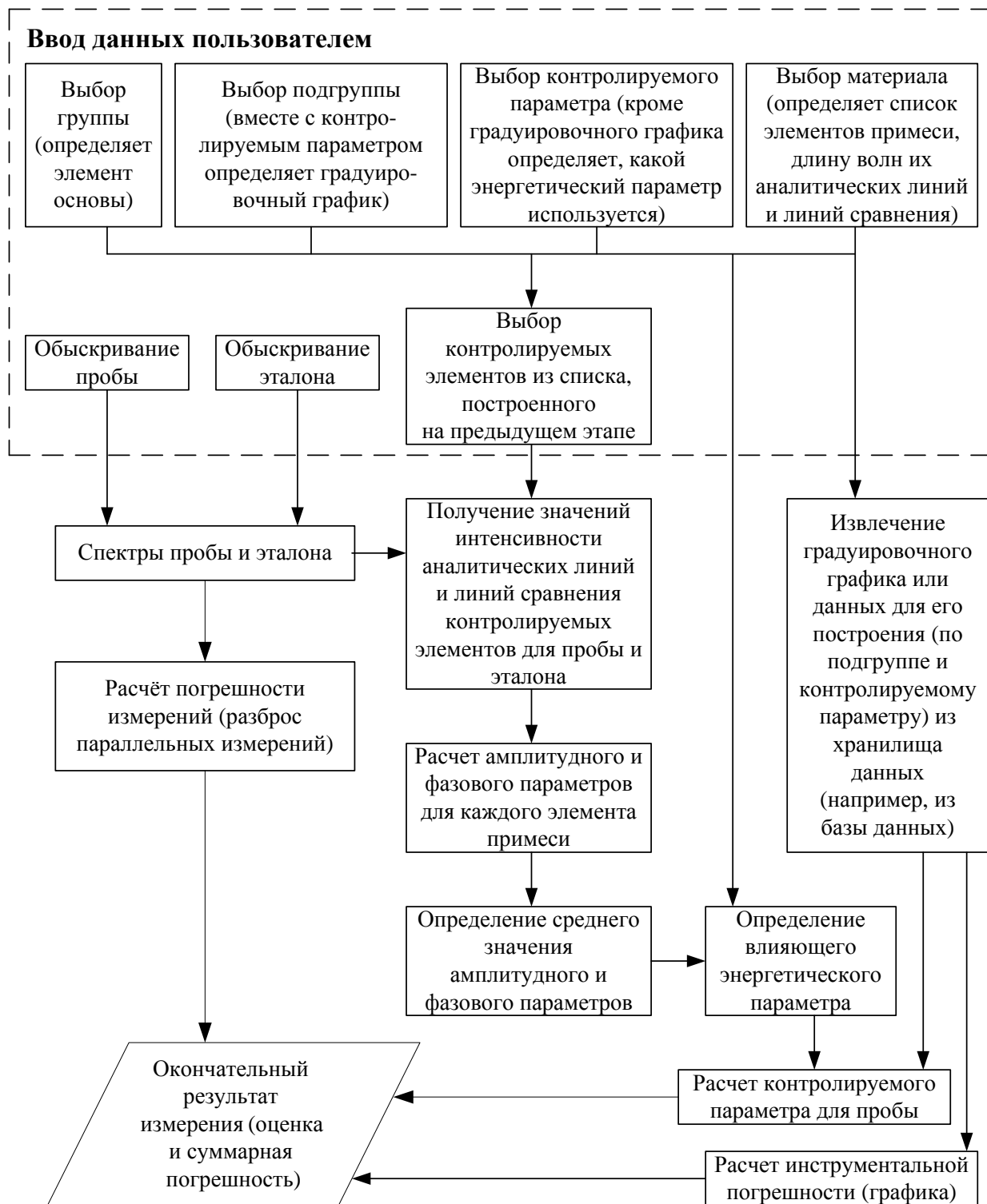


Рис. 5. Алгоритм программной реализации предлагаемого метода оценки структурных параметров и физико-механических свойств

На базе разработанных программ и методов появляется возможность создания автоматизированных систем входного контроля. Для выполнения качественного анализа применяется алгоритм поиска спектральных линий, описанный выше, для количественного анализа – разработанные методики определения концентраций согласно модели низкотемпературной плазмы. После определения количественного состава выполняется поиск в базе данных наиболее близкой марки материала.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе рассмотрено состояние современного информационного и методического обеспечения железнодорожных и промышленных лабораторий АЭСА. Установлено, что в настоящее время развитие аппаратного обеспечения намного опережает методическое. До сих пор преобладают эмпирические методы расчета концентраций химического состава.

В работе предлагается многопараметровая методика (и её реализация) обработки спектральной информации, позволяющая выделить структурную составляющую и использовать ее для оценки физико-механических свойств и структурных параметров, что может существенно расширить использование АЭСА. Кроме этого методика позволяет повысить точность определения химического состава проб при снижении количества используемых эталонов и повышении быстродействия систем контроля АЭСА. Что особенно важно для контроля продуктов износа. Появляется возможность создания систем комплексного анализа материалов.

Таким образом, *основными научными и практическими результатами* выполнения работы является следующее.

1. Предложен способ создания равновесных и неравновесных изолированных систем «эталон – проба» при аналитическом контроле состава материалов с использованием одного стандартного образца.

2. Подтверждена правильность алгоритма приведения условий эксперимента исследуемой пробы к условиям стандартного образца с использованием соотношений для изолированных систем «эталон – проба».

3. Разработан алгоритм определения физико-механических свойств металлов и сплавов по изменению интенсивностей излучений спектральных линий пробы относительно эталона.

4. Разработана методика отдельного контроля количественных составляющих и физико-механических свойств металлов и сплавов.

5. Разработана методика и предложен алгоритм поиска спектральных линий для автоматизированных систем АЭСА.

Работа представляет собой развитие теоретических и методических основ спектрального анализа, в том числе комплексного. Полученные результаты позволяют на базе существующего оборудования промышленных спектральных лабораторий разработать автоматизированные системы комплексного анализа при использовании унифицированных алгоритмов и программ.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Пимшин Д. А. Реализация комплексного спектрального анализа металлов на промышленных предприятиях и транспорте / А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин // Омский научный вестник. Серия приборы, машины, технологии. 2008. № 1. С. 121 – 124.

2. Пимшин Д. А. О возможности спектральных методов контроля деталей подвижного состава без сопровождающих эталонов / А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин, Д. С. Шишкин // Вестник Ростовского гос. ун-та путей сообщения. 2005. № 1. С. 41 – 46.

3. Пимшин Д. А. Совершенствование информационного обеспечения автоматизированных систем атомно-эмиссионной спектроскопии / А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин, Д. С. Шишкин // Известия высших учебных заведений. Северокавказский регион. Технические науки. 2006. №4. С. 63 – 68.

4. Пимшин Д. А. Информационное обеспечение распознавания элементов в приборах оптического спектрального анализа // Сборник трудов всерос. науч.-техн. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники» / А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин / Красноярский гос. техн. ун-т. Красноярск, 2004. С. 293 – 296.

5. Пимшин Д. А. О возможности спектральных методов контроля деталей подвижного состава без сопровождающих эталонов // Сборник трудов междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы развития транспорта России: стратегические, региональные, технические» / А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин / Ростовский гос. ун-т путей сообщения. Ростов-на-Дону, 2004. С. 86 – 89.

6. Пимшин Д. А. Применение многоканального анализатора МАЭС для контроля физико-механических свойств материалов / А. А. Кузнецов, А. Э. Кохановский, Д. А. Пимшин // Материалы междунар. симпозиума «Применение анализаторов МАЭС» / ин-т Неорганической химии СО РАН. Новосибирск, 2005. С. 47 – 49.

7. Пимшин Д. А. Анализатор спектра / А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин // Компьютерные учебные программы и инновации / М.: ВНТЦИ. 2006. № 12 50200501327.

8. Пимшин Д. А. Определение марок неизвестных материалов в системах спектрального анализа с виртуальными эталонами / С. К. Малиновский, А. А. Кузнецов, Д. А. Пимшин // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики»/ ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск, 2006. Ч. 1. С. 70 – 73.

9. Пимшин Д. А. Повышение информативности и достоверности контроля в спектральном анализе материалов / С. К. Малиновский, Д. А. Пимшин // Материалы всероссийской науч. конф. молодых учёных «Наука, технологии, инновации». НГТУ. Новосибирск, 2006. Ч. 2. С. 48, 49.

10. Пимшин Д. А. Контроль структурных и физико-механических свойств металлов средствами атомно-эмиссионной спектроскопии / А. А. Кузнецов, А. Э. Кохановский, Д. А. Пимшин // Материалы Уральской конф. по спектроскопии. УГТУ (УПИ). Екатеринбург, 2007. С. 21 – 23.

11. Пимшин Д. А. Способы оценки механических свойств материалов и изделий средствами оптического спектрального анализа // Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Д. А. Пимшин / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2008. С. 61 - 64.

12. Пат. 2291406 Российская Федерация, МКИ⁵ G01 N21/67, G01 J3/30. Способ измерения параметров спектральных линий при спектральном анализе / А. А. Кузнецов, А. И. Одинец, Д. А. Пимшин (Россия). – № 2005109876/28; Заявлено 05.04.2005; Опубл. 10.01.2007. // Патент на изобретение. 2005. Бюл. № 1. С. 9.

Пимшин Дмитрий Александрович

Методика повышения точности и расширения функционального назначения атомно-эмиссионного спектрального анализа металлов и сплавов.

Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Подписано в печать 09.12.2008. Заказ № _____
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.
Типография ОмГУПСа, 2008. 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35.

