

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

CONSTRUCTION MATERIALS AND CONSTRUCTION ENGINEERING

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 620.168.3
DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-2-137-145



РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СКАНИРОВАНИЯ СОСТАВА ВЕЩЕСТВА

Исаев М.М.¹, Махмудбейли Л.С.¹, Хасаева Н.М.²

¹ Азербайджанский архитектурно-строительный университет, Баку, Азербайджан

² Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос построения автоматизированной интеллектуальной контрольно-измерительной и управляющей системы оценки физико-химических параметров в процессе производства строительных материалов, применяемых при изготовлении металлических конструкций, применяемых при строительстве морских нефтегазовых платформ, работающих в сложных метеорологических условиях. Металлические конструкции, установленные в морской среде, подвержены большим нагрузкам и коррозии, поэтому следует проводить глубокий анализ конструкторских элементов и характеристик исследуемого объекта и воздействий, которым они подвергаются, а также профилактические мероприятия. Целью работы является создание и внедрение интеллектуальной контрольно-измерительной и управляющей системы подготовки состава материалов в соответствии с действующими стандартами. Основная функция этой системы заключается в сканировании состава материалов, измерении и оценке параметров, полностью отражающих их характеристики. Такой подход к решению проблемы, использование материалов, основанных на современных технологиях добычи, характерен для нефтегазовых платформ, строящихся в настоящее время в каспийском секторе Азербайджана. Длительная эксплуатация сооружений из этих материалов должна предусматривать устойчивость к максимальным нагрузкам, сильным штормам, щелочным свойствам морской воды и другим воздействиям. Для достижения поставленной цели были изучены, классифицированы и сформированы в виде базы знаний параметры изготавливаемых строительных материалов, имеющих необходимые физико-химические свойства. Интеллектуальная система базируется на сканирующих датчиках на основе интеллектуальных технологий, программных контроллеров современного поколения и других инструментов ИКТ. Система имеет многопараметрический и переменный структурный принцип и может быть легко адаптирована к типу материалов. Она может с высокой точностью сканировать физические и химические изменения любых строительных материалов в реальных производственных процессах и принимать решения в этот момент. Таким образом, применение интеллектуальной сканирующей системы позволит обеспечить производство прочных и долговечных строительных материалов для изготовления конструкций, работающих в тяжелых природных условиях и отвечающих международным стандартам.

Ключевые слова: интеллектуальная система, многопараметрическая переменная структура, адаптация, сканирование, физические и химические свойства, состав вещества, материал, качество, производство

© Исаев М.М., Махмудбейли Л.С., Хасаева Н.М., 2023

Для цитирования

Исаев М.М., Махмудбейли Л.С., Хасаева Н.М. Разработка интеллектуальной системы сканирования состава вещества // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №2. С. 137-145. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-137-145>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT SYSTEM FOR SCANNING THE COMPOSITION OF A SUBSTANCE

Isaev M.M.¹, Mahmudbeyli L.S.¹, Khasayeva N.M.²

¹ Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

² Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Abstract. The paper considers the issue of building an automated intelligent instrumentation and control system for evaluating physical and chemical parameters in the production of building materials applied in manufacturing steel structures used in the construction of offshore oil and gas platforms operating in difficult meteorological conditions. Steel structures installed in the marine environment are subject to high loads and corrosion; therefore, it is necessary to carry out an in-depth analysis of the design elements and characteristics of the facility under study and the impacts to which they are exposed, and take preventive measures. The research is aimed at creating and introducing an intelligent instrumentation and control system for preparing the composition of materials in accordance with currently applicable standards. A main function of this system is to scan the composition of materials, measure and evaluate parameters that fully reflect their characteristics. This approach to solving the problem, the use of materials based on modern production technologies, is typical for oil and gas platforms currently under construction in the Caspian sector of Azerbaijan. A long-term operation of structures made of these materials should provide resistance to maximum loads, severe storms, alkaline properties of seawater and other exposures. To achieve this objective, the parameters of manufactured building materials with the required physical and chemical properties were studied, classified and formed as a knowledge base. The intelligent system is based on scanning sensors applying intelligent technologies, software controllers of the modern generation and other ICT tools. The system has a multiparametric and variable structural principle and can be easily adapted to the type of materials. It can scan with high accuracy physical and chemical changes of any building materials in real production processes and make decisions at this moment. Thus, the use of an intelligent scanning system will ensure the production of strong and durable building materials for manufacturing structures operating in harsh natural conditions and meeting international standards.

Keywords: intelligent system, multiparametric variable structure, adaptation, scanning, physical and chemical properties, substance composition, material, quality, production

For citation

Isaev M.M., Mahmudbeyli L.S., Khasayeva N.M. Development of an Intelligent System for Scanning the Composition of a Substance. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 2, pp. 137-145. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-137-145>

Введение

Изучение состава вещества, определение его физико-химических показателей в настоящее время считается трудноразрешимой задачей, которая в основном осуществляется в лабораторных условиях различными методами [1-3, 8-11]. В твердых телах сканирование их состава требует комплексного подхода [9], потому что применение известных методов определения состава вещества является неточным. По внешнему виду и первичным признакам в настоящее время невозможна точная идентификация (сканирование) металла и сплавов. Некоторые более сложно-определяемые составы определить без специальных приборов просто невозможно, поэтому все большую популярность набирают портативные переносные анализаторы и спектрометры [11].

Известно, что самыми передовыми методами химического контроля металла и сплавов являются метод оптической эмиссии (оптико-эмиссионный, атомно-абсорбционный, энергодисперсионный), рентгенофлуоресцентный (рентгеновский) метод и метод лазерного анализатора [11].

Существует два подхода к распознаванию объектов по внешнему виду с использованием глубокого обучения [4]:

1. **Обучение модели с нуля.** Чтобы обучить глубокую сеть с нуля, необходимо собрать очень большой размеченный набор данных и разработать архитектуру сети, которая будет изучать характеристики и строить модель. Результаты могут быть впечатляющими, но этот подход требует большого количества обучающих данных.

2. **Использование предварительно обученной модели глубокого обучения.** Большинство прило-

жений глубокого обучения используют подход трансферного обучения – процесс, который включает в себя точную настройку предварительно обученной модели. Для начала берется существующая сеть и вводятся новые данные, содержащие ранее неизвестные классы. Этот метод требует меньше времени и может обеспечить более быстрый результат, поскольку модель уже обучена на тысячах или миллионах изображений. Глубокое обучение предполагает высокий уровень точности, но требует большого количества данных для точных прогнозов.

Распознавание объектов с помощью машинного обучения также популярно и предлагает отличные от глубокого обучения подходы. Распространенными примерами методов машинного обучения являются:

- извлечение функций HOG с помощью модели машинного обучения SVM;
- модели «мешков слов» (bag-of-words) с такими функциями, как SURF и MSER;
- алгоритм Виолы-Джонса, который можно использовать для распознавания различных объектов, включая лица и верхнюю часть тела человека.

С внедрением интеллектуальных контрольно-измерительных и управляющих систем в производственном процессе реализуется решение совершенно новых задач. Распознавание распространяется как на физические, так и химические признаки. Таким образом, многочисленные оценки различных типов параметров в двух направлениях осуществляются с применением специальных методов и датчиков. Экспертиза проводится в соответствии с классификацией в базе собранных текущих оценок и знаний.

Постановка задачи

Основным вопросом повышения эффективности распознавания считается определение состава и основных показателей веществ с высокой точностью. С этой целью требуется разработка системы интеллектуального распознавания на основе новых требований: определение количественных и качественных показателей состава вещества с высокой точностью, оценка параметров, содержащих их характеристики в процессе производства, которые в общем виде определяются многопараметрической функцией. Важность многих факторов, влияющих на выбор метода распознавания, неизвестна с полной точностью. Поэтому в условиях неопределенности возникает необходимость выбора

более рационального метода управления, который отражает в себе сложную задачу.

Решаемый вопрос будет реализован, включая:

- данные о свойствах исследуемых материалов (СИМ) (теплопроводность, удельная теплоемкость, плотность и др.), выражающиеся следующим образом [6]:

$$V_{\text{СИМ}} = \{V_t^{\text{СИМ}}, n = 1, \dots, k\}, \quad (1)$$

где $V_t^{\text{СИМ}}$ – температурная характеристика СИМ;

- геометрические размеры технического объекта (ТО) (исследуемых материалов), выражающиеся следующим образом:

$$V_{\text{ТО}} = \{V_n^{\text{ТО}}, V_m^{\text{ТО}}, V_\phi^{\text{ТО}}\}, \quad (2)$$

где $V_n^{\text{ТО}}$ – нормальный размер ТО; $V_m^{\text{ТО}}$ – малый размер ТО; $V_\phi^{\text{ТО}}$ – форма ТО;

- данные о дестабилизирующих факторах (ДСФ) технического объекта:

$$V_{\text{ДСФ}} = \{V_n^{\text{ДСФ}}, V_{\text{ср.}}^{\text{ДСФ}}, V_{\text{вы.}}^{\text{ДСФ}}\}, \quad (3)$$

где $V_n^{\text{ДСФ}}$ – низкий уровень ДСФ; $V_m^{\text{ДСФ}}$ – средний уровень ДСФ; $V_\phi^{\text{ДСФ}}$ – высокий уровень ДСФ;

- достоверность многоуровневой информации об определенности изучаемого материала:

$$V_{\text{опред.}} = \{V_{\text{детер.}}, V_{\text{непон.}}, V_{\text{нечет.}}\}, \quad (4)$$

где $V_{\text{детер.}}$ – детерминированная информация; $V_{\text{непон.}}$ – непонятная информация; $V_{\text{нечет.}}$ – нечеткая информация;

- серии методов, которые можно использовать в интеллектуальной измерительной системе:

$$V_M = \{V_i^{M_i}, i = 1, \dots, k\}, \quad (5)$$

где M_i – i -й метод управления.

На основе конкретизации данных (1) – (4) требуется определить метод контроля в соответствии с данными $V_M \in V_i^{M_i}$.

Решение задачи

Рассмотрим создание интеллектуальной системы и ее информационное обеспечение для реализации вышеупомянутых математических выражений (1) – (5). На основе параметров подби-

раются сенсоры и организуется их контакт с исследуемым объектом. Ниже представлены основные принципы функционирования интеллектуальной измерительной системы и ее структурная схема (рис. 1).

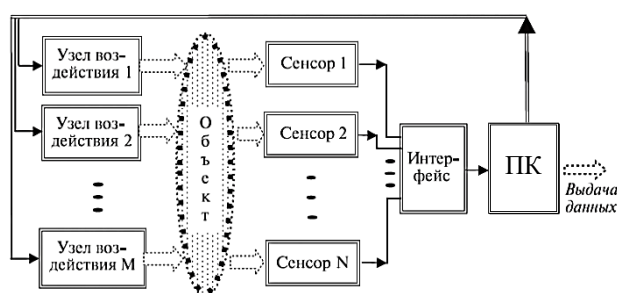


Рис. 1. Функциональная схема интеллектуальной измерительной системы

Fig. 1. A functional diagram of the intelligent measuring system

В отличие от известных сканирующих (распознающих) систем [12], измерение параметров осуществляется одновременно с помощью датчиков различного назначения [1]. Следовательно, система функционирует по принципу многопараметрической и многоканальной измерительной системы [7].

В результате одновременного измерения значений параметров, отражающих количественные и качественные показатели исследуемого вещества, накапливается достаточное количество данных. После обработки эти данные сопоставляются с соответствующими значениями, размещенными в базе знаний, и обеспечивается распознавание – сканирование с высокой точностью.

Имеющиеся данные о сканируемых материалах – информация, существовавшая до эксперимента, и информация, полученная при первом измерении, – можно описать в матричной форме следующим образом:

$$Q = \begin{pmatrix} (d_1) & (d_2) & \dots & (d_m) \\ q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1m} \\ (d_1) & (d_2) & \dots & (d_m) \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (d_1) & (d_2) & \dots & (d_m) \\ q_{n1} & q_{n2} & \dots & q_{nm} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где q_i ($i = 1, \dots, n$) – рассматриваемые параметры (признаки) качественных свойств материалов; d_i ($i = 1, \dots, m$) – диапазон характеристик параметров сканируемого материала.

Вопрос о классификации сканируемых материалов формулируется следующим образом:

большинство заданных сканируемых материалов характеризуется как $Q = (q_i, i = 1, \dots, N)$, где N – количество сканируемого материала, а каждый сканируемый материал характеризуется как $Q_i = (q_{i1}, q_{i2}, \dots, q_{im})$ параметрами m и т.д.

Предложены комплексные методы измерения и многопараметрические измерения для высокоточного определения состава производимых веществ и автоматизированного контроля за ними в процессе производства.

В результате проведенных анализов можно утверждать, что показателем качества материала, характеризующим его основные свойства, является единый показатель качества продукта [5].

Наряду со всеми этими заявлениями необходимо внедрить автоматизированную систему контроля и мониторинга качества исследуемых материалов. На сегодняшний день практический контроль качества продукции осуществляется в лабораторных условиях, а не с помощью автоматизированных систем контроля. В то же время с применением системы мониторинга возможно оптимальное управление производственным процессом, высокоточное измерение технологических параметров в условиях эксплуатации и контроль за ними.

Высокое качество продукции достигается так же за счет высокоточного расчета норм входящего сырья и оптимального управления состоянием техники на протяжении всего производственного процесса. За счет собранных архивных оценок на основе проведенного мониторинга формируется оптимальная база знаний, которая приводит к однозначному её использованию в системе интеллектуального управления и превращает автоматический контроль качества продукции в реальность.

Функциональная структура многопараметрической системы мониторинга

Поскольку погрешности измерений, которые могут быть допущены при измерении значений многочисленных технологических параметров в многопараметрической системе измерений, отражают требуемый уровень качества, также учитываются возможности их оплаты и автокоррекции. Таким образом, при построении структуры системы учитываются все внешние и внутренние воздействующие факторы.

Функциональную зависимость между входными и выходными параметрами системы мониторинга в общем виде можно описать следующей математическим выражением:

$$Q = f_Q(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n), \quad (7)$$

где Q – параметр качества; $a_1, \dots, a_i, \dots, a_n$ – информативные параметры (сюда входит набор контролируемых и неконтролируемых параметров внешнего воздействия).

Набор информативных параметров представленной выше функции (7) определяется экспериментально, и в результате рассчитывается значение параметра качества Q . Это выражение имеет различную форму для каждого продукта и представляет собой математическую модель.

Сначала определяются функциональные связи между значениями каждого информативного параметра a_i и уровнем качества Q контролируемого продукта:

– в модели (7), включающей основные качественные характеристики продукта, выявляются более изменчивые и сложные процессы;

– применение одной и той же математической модели к одинаковым или подобным продуктам может привести к неудовлетворительной оценке их качества. Вместо этого выполняются задачи, которые характеризуют назначение использования продукта и считаются очень важными.

Характеристики продуктов различны для определенных целей, но они имеют особое значение для эффективности управления в целом. Так, они имеют различную степень важности для разных объектов строительства. Например, металлические колонны (опоры), применяемые в строительной сфере, в зависимости от своего назначения имеют разные качественные показатели (прочностные характеристики, влияние влажности и температуры, устойчивость к нагрузкам и т.д.).

Исследуемые параметры можно разделить на три основные группы:

- 1) информативные параметры;
- 2) контролируемые параметры;
- 3) параметры неконтролируемого внешнего воздействия.

Несмотря на эту классификацию, каждый информативный параметр a_i так или иначе влияет на определение параметра качества. Здесь необходимо определить, какой процент параметра качества представляет каждый информативный параметр. Оценка эффективности этих параметров заключается в определении, к какой из трех групп относится каждый из них, какая группа параметров связана с особенностями каждого рассматриваемого товара, с влиянием различных

факторов b_i . Таким образом, качественные характеристики продукта определяются в определенном порядке. Это может быть выражено как функция или предел ограничений на любой промежуточной границе (существующие границы Q_1 и Q_2) в виде следующего преобразования:

$$|Q_1| \leq |Q| \leq |Q_2|. \quad (8)$$

В данной модели должны быть учтены факторы, выходящие за рамки критериев (8) и влияющие на параметры b_i , препятствующие эффективному управлению качеством, восстановлены полезные свойства и определены другие посторонние признаки. Посторонние признаки мешают эффективному управлению качеством и вызывают «срыв».

В математическом смысле те или иные причины, сопровождающиеся «срывом», выводятся из-под контроля, а отрицательное воздействие на качество вещества компенсируется обратной связью. Поэтому для корректной оценки характеристик объекта управления важно также исследование корреляционных связей между информативными параметрами a_i и параметром качества Q и неучтенными неинформативными параметрами. Таким образом, необходимо уточнить функционал f_Q . Для этого зависимость между значениями информативных параметров a_i и значениями факторов влияния Q и b_i можно представить следующим образом:

$$Q = f_Q(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n, b_1, \dots, b_m). \quad (9)$$

Итак, полезные свойства объекта управления определяются условием (8). Но здесь должны быть заданы условия для определения важных измерений при оценке параметра качества Q .

Структурная схема многопараметрического процесса измерения-тестирования показана на **рис. 2**.

Понятно, что функции, которые должна выполнять контрольно-мониторинговая система, будут включать в себя различные и сложные операции, так как зависят от назначения, вида, объема, физико-химических свойств продукта. Поскольку большой объем собираемой информации определяет правильную оценку и принятие решений, система мониторинга должна строиться в виде многопараметрической и многофункциональной комплексной информационно-управляющей системы.

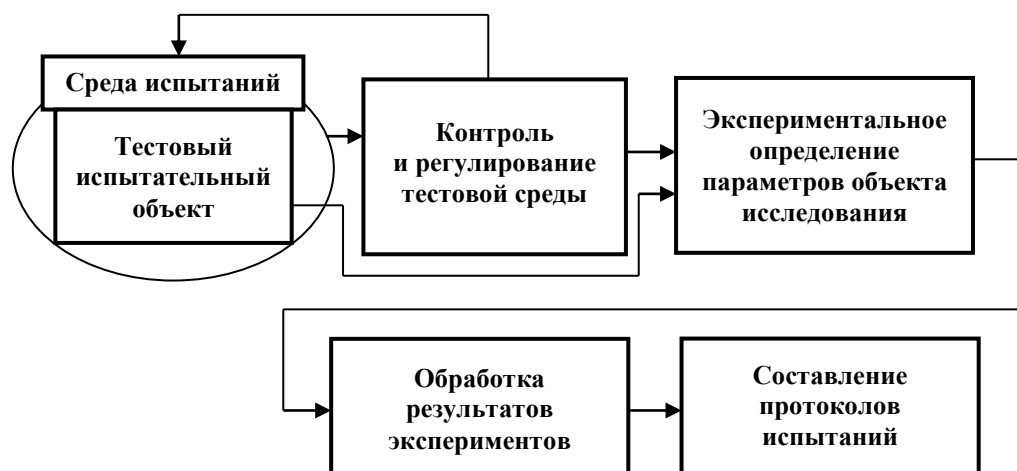


Рис. 2. Структурная схема процесса тестирования
Fig. 2. A block diagram of the testing process

К основным функциям системы мониторинга относятся:

- система измерения технологических параметров;
- система сбора и обработки информации;
- система оценки показателей качества;
- система принятия решений;
- система управления с обратной связью.

Функциональная схема системы мониторинга представлена на **рис. 3**.

Система мониторинга определяет и оценивает показатели качества сырья и готовой продукции в процессе производства.

Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля качества – мониторинг состава веществ. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение системы, основные моменты которого представлены ниже.

Программный комплекс, разработанный для обработки информации о данных, состоит из нескольких модулей и разделов. Связь между модулями и разделами программы осуществляется через главное меню. Одним из основных вопросов является реализация системного программного обеспечения и установление связей между программными модулями. Важно выбрать подходящую среду для разработки системного программного обеспечения. Так, для реализации программного обеспечения использовались среда DELPHI XE7 и система управления базами данных (СУБД) SQL SERVER 2008 R2, являющиеся продуктом компании Microsoft и работающие под управлением операционной системы WINDOWS.

В интерфейсе программы «Главное меню»

предусмотрены функции переключения на другие модули.

Интерфейс между системой и пользователем основан на принципе выбора меню. Метод меню, кроме своей простоты и удобства, позволяет последовательно контролировать работу пользователя и устранять ошибки. Программное обеспечение системы измерения и контроля информации состоит из модулей, реализующих обращение к базе данных, обработку различных запросов и формирование выходных документов.

Меню программы состоит из множества подменю в зависимости от специфики рассматриваемого вопроса и образуют весь комплекс прикладных программ как единый пакет. Свойства веществ формируются в виде базы знаний системы на основе справочников.

На **рис. 4** показана последовательность определения номенклатуры показателя качества, приведены меню, подменю разработанных программных модулей и основные функции, выполняемые программой.

Кроме того, пользователь программы может вводить, изменять и удалять информацию в системе по неучтенным параметрам материалов, изучаемых в данном модуле программы. Для этого пользователь программы выбирает из специальных справочников и вводит определенные коэффициенты с символами, определенными с панели программы. В это время выбранная доступная информация отображается на экране в виде списка архивных данных. Из этого меню пользователь может добавлять, изменять и удалять новую информацию в системе. Это одинаково для всех типов стандартных материалов.



Рис. 3. Функциональная схема системы мониторинга
Fig. 3. A functional diagram of the monitoring system

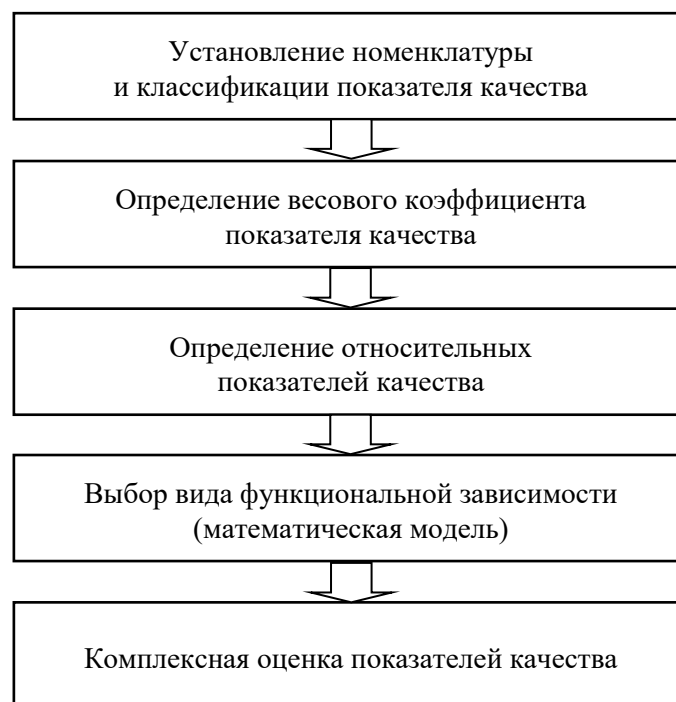


Рис. 4. Сложный алгоритм расчета показателя качества
Fig. 4. A complex algorithm for calculating the quality indicator

Заключение

Таким образом, впервые была разработана автоматизированная интеллектуальная контрольно-измерительная система и ее информационное обеспечение для определения (сканирования) количественных и качественных свойств веществ (материалов). Благодаря применению этой системы в технологии производства можно добиться высокой эффективности и качества. Это более важно для технологии производства конструкций из металла и других материалов. Таким образом, она незаменима при разработке состава материалов для производства металлоконструкций, эксплуатируемых в морской среде и других тяжелых природных условиях.

Роль автоматизированной интеллектуальной системы сканирования на всех этапах производственного процесса заключается в контроле состава материалов, высокой точности измерений и предотвращении разрушений.

Применение данной системы характерно для всех нефтегазовых терминалов, построенных в азербайджанском секторе Каспийского моря за последние годы.

Поэтому основной целью статьи является разработка и применение интеллектуальной системы сканирования на уровне современных требований для достижения высокого качества и точности в процессе производства металлических материалов. Для этого были изучены физико-химические свойства и характеристики металлов, проведена их широкая классификация и реализовано их применение при осуществлении текущих измерений и разверток на примере интеллектуальных систем.

Таким образом, эти данные играют роль основного источника информации при формировании базы знаний и экспертной системы интеллектуальной сканирующей системы. В то же время система обеспечивает высокоточный контроль физико-химического состава материалов в реальных производственных процессах. Все это достигается за счет высокоточного сканирования каждого показателя. В результате обеспечивается производство высококачественной продукции, соответствующей требованиям международных стандартов.

Список источников

1. Демина Л.Н. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие. М.: НИЯУ «МИФИ», 2010. 292 с.

2. Ультразвуковой контроль металлических конструкций: учеб. пособие / А.И. Коротин, А.Л. Лазарев, Г.Н. Святкина [и др.]. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 112 с.
3. Совершенствование процесса изготовления сложных изделий с использованием PDM-систем / В.Б. Кузнецова, А.И. Сергеев, А.И. Сердюк, А.В. Попов. Оренбург: ОГУ, 2013. 143 с.
4. Мясников В.В., Глузов Н.И., Сергеев В.В. Методы обнаружения и распознавания объектов на цифровых изображениях. Самара: Изд-во СГАУ, 2006. 168 с.
5. Ребрин Ю.И. Управление качеством: учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. 174 с.
6. Селиванова З.М., Хоан Т.А. Методы и алгоритмы повышения точности информационно-измерительных систем теплофизических свойств теплоизоляционных материалов: монография. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. 160 с.
7. Страхов А.Ф. Многопараметровые измерительные системы // Измерительная техника. 2005. №4. С. 3-7.
8. Толмачев И.И. Магнитные методы контроля и диагностики: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 216 с.
9. Эгертон Р.Ф. Физические принципы электронной микроскопии. Введение в просвечивающую, растворную и аналитическую электронную микроскопию: монография / пер. с англ. С.А. Иванова. М.: Техносфера, 2010. 300 с.
10. <http://ntcexpert.ru/953-metody-nerazruchayushchego-kontrolya> (Дата обращения: 12.03.2023)
11. XRF Анализаторы металлов, РФА спектрометры: цены, состав и принцип спектрального анализа сплавов / ООО «ПВП «СНК» в Москве (pvp-snk.ru) (дата обращения 15.03.2023)
12. <https://hub.exponenta.ru/post/raspoznavanie-obektov-3-veshchi-kotorye-neobkhodimo-znat244> (дата обращения 15.03.2023)

References

1. Demina L.N. *Metody i sredstva izmereniy, ispytaniy i kontrolya: ucheb. posobie* [Measurement, testing and control methods and tools: Study guide]. Moscow: National Research Nuclear University Moscow Engineering Physics Institute, 2010, 292 p. (In Russ.)
2. Korotin A.I., Lazarev A.L., Svyatkina G.N. et al. *Ul'trazvukovoy kontrol metallicheskikh konstruksiy: ucheb. posobie* [Ultrasonic testing of steel structures: Study guide]. Saransk: Publishing House of Mordovia University, 2015, 112 p. (In Russ.)
3. Kuznetsova V.B., Sergeev A.I., Serdyuk A.I., Popov A.V. *Sovershenstvovanie protsessa izgotovleniya slozhnykh izdeliy s ispolzovaniem PDM-sistem* [Improving the process of manufacturing complex products using PDM systems]. Orenburg: Orenburg State University, 2013, 143 p. (In Russ.)
4. Myasnikov V.V., Gluzov N.I., Sergeev V.V. *Metody obnaruzheniya i raspoznavaniya obektov na tsifrovyykh izobrazheniyakh* [Methods for detecting

- and recognizing objects in digital images]. Samara: Publishing House of Samara State Aerospace University, 2006, 168 p. (In Russ.)
5. Rebrin Yu.I. *Upravlenie kachestvom: ucheb. posobie* [Quality management: Study guide]. Taganrog: Publishing House of Taganrog Radio Engineering University, 2004, 174 p. (In Russ.)
 6. Selivanova Z.M., Joan T.A. *Metody i algoritmy povysheniya tochnosti informatsionno-izmeritelnykh sistem teplofizicheskikh svoystv teploizolyatsionnykh materialov: monografiya* [Methods and algorithms for improving accuracy of information and measuring systems of thermo-physical properties of heat-insulating materials: Monograph]. Tambov: Publishing House of Tambov State Technical University, 2018, 160 p. (In Russ.)
 7. Strakhov A.F. Multi-parameter measuring systems. *Izmeritelnaya tekhnika* [Measurement Equipment]. 2005;(4):3-7. (In Russ.)
 8. Tolmachev I.I. *Magnitnye metody kontrolya i diagnostiki: ucheb. posobie* [Magnetic methods of control and diagnostics: Study guide]. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008, 216 p. (In Russ.)
 9. Egerton R.F. *Fizicheskie printsipy elektronnoy mikroskopii. Vvedenie v prosvechivayushchuyu, rastrovuyu i analiticheskuyu elektronnyuyu mikroskopiyu: monografiya* [Physical principles of electron microscopy. Introduction to transmission, scanning and analytical electron microscopy: Monograph]. Moscow: Technosphere, 2010, 300 p. (In Russ.)
 10. <http://ntcexpert.ru/953-metody-nerazrushayushchego-kontrolya> (Accessed on March 12, 2023)
 11. XRF metal analyzers, XRF spectrometers: prices, configuration and the principle of a spectral analysis of alloys. LLC PVP SNK in Moscow (pvp-snk.ru) (Accessed on March 15, 2023)
 12. <https://hub.exponenta.ru/post/raspoznavanie-obektov-3-veshchi-kotorye-neobkhodimo-znat244> (Accessed on March 15, 2023)

Поступила 22.03.2023; принята к публикации 17.05.2023; опубликована 27.06.2023
Submitted 22/03/2023; revised 17/05/2023; published 27/06/2023

Исаев Мазахир Мамедович – доктор технических наук, доцент,
Азербайджанский архитектурно-строительный университет, Баку, Азербайджан.
Email: mezahir@bk.ru. ORCID 0000-0003-0515-5725

Махмудбейли Лейла Салы кызы – докторант, Азербайджанский архитектурно-строительный университет,
Баку, Азербайджан. Email: leyla.shakaralieva@gmail.com. ORCID 0009-0007-6618-3443

Хасаева Натаван Маммад кызы – докторант,
Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан.
Email: nxasayeva1@gmail.com. ORCID 0000-0003-3496-2040

Mazahir M. Isaev – DrSc (Eng.), Associate Professor,
Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan.
Email: mezahir@bk.ru. ORCID 0000-0003-0515-5725

Leyla S. Mahmudbeyli – doctoral student,
Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan.
Email: leyla.shakaralieva@gmail.com. ORCID 0009-0007-6618-3443

Natavan M. Khasayeva – doctoral student,
Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan.
Email: nxasayeva1@gmail.com. ORCID 0000-0003-3496-2040