

ИНФОРМАЦИОННОЕ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.746.27-52

[https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1\(46\)-54-59](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1(46)-54-59)Логунова О.С.¹, Андреев С.М.¹, Гарбар Е.А.^{1,3}, Маркевич А.В.², Николаев А.А.¹¹Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова²ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»³ООО «Студия ФАКТ», г. Магнитогорск**АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ: КОНСТРУКЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА**

Современные тренды развития науки и техники все чаще используют системы мониторинга за объектами по изображениям, которые захвачены из видеопотока. Для принятия решения о состоянии объекта возникает необходимость получения библиотеки изображений, которые получены с использованием автоматизированных систем научных исследований. Целью предлагаемой работы является обоснование использования автоматизированных систем научных исследований нарушения сплошности плоской движущейся поверхности. Особенностью исследования является появление на поверхности объектов нерегулярной формы и возникновения конфликтов классификатора при идентификации этих объектов. В ходе исследования определена блочно-модульная структура системы и предложены два варианта ее реализации. Предлагаемые решения отличаются количеством приводов, реализующих движение катушек и структурой системы управления. Реализация одного из предложенных решений позволила провести опытную эксплуатацию системы с использованием программного обеспечения «Video Stream», позволяющим выполнять захват изображения из видеопотока. Результаты опытной эксплуатации системы доказали достаточность использования автоматизированной системы научных исследований для построения библиотеки изображений, захваченных из видеопотока, для изучения его структуры и отдельных частей. Реализованная автоматизированная система научных исследований планируется к использованию для выявления причин появления и устранения конфликтов классификаторов при идентификации дефектов металлической полосы, в частности плены.

Ключевые слова: нарушение сплошности поверхности, плоская поверхность, изображение в потоке, автоматизация исследований, программно-аппаратный комплекс.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие научных исследований в настоящее время приводят к разработке новых методов и средств научного познания. Среди этих средств и методов можно определить информационные, математические, логические, технические, технологические, лингвистические, эргономические, программные [1]. В своем историческом развитии промышленные системы автоматизированных систем управления прошли несколько этапов, в том числе становление «новой автоматизации», «комплексную автоматизацию», «комплексную интеллектуальную систему автоматизации» [2]. В настоящее время сочетание опыта и знаний экспертов позволяет выстраивать программно-аппаратные комплексы, обеспечивающие все информационные процессы в системах автоматизации управления.

Для любого технологического процесса рассматривают две стороны: энергетическое воздействие и управление энергетическим воздействием. Управление с этой точки зрения подразумевает наблюдение за ходом обработки и установление наилучшего режима на основе осмысленного использования информации о протекании процесса [2]. Учитывая, что современные технологические процессы и системы автоматизации являются сложными, становится целесообразным синтезировать и использовать автоматизированные системы научных исследований. Согласно [3] автоматизированные системы научных исследований – это

программно-аппаратные комплексы, обрабатывающие данные, поступающие от экспериментальных установок и измерительных приборов, и анализирующие их. Основной функцией автоматизированных систем научных исследований является сбор информации, формирование информационной библиотеки и подготовка информации для последующего принятия решений.

Авторами работы определена цель исследования: повышение точности классификации объектов на плоской движущейся поверхности в реальном времени. Для решения указанной проблемы в настоящее время созданы как технические, так программные предпосылки. Эти предпосылки указаны в работах, которые:

- описывают структуру синтезируемых программно-аппаратных комплексов для различных областей [4-7];
- обеспечивают высокую производительность вычисления [8-10];
- систематизировано излагают основы обработки, сегментации и классификации изображений в статическом и динамическом состоянии [11-14];
- обосновывают использование изображения в автоматизированных системах инспекции качества [15-20].

При поиске публикаций, которые рассматривают синтез автоматизированных систем научных исследований, обнаружено только на платформе Российского индекса научного цитирования 158 тыс. научных публикаций. Несмотря на множество проведенных исследований, остаются актуальными следующие проблемы:

- наличие высоких технологических требований к программно-аппаратным решениям для сбора и анализа уникальности информации, получаемой с помощью автоматизированных систем научных исследований, с учетом динамики объекта;

– наличие конфликтов в классификаторах при распознавании объектов нерегулярной формы на плоской динамической поверхности в реальном времени;

– отсутствие полноценных библиотек изображений для изучения структуры объектов нерегулярной формы для систематизации и обобщения признаков классификации.

Сокращение затрат на экспериментальные исследования достигается использованием автоматизированных систем научных исследований.

КОНСТРУКЦИЯ АППАРАТНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАУЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА
ПЛОСКОЙ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТИ

Нарушением сплошности движущейся поверхности, в рамках работы, принято считать любые дефекты поверхности, нарушающие ее однородность. Примером нарушения сплошности на поверхности листового проката можно считать образование плены (**рис. 1**).

В работе [21] представлена блочно-модульная структура системы автоматизации научных исследований для плоской движущейся поверхности (**рис. 2**). В состав системы входит аппаратный блок, включающий аналог-подобие промышленного оборудования и комплекс системы управления.

Системы автоматизации научных исследований нарушения сплошности поверхности должна обеспечивать:

- движение плоской полосы с линейной скоростью до 1 м/мин;
- равномерное движение полосы из легкого и тяжелого материала;
- минимальное отклонение от горизонта поверхности плоскости полосы;
- захват видеоизображения без размытия и бликов освещения на заданной скорости.

Авторами работы для реализации системы автоматизации научных исследований предложены две схемы аппаратной механической части, схемы которых приведены на **рис. 3** и **4**. В состав каждой схемы включены: механическая часть, обеспечивающая движение полосы (перемотчик); система управления, обеспечивающая регулирование параметров движения полосы на механической части.

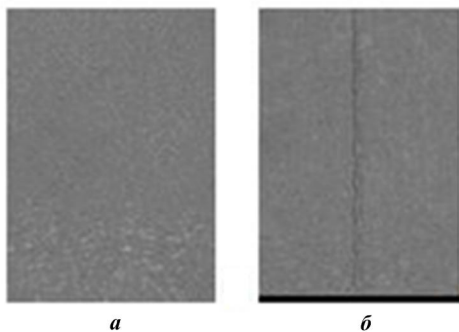


Рис. 1. Вид фрагмента поверхности
металлического листа:

a – без нарушения сплошности; *б* – с нарушением
сплошности поверхности – дефект «Плена»

На **рис. 3** введены обозначения: 1) элементов управляющей части: ЦАП – цифроаналоговый преобразователь; ЭВМ – электронно-вычислительная машина; УВ – устройство ввода; *Driver* – устройство управления; 2) информационных сигналов: I_1 – напряжение на электродвигатель 1; I_2 – частота вращения ротора двигателя 1, ток статора; I_3 – сигнал уставки скорости вращения двигателя 1; I_4 – цифровой сигнал уставки скорости вращения двигателя 1; I_5 – напряжение на электродвигатель 1'; I_6 – частота вращения ротора двигателя 1'; ток статора; I_7 – сигнал уставки скорости вращения двигателя 1'; I_8 – цифровой сигнал уставки скорости вращения двигателя 1'; I_9 – сигнал диаметра намотки на вал 1; I_{10} – цифровой сигнал изображения с камеры; I_{11} – сигнал диаметра намотки на вал 1'; I_{12} – сигнал с чувствительного элемента камеры; I_{13} – ток светодиода подсветки; I_{14} – сигнал управления величиной подсветки; I_{15} – сигнал уставки яркости светодиода.

На **рис. 4** введены обозначения: I_1 – напряжение на электродвигатель; I_2 – частота вращения ротора двигателя, ток ротора; I_3 – сигнал уставки скорости вращения двигателя; I_4 – цифровой сигнал уставки скорости вращения двигателя; I_5 – сигнал диаметра намотки на вал 1; I_6 – цифровой сигнал изображения с камеры; I_7 – сигнал диаметра намотки на вал 2; I_8 – сигнал с чувствительного элемента камеры; I_9 – ток светодиода подсветки; I_{10} – сигнал управления величиной подсветки; I_{11} – сигнал уставки яркости светодиода.

Реализация системы по схеме, приведенной на **рис. 3**, требует использования двух двигателей для обеспечения натяжения плоской полосы. В системе, построенной по схеме **рис. 4**, использован один двигатель. Такая конструкция является более простой в реализации. Для реализации стенов выбраны двигатели постоянного тока, способные обеспечивать равномерную скорость движения. С помощью датчиков положения контролируется диаметр ленты, находящейся на катушках.

Для обнаружения нарушений сплошности на поверхности полосы требуется освещение, которое обеспечивает отсутствие бликов на поверхности. В качестве вариантов освещения опробованы: лампы накаливания; светодиодные лампы; инфракрасные лампы; галогенные лампы. Из всех перечисленных источников освещения требованию по отсутствию бликов удовлетворяет только инфракрасная лампа. Свет, проходя через цветное стекло, не засвечивает поверхность.

Для поиска областей с нарушением сплошности на поверхности полосы в традиционных системах используют два вида камер: однострочную и матричную. В предлагаемых решениях использована длиннофокусная камера для съемки на расстоянии 30–50 см от объекта.

Каждое из предлагаемых решений обладает достоинствами и преимуществами в зависимости от условий проводимых экспериментальных исследований (см таблицу).

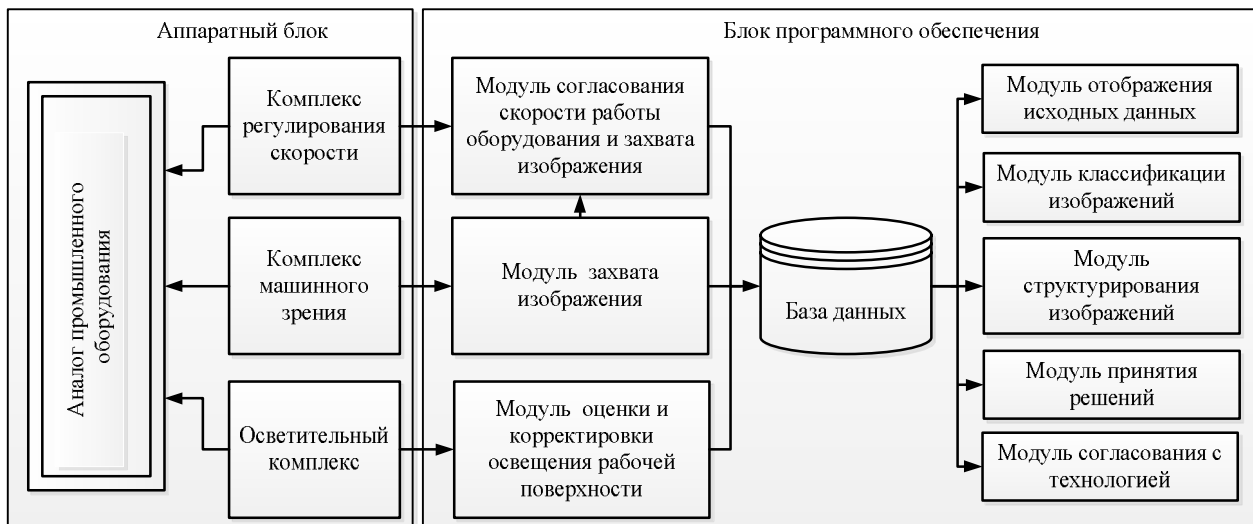


Рис. 2. Блочная-модульная структура системы автоматизации научных исследований плоской движущейся поверхности продукции

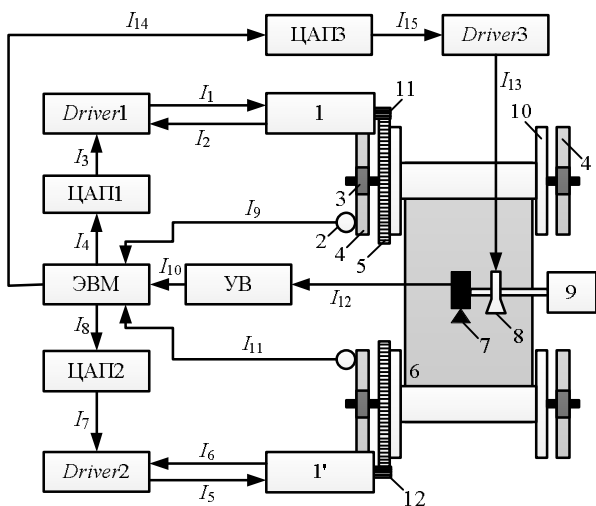


Рис. 3. Схема автоматизированной системы научных исследований с двумя активными двигателями: 1, 1' – двигатель; 2 – датчик положения; 3 – подшипник; 4 – опора; 5 – ведомая шестерня; 6 – плоская поверхность; 7 – видео(фото)камера; 8 – освещение; 9 – станция для камеры; 10 – катушка; 11 – ведущая шестерня

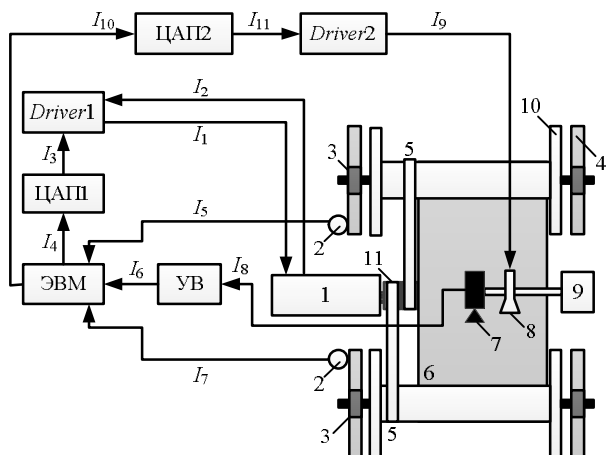


Рис. 4. Схема автоматизированной системы научных исследований с одним активным двигателем: 1 – двигатель; 2 – датчик положения; 3 – подшипник; 4 – опора; 5 – ведомый шкив; 6 – плоская поверхность; 7 – видео (фото) камера; 8 – освещение; 9 – станция для камеры; 10 – катушка; 11 – ведущий шкив

Перечень достоинств и недостатков конструктивных решений при реализации автоматизированной системы научных исследований нарушения сплошности плоской полосы

№ п/п	Конструкция с двумя двигателями	Конструкция с одним двигателем
Достоинства конструкции		
1	Обеспечивает независимое управление каждым двигателем	Имеет упрощенную структуру с меньшим количеством элементов управления
2	Обеспечивает стабильную работу конструкции при любой толщине рулона	Не требует системы согласования скоростей движения катушек для исключения провисания полосы
3	Обеспечивает движение полосы в две стороны и перематывание полосы на любую катушку	Обеспечивает стабильную работу конструкции при одинаковой толщине полосы на каждой катушке
Недостатки конструкции		
1	Требует согласования в скорости работы двигателей для устранения провисания полосы при движении	Обеспечивает движение полосы в сторону катушки с ведущей шестерней
2	Требует дублирования системы управления для каждого двигателя	Требует механизма для крепления и снятия катушек для их перестановки

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В ходе экспериментальных исследований реализована автоматизированная система по схеме, приведенной на рис. 4. Вид системы приведен на рис. 5.

Проведение опытной эксплуатации системы проведено при условиях: материал для плоской поверхности – алюминиевая фольга; толщина материала – 0,3 мм; линейная скорость движения полосы – 0,3 м/мин.

Используя программное обеспечение «Video Stream» [21], получены результаты, приведенные на рис. 6. На рис. 6 введены обозначения: 1 – список видеоустройств; 2 – кнопочный блок событий; 3 – рабочее окно с изображением; 4 – раскадровка видеопотока; 5 – нарушение сплошности текстурированной поверхности.

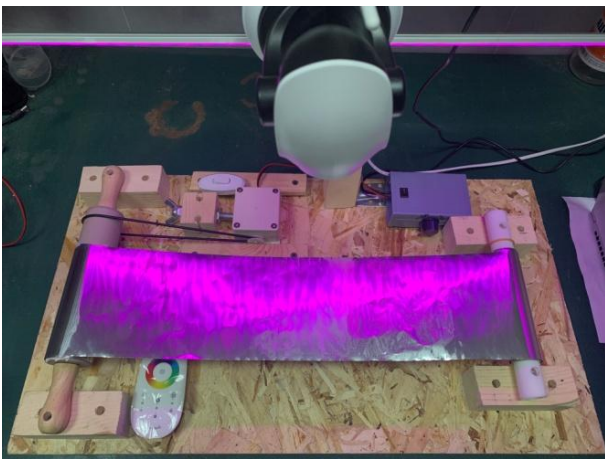


Рис. 5. Вид упрощенной опытной автоматизированной системы научных исследований, реализованной по схеме с одним двигателем

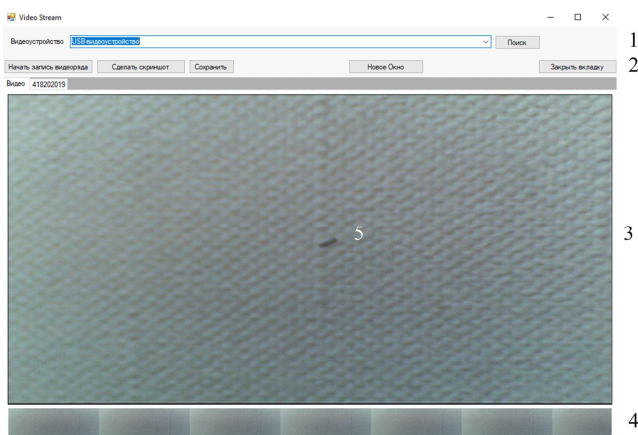


Рис. 6. Вид рабочих окон программного обеспечения «Video Stream»

Опытная эксплуатация автоматизированной системы доказала ее работоспособность для сбора графической информации в ходе захвата изображений из видеопотока плоской движущейся поверхности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлено, что современные тенденции развития науки и техники требуют построения систем мониторинга структуры поверхности, находящейся в движении. Эти тенденции характерны для металлургической, лесной, бумажной и других отраслей экономики.

2. Задачи мониторинга за нарушением сплошности поверхности требуют принятия решения на основе обработки изображений, получаемых из видеопотока. Получение большого количества графической информации в производственных условиях является задачей, требующей вмешательства в производственный процесс, и является труднореализуемой. Задача построения множества изображений в достаточном количестве для систематизации структуры объектов, построения правил принятия решений и обобщения результатов реализуема с использованием автоматизированной системы научного исследования.

3. В ходе исследования авторы работы предложили две схемы построения автоматизированной системы научного исследования нарушения сплошности движущейся плоской поверхности и выполнили реализацию одной из схем с использованием одного двигателя.

4. Опытная эксплуатация построенной автоматизированной системы научного исследования нарушения сплошности движущейся плоской поверхности показала достаточность предложенных решений для формирования библиотеки изображений и последующего ее использования при изучении структуры как изображения в целом, так и объектов нерегулярной формы на ее поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационные технологии в экономике: учебник / под ред. проф. Г.А. Титоренко. М.: ЮНИТИ, 2001. 399 с.
2. Дудников Е.Г., Левин А.А. Промышленные автоматизированные системы управления. М.: Энергия, 1973. 192 с.
3. Гамов В.Ю. Автоматизированные системы научных исследований. СПб.: ГАУП, 2015. 96 с.
4. Лесных А.Н., Сарычев В.А. Автоматизированная система научных исследований для синтеза систем электропитания космических аппаратов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2005. № 4. С. 48-52.
5. Штриков Б.Л., Шуваев В.Г., Папшев В.А. Автоматизированная система научных исследований процессов ультразвуковой сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2007. № 12. С. 19-22.
6. Автоматизированная система научных измерений для исследования перспективных теплотехнических материалов методами обратных задач теплообмена / Алифанов О.М., Будник С.А., Михайлов В.В. и др. // Современные наукоемкие технологии. 2005. № 5. С. 67-68.
7. Ульянычев Н.В., Колосов В.П., Перельман Ю.М. Автоматизированная система для научных исследований дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания СО РАМН // Информатика и системы управления. 2008. № 2 (16). С. 103-106.
8. Мозгов С.С. Средства повышения производительности вычислений в автоматизированных системах научного исследования // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. 2007. № 4-2. С. 277-279.
9. Халкечев Р.К. Теоретические основы мультифрактального моделирования функциональных задач автоматизированной системы научных исследований физических процессов горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. №8. С. 136-142.
10. Соловьев А.М., Адаменко В.С. Разработка автоматизированной системы научных исследований усилительной аппаратуры с использованием микропроцессорной платы ARDUINO // Технические науки – от теории к практике. 2016. № 56. С. 68-74.
11. Прэрт У. Цифровая обработка изображений: пер. с англ. Кн. 1.М.: Мир, 1982. 312 с.
12. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
13. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
14. Automated processing of retinal images / A.A. Chernomoretz, A.S. Krylov, A.V. Nasonov [et al.] // The 21st International Conference on Computer Graphics and Vision GraphiCon'2011. Conference Proceedings. М.: МАКС Пресс, 2011. P. 78–81.
15. Application of on-line infrared thermography in steel making industry / M. Viale, O. Martin, F. Muratori [et al.] // Thermosense XXIX. Edited by K.M. Knettel, V.P. Vavilov, J.J. Miles. Proc. of the SPIE. 2007. № 6541. С. 65410H 1–20.
16. Сомина С., Кадушников Р., Разводов А. Цифровая микроскопия уходит в онлайн // Наноиндустрия. 2012. №4. С. 42–45.

17. Разработка методов оценки микроструктурной неоднородности трубных сталей / Казаков А.А., Казакова Е.И., Кисилев Д.В. [и др.] // Черные металлы. 2009. № 12. С. 12–15.
18. Posokhov I.A., Logunova O.S., Mikov A.Yu. Method and algorithms for cascade classification of sulfur print images of billet transverse templates // Journal of Computational and Engineering Mathematics. 2016. Т. 3. № 4. С. 11–40.
19. The results of sulfur print image classification of section images / Logunova O.S., Posokhov I.A., Mikov A.Y. and all. // CEUR Workshop Proceedings 5. Сер. "AIST-SUP 2016": Supplementary Proceedings of the 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts, AIST 2016. Yekaterinburg: Centre of Information Technologies, 2016. P. 170–181.
20. Adaptive fuzzy decision tree with dynamic structure for automatic process control system of continuous cast billet production / Matsko I.I., Logunova O.S., Pavlov V.V. [et al.] // IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN). 2012. Vol. 2. №8. P. 53–55.
21. Структура программного модуля для захвата изображения из видеопотока / Николаев А.А., Логунова О.С., Гарбар Е.А., Якименко А.Е. // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. 2019. Т. 7. № 2. С. 19–24

Поступила в редакцию 10 января 2020 г.

INFORMATION IN ENGLISH

AUTOMATION OF SCIENTIFIC RESEARCH OF FLAT SURFACE DISCONTINUITIES: STRUCTURAL SOLUTION OF A HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX

Oksana S. Logunova

D.Sc. (Engineering), Professor, Director of the Institute, Civil Engineering, Architecture and Arts Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: logunova66@mail.ru. ORCID: 0000-0002-7006-8639.

Sergei M. Andreev

Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Automated Control Systems, Institute of Energy and Automated Systems, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: andreev.asc@gmail.com. ORCID: 0000-0003-0735-6723.

Evgenii A. Garbar

Post graduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University; Chief Technical Officer, CIT "Fact" LLC, Magnitogorsk, Russia. E-mail: evgenyjam@yandex.ru, soft@studiofact.ru. ORCID: 0000-0002-2449-2789.

Artem V. Markevich

Ph.D. (Engineering), Leading Engineer, Central Control Laboratory, Magnitogorsk Iron and Steel Works, Magnitogorsk, Russia. E-mail: Markevich.AV@mmk.ru.

Artem A. Nikolaev

Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: aantont2001@gmail.com.

Modern trends in the development of science and technology are increasingly using monitoring systems for objects from images that are captured from the video stream. To make a decision about the state of the object, it becomes necessary to obtain a library of images obtained using automated scientific research systems. The aim of the proposed work is to justify the use of automated systems for scientific research of discontinuity on a plane moving surface. The main feature of the study is the appearance on the surface of objects of an irregular shape and the occurrence of classifier conflicts when identifying objects. During the study, the block-modular structure of the system was determined and two implementation options were proposed. The proposed solutions differ in the number of drives that implement the movement of the coils and the structure of the control system. The implementation of one of the proposed solutions makes it possible for trial operation using the "Video Stream" software, which makes it possible to capture images from a video stream. The results of the trial operation of the system proved the sufficiency of using an automated research system to build a library of images captured from a video stream to study its structure and individual parts. The implemented automated system of scientific research is planned to be used to eliminate conflicts of classifiers in identifying defects in a metal strip, in particular, shells.

Keywords: violation of surface continuity, flat surface, image in a stream, research automation, software and hardware complex.

REFERENCES

1. *Informatsionnye tekhnologii v ekonomike: uchebnik* [Information technology in economics: textbook] / Under the editorship of Professor G.A. Titorenko. Moscow: YuNITI, 2001. 399 p. (In Russian)
2. Dudnikov E.G., Levin A.A. *Promyshlennyye avtomatizirovannyye sistemy upravleniya* [Industrial automatic control systems]. M.: Energy, 1973. 192 p. (In Russian)
3. Gamov V.Yu. *Avtomatizirovannyye sistemy nauchnykh issledovaniy* [Automatic systems of scientific research]. St. Petersburg.: GAUP, 2015. 96 p. (In Russian)
4. Lesnykh A.N., Sarychev V.A. Automatic system of scientific research to design power supply systems of space vehicles. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of Reshetnev Siberia State Aerospace University]. 2005. No. 4. P. 48–52. (In Russian)
5. Shtrikov B.L., Shuvaev V.G., Papshev V.A. Automatic system of scientific research of ultrasonic assembling processes. *Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembly in machine-building and instrument-making]. 2007. No. 12. P. 19–22. (In Russian)
6. Alifanov O.M., Budnik S.A., Mikhaylov V.V., et al. Automatic system of scientific measurements for investigation of promising thermotechnical materials using methods of inverse problems of heat transfer. *Sovremennyye naukoemkie tekhnologii* [Current high-end technology]. 2005. No. 5. P. 67–68. (In Russian)

7. Ulyanychev N.V., Kolosov V.P., Perelman Yu.M. Automatic system for scientific research of the Far East scientific center of physiology and breathing abnormalities of RAMS. *Informatika i sistemy upravleniya* [Information science and control systems]. 2008. No. 2(16). P. 103-106. (In Russian)
8. Mozgov S.S. Ways of improving the efficiency of calculations in automatic systems of scientific investigation. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Informatsionnye sistemy i tekhnologii* [Proceedings of Orel State Technical University. Series: Information systems and technology]. 2007. No. 4-2. P. 277-279. (In Russian)
9. Khalkechev R.K. Theoretical foundation of multifractal simulation of functional tasks of an automatic system of scientific research of physical processes in mining. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Mining research and information bulletin (research journal)]. 2015. No. 8. P. 136-142. (In Russian)
10. Solovov A.M., Adamenko V.S. Development of an automatic system of scientific research of amplifying equipment using ARDUINO microprocessor board. *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike* [Technical sciences – from theory to practice]. 2016. No. 56. P. 68-74. (In Russian)
11. Prett U. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital processing of images]. Moscow: Mir, 1982. Vol. 1. 312 p. (In Russian)
12. Shapiro L., Stokman Dzh. *Kompyuternoe zrenie* [Computer vision]. Moscow: BINOM. Laboratory of know-how, 2006. 752 p. (In Russian)
13. Gonsales R., Vuds R. *Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy* [Digital processing of images]. Moscow: Tekhnosfera, 2005. 1072 p. (In Russian)
14. Automated processing of retinal images / A. A. Chernomoretz, A. S. Krylov, A. V. Nasonov [et al.] // The 21st International Conference on Computer Graphics and Vision GraphiCon'2011. Conference Proceedings. Moscow: MAKS Press, 2011. P. 78–81.
15. Application of on-line infrared thermography in steel making industry / M. Viale, O. Martin, F. Muratori [et al.] // *Thermosense XXIX*. Edited by K.M. Knettel, V.P. Vavilov, J.J. Miles. Proc. of the SPIE. 2007. No. 6541. P. 65410H 1–20.
16. Somina S., Kadushnikov R., Razvodov A. *Tsifrovaya mikroskopiya ukhodit v onlayn* [Digital microscopic investigation goes on-line] // *Nano-industry*. 2012. No. 4. P. 42–45. (In Russian)
17. Kazakov A. A., Kazakova E. I., Kisilev D. V., et al. Development of assessment methods of microstructure nonuniformity of tube steels. *Chernye metally* [Ferrous metals]. 2009. No. 12. P. 12–15. (In Russian)
18. Posokhov I.A., Logunova O.S., Mikov A.Yu. Method and algorithms for cascade classification of sulfur print images of billet transverse templates // *Journal of Computational and Engineering Mathematics*. 2016. Vol. 3. No. 4. P. 11-40.
19. The results of sulfur print image classification of section images / Logunova O.S., Posokhov I.A., Mikov A.Y. and all. // *CEUR Workshop Proceedings 5. Ser. "AIST-SUP 2016"*: Supplementary Proceedings of the 5th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts, AIST 2016. Yekaterinburg: Centre of Information Technologies, 2016. P. 170–181.
20. Adaptive fuzzy decision tree with dynamic structure for automatic process control system of continuous cast billet production / Matsko I. I., Logunova O. S., Pavlov V. V. [et al.] // *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2012. Vol. 2. No. 8. P. 53–55.
21. Nikolaev A.A., Logunova O.S., Garbar E.A., Yakimenko A.E. Structure of the program module for image capture from the video stream. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsialnoy sferakh* [Mathematical support and software in industry and in social services]. 2019. Vol. 7. No. 2. P. 19-24. (In Russian)

Автоматизация научных исследований нарушения сплошности плоской поверхности: конструкционное решение программно-аппаратного комплекса / О.С. Логунова, С.М. Андреев, Е.А. Гарбар, А.В. Маркевич, А.А. Николаев // *Электротехнические системы и комплексы*. 2020. № 1(46). С. 54-59. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1\(46\)-54-59](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1(46)-54-59)

Logunova O.S., Andreev S.M., Garbar E.A., Markevich A.V., Nikolaev A.A. Automation of Scientific Research of Flat Surface Discontinuities: Structural Solution of a Hardware-Software Complex. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2020, no. 1(46), pp. 54-59. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1\(46\)-54-59](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-1(46)-54-59)