

УДК 658.56

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ НА БАЗЕ ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ «ГАРАНТИР КАЧЕСТВА»

© 2024 В.В. Авсиевич<sup>1</sup>, П.В. Ситников<sup>1</sup>, А.В. Иващенко<sup>2</sup>,  
А.В. Авсиевич<sup>2</sup>, М.А. Щербаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ООО «Открытый код», г. Самара Россия

<sup>2</sup> Самарский государственный медицинский университет, г. Самара Россия  
Россия, Самара, <sup>3</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

Статья поступила в редакцию 06.12.2024

В статье описывается аппаратно-программное решение «Гарантир качества», предназначенное для организации мониторинга и контроля параметров продукции средствами машинного зрения. Реализация аппаратной части основано на использовании сканирующего модуля для создания облака точек и построении цифрового двойника изделия. Программная часть решения позволяет кластеризовать отдельные фрагменты изделия и произвести сравнение их параметров с требованиями проектной документации. Предложенное решение рекомендуется к внедрению на современных промышленных предприятиях в рамках комплексной системы менеджмента качества.

*Ключевые слова:* управление качеством, компьютерное зрение, система искусственного интеллекта, цифровые двойники, гарантир качества.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-6-136-141

EDN: JGLLHH

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач построения системы менеджмента качества на промышленном предприятии [1, 2] является внедрение современных методов измерения и контроля результативности и эффективности процессов для достижения ключевых показателей качества. Наибольшую точность измерений и достоверность выявления дефектов демонстрируют средства инструментального контроля, однако при большой номенклатуре продукции, малых партиях, в опытном или мелкосерийном производстве их использование затруднено в силу высокой стоимости и трудоемкости внедрения.

Решение проблемы видится в реализации технологий машинного зрения с использованием элементов искусственного интеллекта [3, 4]. Аппаратно-программные комплексы контроля качества на базе машинного зрения могут использовать для сбора данных широко распространенные и недорогие средства видео и фото съемки, а применяемые в этой области искусственные нейронные сети достаточно быстро

дообучаются на данных реального производства и не требуют разработки сложного программного обеспечения. При этом контроль качества на базе машинного зрения может затрагивать как идентификацию дефектов продукции, так и выявлять отклонения от типовых операций при мониторинге действий производственного персонала, что свидетельствует о нарушениях производственного процесса и повышает риски потери качества.

Данное решение согласуется с современными подходами по реализации концепции цифровых двойников [5 – 7]. Сканирование каждого изделия позволяет построить облако точек [8, 9], описывающих его цифровой двойник. Сравнение этого цифрового двойника с идеальной трехмерной моделью, заданной в конструкторской документации, позволяет выявлять недопустимые отклонения и дефекты и фиксировать брак.

Определенная алгоритмом последовательность разбиения облака точек на фрагменты позволяет задавать размерные цепи и учитывать их в ходе контроля качества.

Для реализации такого решения на практике была создана цифровая платформа «Гарантир качества» (разработчик ООО «Открытый код» [10, 11]), позволяющая строить на своей основе различные решения машинного зрения для выявления дефектов продукции в машиностроении. Применение технологий искусственного интеллекта позволяет реализовать сканирование деталей и сборочных единиц в достаточно широком диапазоне габаритов, осуществить кластеризацию и параметризацию элементов

*Авсиевич Владимир Викторович, кандидат технических наук, руководитель проектов.*

*E-mail: avsievichv@gmail.com*

*Ситников Павел Владимирович, доктор технических наук. E-mail: sitnikov@o-code.ru*

*Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор. E-mail: anton.ivashenko@gmail.com,*

*Авсиевич Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: avsievich@mail.ru,*

*Щербаков Михаил Александрович, доктор технических наук, профессор. E-mail: mashcherbakov@yandex.ru*

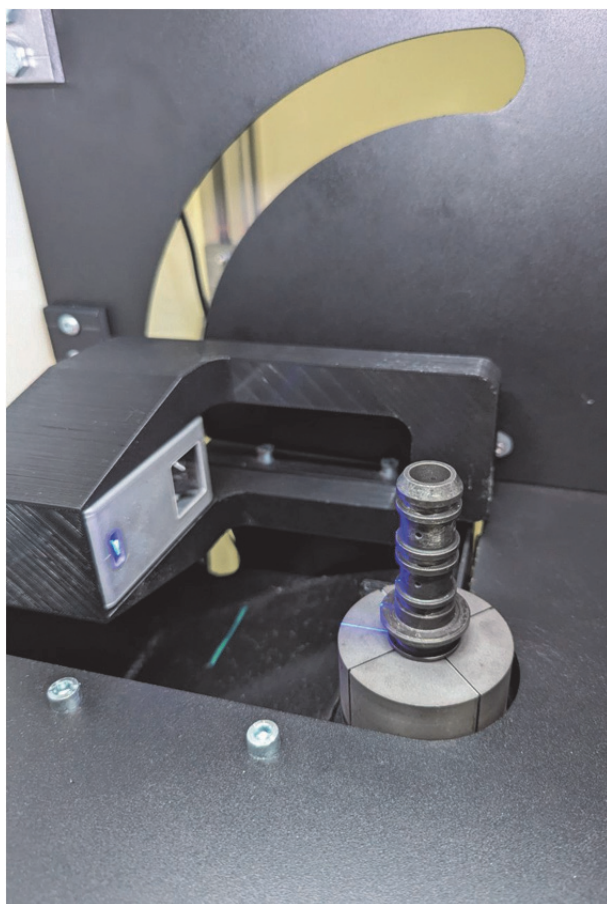
изделия и сравнить их с данными трехмерных моделей и электронной документации.

Ниже в статье приведен типовой процесс использования цифровой платформы «Гарантир качества» в рамках построения системы менеджмента качества на промышленном предприятии, и даны рекомендации по ее использованию на практике.

## МЕТОДЫ

Для построения трехмерного облака точек при помощи 2D лазерного сканера Рифтек РФ627 каждый двухмерный профиль, получаемый в результате сканирования и представляющий собой массив точек на плоскости, преобразуется в трехмерный массив координат. После этого производится его ориентирование в трёхмерном пространстве. Все полученные профили объединяются в единый трехмерный массив координат. Сканирующий модуль представляет собой поворотный стол, на котором находится сканируемый объект, и лазерный сканер, закрепленный на поворотном кронштейне (см. Рис. 1).

Процедура сканирования представляет собой запись в бинарный файл координат точек двухмерных профилей, отраженных от поверхности вращающегося на поворотном столе объ-



**Рис. 1.** Сканирующий модуль цифровой платформы «Гарантир качества»

екта. Для возможности сканирования объектов с различных ракурсов предусмотрена возможность поворота лазерного сканера на кронштейне в плоскости, перпендикулярной плоскости поворотного стола.

Для автоматизации и ускорения процесса перевода поверхности детали в цифровой формат используется трёхмерное сканирование. Как правило, съемка сложных объектов невозможна при одном положении прибора, потому что часть объекта находится вне области прямой видимости. Поэтому, для покрытия всей поверхности объекта выполняют съемку с нескольких позиций. Результат сканирования представляет собой трехмерных точечных моделей (облаков точек) объекта с частичным перекрытием, каждая из которых находится в своей системе координат.

Для получения единой модели объекта необходимо определить взаимную ориентацию этих облаков точек, т.е. определить элементы взаимного ориентирования и привести все модели в общую систему координат. Полученное изображение будет использоваться для сравнения с эталонной моделью с целью контроля качества детали.

Процесс совмещения набора облаков точек называется регистрацией (Point Cloud Registration) или взаимным ориентированием облаков точек.

В данном случае, процедура регистрации облаков точек будет подразумевать под собой циклическое совмещение целевого облака точек (target) и облака-источника (source), которые представляют собой фрагменты одной детали, отсканированной с различных ракурсов, с целью формирования единого, полного, трехмерного изображения детали. При первой итерации, в качестве целевого облака точек выбирается облако, содержащее наиболее полную информацию о детали, т.е. облако, содержащее наибольшее количество точек. В последующих итерациях целевое облако есть результат объединения целевого облака и облака-источника на предыдущей итерации.

Все методы определения элементов взаимного ориентирования облаков точек можно условно разбить на два класса: с использованием специальных отражателей-марок и с использованием только точек сканирования. Регистрации облаков точек с использованием только точек сканирования происходит путем сопоставления геометрической кривизны поверхностей целевого облака и облака-источника при помощи последовательного применения двух алгоритмов: Random Sampling Consensus (RANSAC) и Iterative Closest Point (ICP).

Отличие данных алгоритмов заключается в том, что применение ICP возможно только для

уточнения решения задачи и не может быть использовано для решения в общем случае. Такое ограничение обусловлено областью сходимости, поэтому, для реализации алгоритма ICP требуются значения начальных приближений для первой итерации. Кроме того, на каждой итерации необходимо выполнять трудоемкую операцию поиска ближайшей точки. Для устранения указанных недостатков требуется приближенно оценить ориентацию облаков точек, оптимизировать процедуру поиска соответствий и сократить число итераций алгоритма, что достигается путем применения алгоритма RANSAC.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты работы цифровой платформы «Гарантир качества» приведены на Рис. 2 – 4. В результате сканирования по серии двумерных профилей строится трехмерное облако точек.

Для идентификации брака полученное изображение в заданной проекции сравнивается с эталонным. Также для идентификации брака может использоваться нейронная сеть, обученная на нескольких предварительно подготовленных наборах данных (датасетах), описывающих годное изделие и изделие с дефектом. Для

каждого дефекта необходимо разработать свой датасет. Дополнительно следует отметить, что для некоторых дефектов собрать исчерпывающий набор данных для обучения бывает сложно, в связи с чем, он может быть синтезирован средствами трехмерного моделирования.

Применение описываемой цифровой платформы возможно также для измерения геометрических характеристик объекта. Для этого производится оценка разбиения изделия на фрагменты (элементы) и оценка минимальных и максимальных координат облака точек вдоль осей прямоугольной системы координат (см. Рис. 2). Для измерения отдельного элемента облака точек производится его отсечение. В результате удается измерить геометрические параметры с достаточно высокой точностью (см. рис. 3).

Результаты всех измерений протоколируются с электронном журнале (см. Рис. 4), что с одной стороны облегчает их фиксацию, а с другой не позволяет исполнителю пропустить или перепутать обязательные этапы контроля качества каждого изделия.

Для идентификации отклонений используются данные трехмерных моделей конструкторской документации. Таким образом, цифровой двойник реального изделия сравнивается с вир-

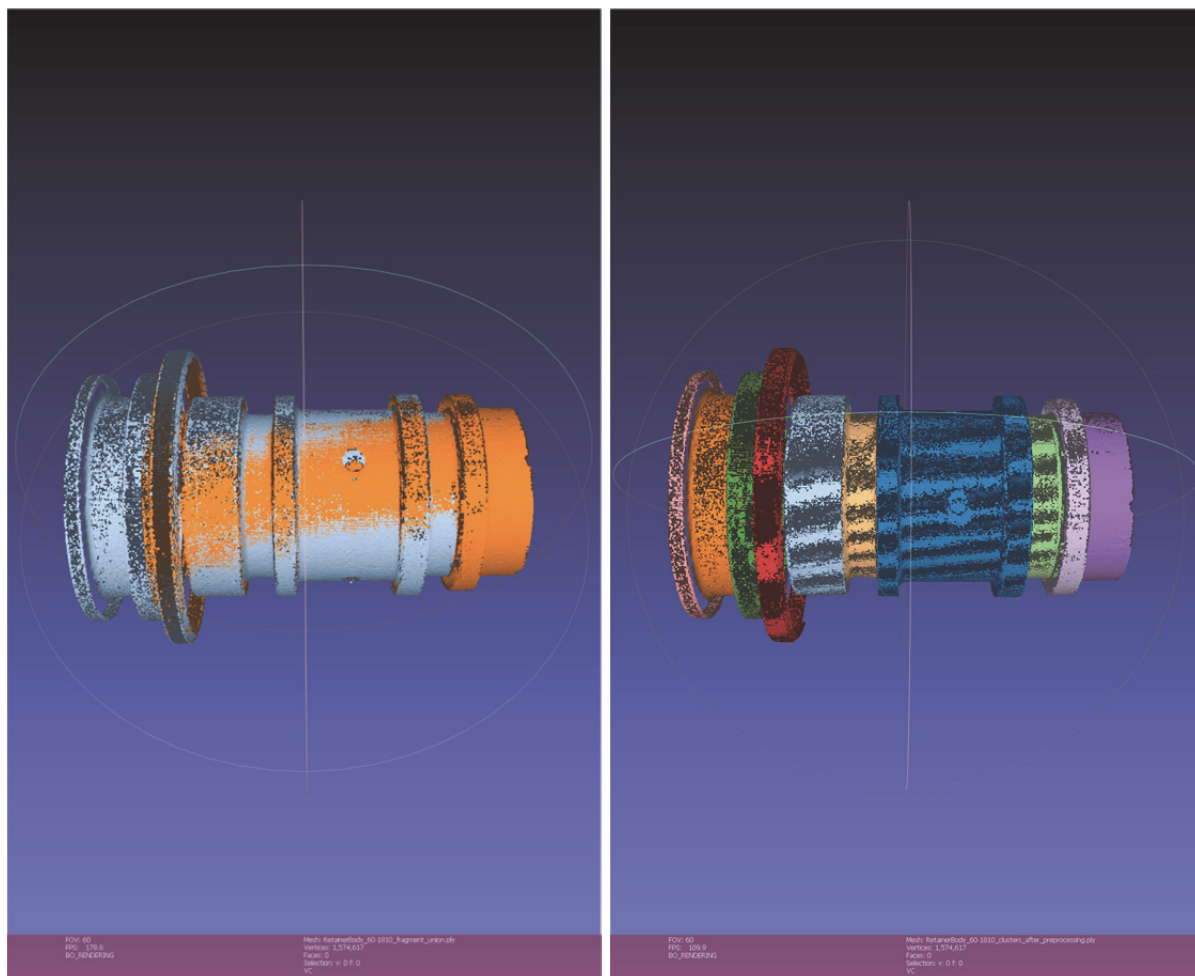


Рис. 2. Построение цифрового двойника по облаку точек и кластеризация элементов изделия

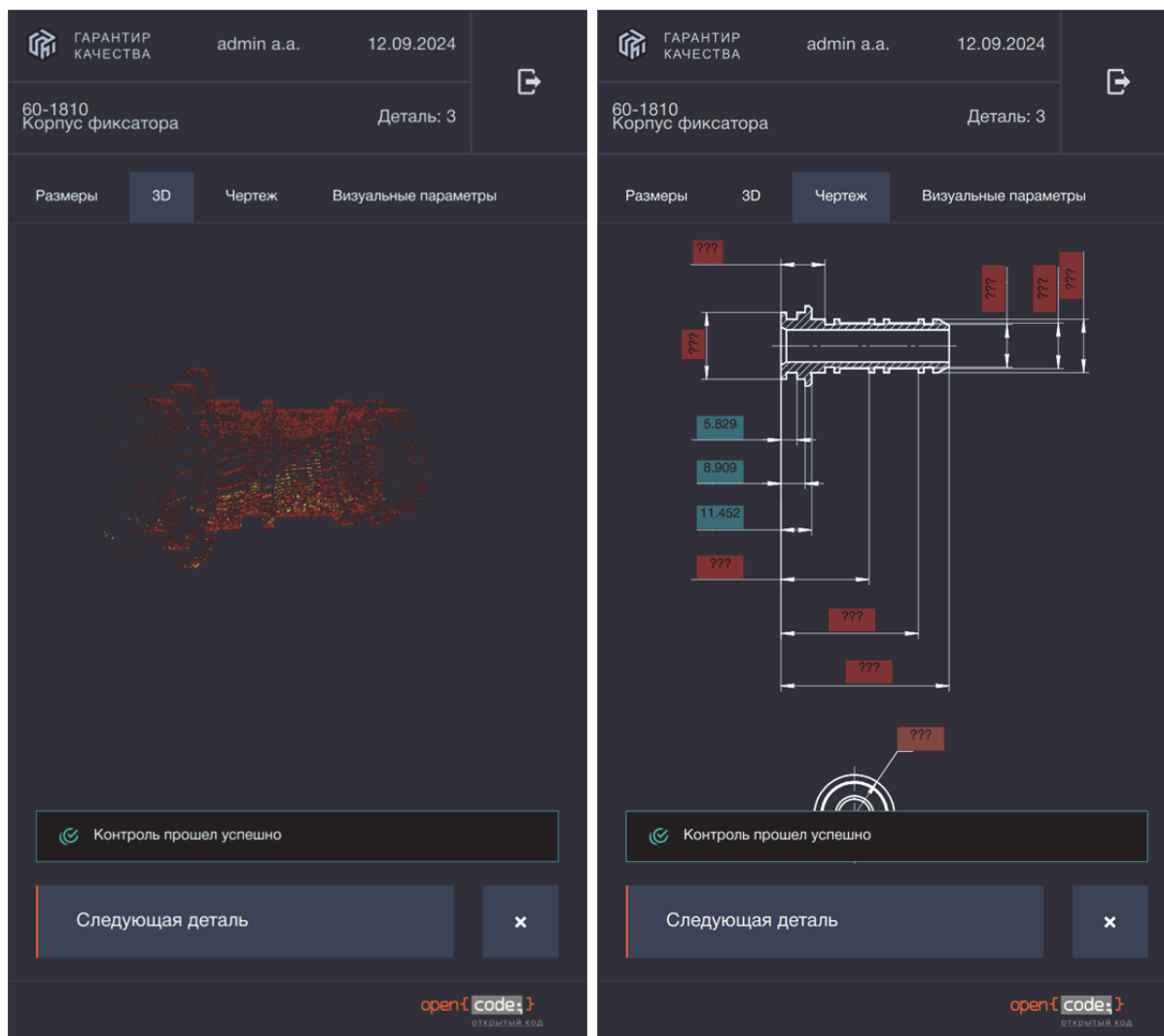


Рис. 3. Измерение и контроль параметров изделия

туальным образцом качества, построенным на основе имеющихся сведений об эталонной геометрии объекта.

Цифровая платформа построена на современной многоуровневой архитектуре. Клиентская часть реализована как веб-приложение на Vue.JS с использованием JavaScript, HTML и CSS, обеспечивая интуитивно понятный пользовательский интерфейс. Серверная инфраструктура базируется на высокопроизводительном веб-сервере Nginx и включает набор специализированных микросервисов на платформе .NetCore. Безопасность обеспечивается через JWT-авторизацию, а обмен данными с устройствами организован по протоколу MQTT. Хранение данных осуществляется в СУБД PostgreSQL, обеспечивая целостность и быстрый доступ к информации.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цифровая платформа «Гарантир качества» позволяет строить на свое основе достаточно разнообразные средства мониторинга и контро-

ля параметров продукции в рамках комплексной системы менеджмента качества на современном предприятии. Интеграция различных модулей в единое информационное пространство обеспечивает интегральный мониторинг производственных процессов, что дает возможность организации эффективного и недорогого контроля рисков в масштабе организации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
2. Dominguez O. Quality management: the heart of the quality assurance/quality control process // Spectroscopy Europe. Vol. 33. No 1. 2021. pp. 27 – 32
3. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image processing, analysis, and machine vision, 2008. 555 p.
4. Wiley V., Lucas T. Computer vision and image processing: a paper review // International Journal of Artificial Intelligence Research. Vol. 2. No 1. 2018. P. 28-36
5. Боровков, А.И. Цифровой инжиниринг для создания изделий высокой степени технологической



Рис. 4. Результаты контроля качества с использованием машинного зрения

- сложности на основе цифровых двойников / А.И. Боровков, В.Ю. Кулемин // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2024. – № 3 (133). – С. 98 – 104
- Халиулин, Р.А. Цифровые двойники как инструмент мониторинга производственных процессов в Индустрии 4.0 / Р.А. Халиулин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 45-50
  - ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».
  - Чибуничев А.Г. Автоматическое определение взаимной ориентации трехмерных моделей объектов, полученных по результатам лазерного сканирования / А.Г. Чибуничев, А.Б. Велижев // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2007. – № 1. – С. 127 – 134/
  - Якимчук, А.В. Разработка системы технического зрения для определения позиции и ориентации объекта на основе 3D – модели / А.В. Якимчук // STUDENT. 2020. – Т. 3. – № 10. – С. 34/
  - Сурнин, О.Л. Цифровая платформа «Гарантир качества» / О.Л. Сурнин, П.В. Ситников, В.В. Авсиевич, Ю.Е. Резников, А.В. Иващенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2023. – Т. 25. – № 6. – С. 74 – 83.
  - Ivaschenko A., Avsievich V., Reznikov Y., Belikov A., Turkova V., Sitnikov P., Surnin O. Intelligent machine vision implementation for production quality control // Proceeding of the 34th conference of FRUCT association, Riga, Latvia, 15-17 November 2023. pp. 49 – 56

## PRODUCTION CONTROL AUTOMATION BASED ON THE «QUALITY GUARANTOR» DIGITAL PLATFORM

© 2024 V.V. Avsievich<sup>1</sup>, P.V. Sitnikov<sup>1</sup>, A.V. Ivaschenko<sup>2</sup>, A.V. Avsievich<sup>2</sup>, M.A. Shcherbakov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Open Code LLC, Samara, Russia

<sup>2</sup>Samara State Medical University, Samara, Russia

<sup>3</sup>Penza State University, Penza, Russia

The paper presents the hardware and software solution «Quality Guarantor», designed to organize monitoring and control of product parameters by means of machine vision. The hardware implementation is based on the use of a scanning module to create a point cloud and build a digital twin of the product. The software part of the solution allows clustering individual fragments of the product and comparing their parameters with the requirements of the design documentation. The proposed solution is recommended for implementation at modern industrial enterprises as part of an integrated quality management system.

**Keywords:** quality management, computer vision, artificial intelligence system, digital twins, quality assurance.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-6-136-141  
EDN: JGLLHH

## REFERENCES

1. GOST R ISO 9000-2001. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'.
2. *Dominguez O.* Quality management: the heart of the quality assurance/quality control process // Spectroscopy Europe. Vol. 33. No 1. 2021. pp. 27 – 32
3. *Sonka M., Hlavac V., Boyle R.* Image processing, analysis, and machine vision, 2008. 555 p.
4. *Wiley V., Lucas T.* Computer vision and image processing: a paper review // International Journal of Artificial Intelligence Research. Vol. 2. No 1. 2018. P. 28-36
5. *Borovkov A.I.* Cifrovoj inzhiniring dlya sozdaniya izdelij vysokoj stepeni tekhnologicheskoy slozhnosti na osnove cifrovyyh dvojnikov / A.I. Borovkov, V.Yu. Kulemin // Izvestiya Rossijskoj akademii raketnyh i artilerijskih nauk. – 2024. – № 3 (133). – С. 98 – 104
6. *Haliulin, R.A.* Cifrovye dvojniki kak instrument monitoringa proizvodstvennyh processov v Industrii 4.0/R.A. Haliulin// Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2023. – T. 25. – № 2. – S. 45-50
7. GOST R 57700.37–2021 «Komp'yuternye modeli i modelirovanie. Cifrovye dvojniki izdelij. Obshchie polozheniya».
8. *Chibunichev A.G.* Avtomaticheskoe opredelenie vzaimnoj orientacii trekhmernyyh modelej ob'ektov, poluchennyh po rezul'tatam lazernogo skanirovaniya / A.G. Chibunichev, A.B. Velizhev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Geodeziya i aerofotos'emka. 2007. – № 1. – S. 127 – 134.
9. *Yakimchuk, A.V.* Razrabotka sistemy tekhnicheskogo zreniya dlya opredeleniya pozicii i orientacii ob'ekta na osnove 3D – modeli / A.V. Yakimchuk // STUDENT. 2020. – T. 3. – № 10. – S. 34/
10. *Surnin, O.L.* Cifrovaya platforma «Garantir kachestva» / O.L. Surnin, P.V. Sitnikov, V.V. Avsievich, Yu.E. Reznikov, A.V. Ivashchenko // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2023. – T. 25. – № 6. – S. 74 – 83.
11. *Ivaschenko A., Avsievich V., Reznikov Y., Belikov A., Turkova V., Sitnikov P., Surnin O.* Intelligent machine vision implementation for production quality control // Proceeding of the 34th conference of FRUCT association, Riga, Latvia, 15-17 November 2023. pp. 49 – 56.

---

*Vladimir Avsievich, Candidate of Technical Sciences, Project Manager. E-mail: avsievichv@gmail.com*

*Pavel Sitnikov, Doctor of Technical Sciences.*

*E-mail: sitnikov@o-code.ru*

*Anton Ivaschenko, Doctor of Technical Sciences, Professor.*

*E-mail: anton.ivashenko@gmail.com*

*Aleksandr Avsievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: avsievichv@gmail.com*

*Mikhail Shcherbakov, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: mashcherbakov@yandex.ru*