

Тип статьи: научная
УДК 631.365.34
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-2-113-120

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРПУСА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Данила Александрович Николоюкин¹, Владимир Евгеньевич Петерс²,
Михаил Александрович Попов³, Андрей Владиленович Крищенко⁴

^{1,2} Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация
^{1,2,3,4} Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация
¹JeyViJey@mail.ru, ¹<https://orcid.org/0009-0008-4860-677X>
²<https://orcid.org/0009-0000-1066-6752>

Автор ответственный за переписку: Данила Алексеевич Николоюкин, JeyViJey@mail.ru
Corresponding author: Danila Nikolyyukin, JeyViJey@mail.ru

Реферат. Одной из проблем сахарной отрасли являются высокие потери качества корнеплодов сахарной свёклы в период хранения. Разработка системы технического зрения направлена на обеспечение большей сохранности сырья в период уборки и хранения путём анализа прибывающего на заводы сырья. В работе описаны понятия технического зрения и системы технического зрения и входящие в неё компоненты. Рассмотрен процесс распределения грузовых автомашин на приёмном пункте сахарных заводов человеком. Сформулирована цель статьи, заключающаяся в разработке аппаратной части системы технического зрения, а также 3D-моделирование корпуса. Определены все характеристики всех комплектующих для системы технического зрения. На основании характеристик выбраны комплектующие для создания системы. Разработана и описана структурная схема системы технического зрения, включающая в себя блок питания, тумблер двухпозиционный, блок DC-DC преобразователей, блок предохранителей, контроллер, модуль-реле восьмиканальный, модуль гальванической развязки, USB-разветвитель с активным питанием, преобразователь USB-UART, прожектор, лазерный датчик расстояния, камера промышленная, USB-модем, светодиодное табло, терморегулятор, нагревательная пластина, вентилятор для корпуса, термистор. Методом 3D-моделирования является среда КОМПАС-3D, в которой были созданы такие модели, как защитный корпус системы технического зрения и кронштейн для его крепления на месте эксплуатации. Корпус напечатан из PLA-пластика, так как обладает высокими показателями твёрдости и плотности, вследствие чего вероятность поломки корпуса небольшая. Кронштейн выполнен из термически обработанной стали для высокой прочности и долговечности. По результатам выполненной работы система технического зрения была отправлена на тестирование и выявление недостатков на приёмный пункт сахарного завода в Курской области.

Ключевые слова: сахарная свекла, хранение, размер корнеплода сахарной свеклы, машинное зрение, кагат, моделирование.

HARDWARE DEVELOPMENT AND 3D MODELING OF THE BODY OF THE VISION SYSTEM FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF SUGAR BEET ROOT CROPS

Danila Nikolyyukin¹, Vladimir Peters², Mikhail Popov³, Andrey Kryshchenko⁴

^{1,2} Tambov State Technical University, Tambov, Russia
^{1,2,3,4} Scientific Research Institute for the Use of Machinery and Petroleum Products in
Agriculture, Tambov, Russia

¹JeyViJey@mail.ru, ¹<https://orcid.org/0009-0008-4860-677X>
²<https://orcid.org/0009-0000-1066-6752>

Abstract. *One of the problems of the sugar industry is the high quality loss of sugar beet roots during storage. The development of a technical vision system is aimed at ensuring greater safety of raw materials during harvesting and storage by analyzing raw materials arriving at factories. The concepts of technical vision and technical vision systems and its components are described in the work. The process of distribution of trucks at the receiving point of sugar factories by humans is considered. The purpose of the article is formulated, which is to develop the hardware of the technical vision system, as well as 3D modeling of the body. All characteristics of all components for the technical vision system have been determined. Based on the characteristics, components were selected to create the system. A block diagram of a technical vision system has been developed and described, including a power supply, a two-position toggle switch, a DC-DC converter unit, a fuse block, a controller, an eight-channel relay module, a galvanic isolation module, a USB splitter with active power supply, a USB-UART converter, spotlight, laser distance sensor, industrial camera, USB modem, LED display, thermostat, heating plate, case fan, thermistor. The 3D modeling method is the KOMPAS-3D environment, in which models such as the protective housing of the technical vision system and the bracket for mounting it on site were created. The case is printed from PLA plastic, as it has high hardness and density, as a result of which the likelihood of the case breaking is low. The bracket is made of heat treated steel for high strength and durability. Based on the results of the work performed, the technical vision system was sent for testing and identification of deficiencies to the receiving point of a sugar factory in the Kursk region.*

Keywords: *sugar beet, storage, sugar beet root crop size, machine vision, kagat, modeling.*

Для цитирования: Николюкин Д.А., Петерс В.Е., Попов М.А., Крищенко А.В. Разработка аппаратной части и 3D-моделирование корпуса системы технического зрения для определения параметров корнеплодов сахарной свёклы // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 68, № 2. С. 113-120. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-113-120>.

For citation: Nikolyyukin D., Peters V., Popov M., Kryshchenko A. Hardware development and 3D modeling of the body of the vision system for determining the parameters of sugar beet root crops. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 68(2): 113-120. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-113-120>.

Введение. Техническое зрение – это применение компьютерного зрения для промышленности и производства. Областью интереса технического зрения, как инженерного направления, являются цифровые устройства ввода/вывода и компьютерные сети, предназначенные для контроля производственного оборудования. Техническое зрение является подразделом инженерии, связанным с вычислительной техникой, оптикой, машиностроением и промышленной автоматизацией. Одно из наиболее распространенных приложений технического зрения — инспекции промышленных товаров, таких как полупроводниковые чипы, автомобили, продукты питания и лекарственные препараты. Люди, работавшие на сборочных линиях, осматривали части продукции, делая выводы о качестве исполнения. Техническое зрение используется для контроля объектов, систем безопасности в промышленных условиях, мелкой автоматизации, крупного промышленного производства, контроль качества.

Система технического зрения (СТЗ) – это специальное сенсорное устройство, обеспечивающее обнаружение, автоматический анализ и контроль объектов по их изображениям. СТЗ для этих целей используют цифровые интеллектуальные камеры, а также программное обеспечение, обрабатывающее изображение для выполнения аналогичных проверок [1]. СТЗ включает в себя следующие компоненты и работает по алгоритму: аналоговая или цифровая камера, интерфейс, позволяющий обработать изображения, контроллер, программное обеспечение, источники освещения, датчик синхронизации, приводы.

Датчик синхронизации определяет исследуемый объект в рабочей области камеры и запускает её для совершения снимка. При необходимости, съёмка синхронизируется с импульсом освещения, для получения более чёткого снимка. Изображение с камеры попадает в захватчик кадров – устройство оцифровки, преобразующее выходные данные в цифровой формат. Программное обеспечение, установленное на контроллере, обрабатывает изображение и получает

необходимые параметры. На основании полученных параметров, программное обеспечение подаёт сигнал на задуманное разработчиком действие.

Материалы и методы. Для лучшего понимания поставленной задачи рассмотрим процесс распределения сахарной свёклы на заводе ООО «Промсахар» Курской области. Сырьё поступает на свёклоперерабатывающий завод с полей в большегрузных автомашинах. На территории завода автомашина доставляет сырьё на приёмный пункт, где заводской персонал производит визуальный оценку загрязнённости, засоренности, крупности сырья. После анализа, автомашина отправляется на выгрузку сырья либо в оперативные кагаты, либо в кагаты длительного вентилируемого хранения (ДВХ). Оперативные кагаты используются для своевременной сырьевой подпитки завода. ДВХ кагаты используются в качестве резерва и состоят преимущественно из крупной сахарной свёклы. Попадание в ДВХ кагаты партий мелкой сахарной свёклы приводит к значительному сокращению хранения (с полутора месяцев до двух недель). Это связано с тем, что скопления мелкой сахарной свёклы в ДВХ кагатах образуют участки повышенной плотности, которые плохо вентилируются. В связи с этим, эти участки создают зоны самосогревания, что приводит к повышению влажности этих зон и кагата в целом. Использование системы технического зрения исключит влияние человеческого фактора (усталость, невнимательность, торопливость) на анализ сырья, улучшит процесс распределения сырья по типам кагатов за счёт применения вычислительной техники и нейронных сетей.

Результаты и их обсуждение. Интеллектуальная система технического зрения по определению параметров насыпи сахарной свёклы в кузове большегрузных автомашин при распределении по типам кагатов на приёмном пункте включает в себя микроконтроллер, дальномер, источники освещения, RGB камеру.

Для разработки структурной схемы и моделирования корпуса, необходимо выбрать оборудование для системы технического зрения. Определим специфику работы контроллера. К контроллеру будут подключены промышленная камера, датчик расстояния, источник освещения. Программное обеспечение задействует до трёх гигабайт оперативной памяти. Поэтому, в системе используется микрокомпьютер Raspberry Pi 4 model B.

Определим тип дальномера, подходящий для решения следующих задач. В системе технического зрения дальномер имеет две задачи – определять объект измерения в зоне действия СТЗ и измерять расстояние до насыпи сахарной свёклы. Рассмотрим два типа дальномеров – лазерный и ультразвуковой [2]. Ультразвуковой дальномер не подходит, так как его погрешность измерения достигает нескольких сантиметров, что негативно отразится на измеренном расстоянии. Также ультразвуковой дальномер нестабилен в плохую погоду (ветер, дождь, снег). В свою очередь, лазерный датчик расстояния имеет погрешность измерения от 0,5 до 1 мм, что не существенно повлияет на измеренное расстояние. Лазерный дальномер стабильнее работает в непогоду, на измеренное расстояние могут повлиять только капли дождя. Таким образом, выберем лазерный тип дальномера. Выберем лазерный датчик расстояния LDB6 X6N3. В комплекте с датчиком находится преобразователь USB-UART RS232 FTDI.

Фактором, влияющим на степень достоверности анализа машинного зрения, является уровень освещённости насыпи свёклы. В течение рабочей смены естественное освещение не стабильно, что может приводить к искажению результатов. Для снижения влияния данного фактора в СТЗ предусмотрено искусственное освещение. Оно состоит из одного или нескольких прожекторов. Определим тип прожектора [3]. К распространённым типам прожекторов относятся: галогенные, натриевые и светодиодные.

Выберем светодиодный прожектор, который является более надёжным, производительным и универсальным в сравнении с другими типами прожекторов.

Определим технические характеристики прожектора. Высота расположения прожектора над землёй составляет 8 метров. В момент съёмки сырья в кузове большегруза, расстояние от прожектора до кузова составляет от 3 до 4 метров. Площадь, которую должен осветить прожектор составляет 20 квадратных метров, при этом уровень освещённости должен входить в интервал от 100 до 300 Лк. Для освещения всей насыпи в кузове автомашины угол рассеивания прожектора должен равняться от 100 до 130°. Прожектор должен иметь защиту от влаги и пыли, что

соответствует классу IP65. В таблице 1 приведено соотношение мощности, освещенности и расстояния для светодиодного прожектора.

Таблица 1 – Соотношение мощности, освещенности и расстояния для светодиодного прожектора [4]

Мощность прожектора, Вт	Световой поток, Лм	Высота расположения, м
10	900	2,5
20	1500	3
30	2500	4
50	4500	6
100	9000	14
120	10800	15,5
150	13500	18

Выберем прожектор мощностью 50 Вт фирмы Gauss. Рассчитаем для него уровень освещенности по формуле [5]

$$L = J/S,$$

где L – уровень освещенности, Лк;

J – световой поток, Лм;

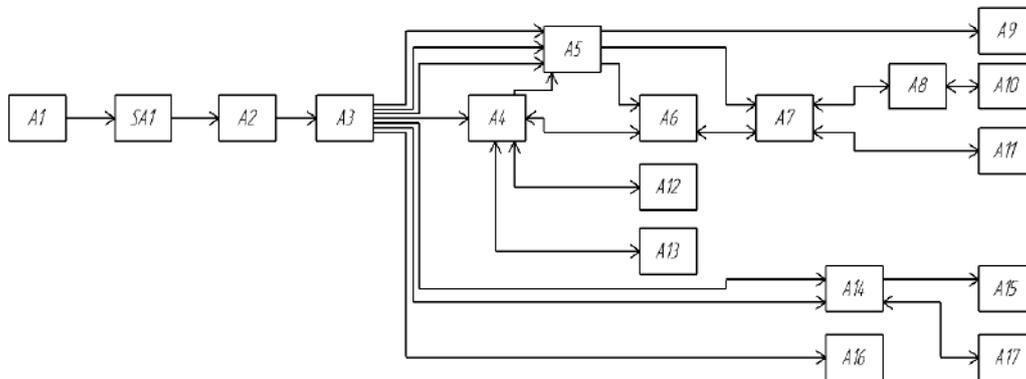
S – площадь освещаемой поверхности, м².

Получим уровень освещенности для выбранного прожектора, равный 175 Лк.

В разрабатываемой системе технического зрения светодиодный прожектор включается во время съёмки кузова большегруза, в остальное время он отключен. В связи с этим, для возможности управления состоянием прожектора (включен/выключен), используем одноканальный модуль-реле SONGLE SRD-05VDC [6].

Определим требования к характеристикам камеры. Для корректного программного анализа, снимки насыпей сахарной свёклы создаются в высоком разрешении. Сырьё в кузовах автомашин лежит неравномерно, поэтому, во избежание расфокусировки, камера имеет возможность ручного регулирования фокусного расстояния. Камера имеет поддержку операционной системы Linux и поддержку компьютера Raspberry Pi. Для возможности непосредственного подключения камеры к контроллеру, она обладает интерфейсом USB3.0. Осуществление бесперебойной работы при температуре от минус 15 до плюс 30 °С. Исходя из обозначенных критериев, рассмотрим камеру Sony IMX179 Industrial USB 8mp с 5-50 мм варифокальным объективом CS. Эта камера имеет датчик IMX179, 8 мегапикселей для четкого изображения и точной цветопередачи. Максимальное разрешение камеры – 3264×2448. Камера имеет совместимость с Linux и Raspberry Pi, поддерживает протокол OTG. В комплекте с ней находится объектив с переменным фокусным расстоянием 5-50 мм. Данный объектив имеет ручную настройку фокусировки и диафрагмы.

Для исключения затухания USB-сигналов с камеры и дальномера в системе технического зрения, используем USB-разветвитель с активным питанием TP-LINK UH700. Для данных комплектующих в системе технического зрения разработана структурная схема, представленная на рисунке 1.



A1 – блок питания 24 В; SA1 – тумблер двухпозиционный;
A2 – блок DC-DC преобразователей; A3 – блок предохранителей; A4 – контроллер;
A5 – модуль-реле восьмиканальный; A6 – модуль гальванической развязки;
A7 – USB-разветвитель с активным питанием; A8 – преобразователь USB-UART;
A9 – прожектор 50 Вт; A10 – лазерный датчик расстояния; A11 – камера промышленная; A12 – USB-модем; A13 – светодиодное табло; A14 – терморегулятор; A15 – нагревательная пластина;
A16 – вентилятор для корпуса; A17 – термистор

Рисунок 1 – Структурная схема системы технического зрения

Контроллер A4 посылает команду для периодического проведения замеров расстояния дальномером A10. В случае обнаружения большегрузной автомашины, измеряемое расстояние сокращается, микроконтроллер замыкает модуль-реле A5 для включения прожектора A9, после чего происходит фотосъемка поверхности насыпи в кузове камерой A11. На основании полученной информации происходит обработка данных и определение принадлежности исследуемого сырья (сахарной свёклы) к одному из нескольких классов («Преобладает крупная сахарная свёкла», «Преобладает мелкая сахарная свёкла»). Обработанные данные поступают на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. После определения параметров сырья в кузове, на светодиодном табло A13 появляется надпись, о рекомендации отправить партию сырья «В ПЕРЕРАБОТКУ», если партия сахарной свёклы мелкая, или на «ХРАНЕНИЕ», если партия сахарной свёклы крупная.

Также, для системы технического зрения была разработана 3D-модель защитного корпуса, представленная на рисунке 2. Все 3D-модели элементов корпуса сделаны в программе КОМПАС 3D.

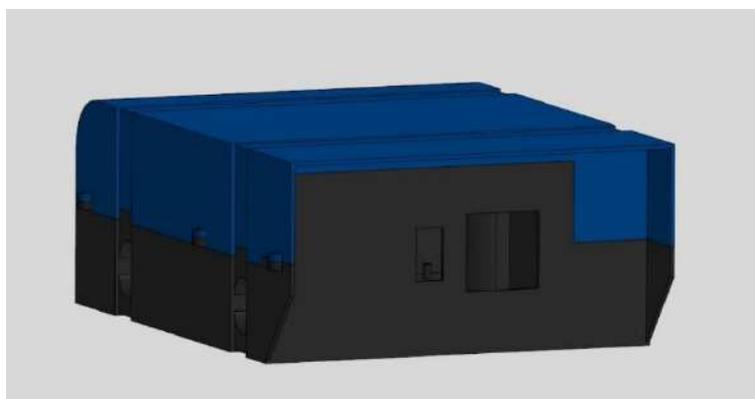


Рисунок 2 – 3D-модель защитного корпуса системы технического зрения

Корпус распечатан на 3D принтере из PLA пластика. Это связано с тем, что PLA пластик является самым твёрдым и плотным. Изделия, напечатанные из PLA пластика обладают высокой прочностью и оказывают стойкое сопротивление в попытке их согнуть и деформировать.

Для данного корпуса смоделирован кронштейн, представленный на рисунке 3, через который система будет прикрепляться на приёмный пункт сахарного завода.

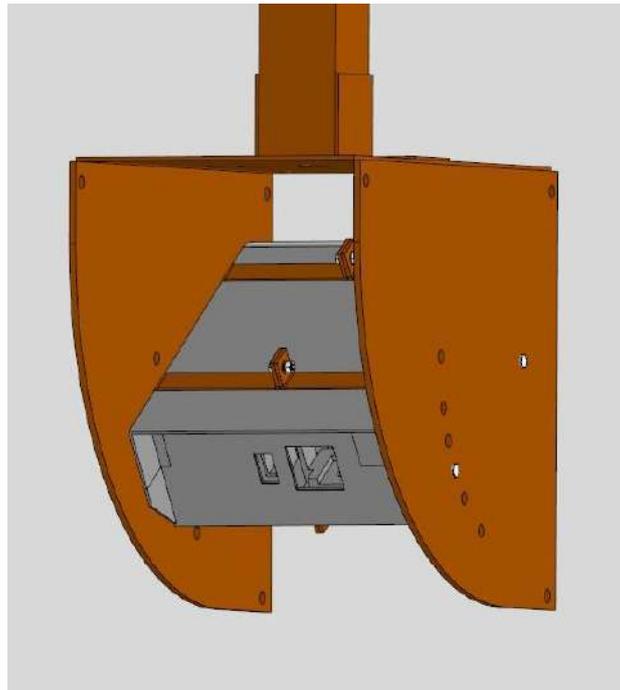


Рисунок 3 – Система технического зрения с кронштейном

Кронштейн сделан из стали. Она обеспечивает прочность, устойчивость к механическим воздействиям и долговечность. Кроме того, для увеличения её прочностных свойств сталь была подвергнута термической обработке.

Защитный корпус в лаборатории и его содержание представлено на рисунке 4.

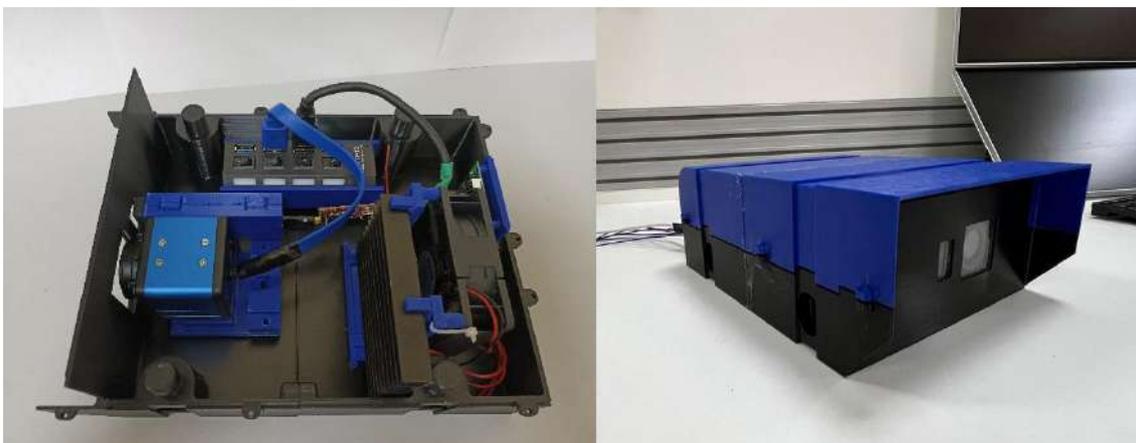


Рисунок 4 – Защитный корпус системы технического зрения

Созданная система технического зрения была отправлена на испытания на приёмный пункт сахарного завода в Курской области. Система отработала 2 месяца и успешно была возвращена на доработку.



Рисунок 5 – Защитный корпус системы технического зрения на приёмном пункте сахарного завода

Заключение. В результате проведённой работы был сделан и обоснован выбор оборудования для системы технического зрения. Была разработана аппаратная часть системы технического зрения и смоделированы защитный корпус и кронштейн, а также проведены испытания системы технического зрения. Делая выводы, данное решение будет практически для использования на приёмных пунктах сахарных заводов и способствует снижению рисков потери качества сахарной свёклы в период хранения.

Список источников

1. Сырякин, В.И. Системы технического зрения / В.И. Сырякин, В.С. Титов // РАСКО. 1992. – 370 с.
2. Дальномеры: нюансы выбора между ультразвуковым и лазерным [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.metronx.ru/articles/dalnomery-nyuansy-vybora-mezhdu-ultrazvukovym-i-lazernym/>, свободный (дата обращения 27.01.2024).
3. Полный обзор всех типов прожекторов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ksosvet.ru/blog/vidy-prozhektorov-i-v-chem-ih-otlichie-ot-obychnyh-svetilnik/>, свободный (дата обращения 28.01.2024).
4. Правильный выбор светодиодного прожектора [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://svetoprof.ru/blog/pravilnyy_vybor_svetodiodnogo_prozhektora/, свободный (дата обращения 28.01.2024).
5. Гоман, В.В. Проектирование и расчёт систем искусственного освещения. Уч. пособие / В.В. Гоман, Ф.Е. Тарасов – Екатеринбург: УрФу, 2013 – 76 с.
6. Релейный модуль 1 канал 5v схема [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://remnabor.net/releyniy-modul-1-kanal-5v-shema/>, свободный (дата обращения 28.01.2024).

References

1. Syryamkin, V.I. Systems of technical vision / V.I. Syryamkin, V.S. Titov // RASKO. 1992. – 370 p.
2. Rangefinders: the nuances of choosing between ultrasonic and laser [Electronic resource]. Access mode: <https://www.metronx.ru/articles/dalnomery-nyuansy-vybora-mezhdu-ultrazvukovym-i-lazernym/>, free (accessed 01/27/2024).
3. A complete overview of all types of searchlights [Electronic resource]. Access mode: <https://ksosvet.ru/blog/vidy-prozhektorov-i-v-chem-ih-otliche-ot-obychnyh-svetilnik/>, free (accessed 28.01.2024).
4. The right choice of LED floodlight [Electronic resource]. Access mode: https://svetoprof.ru/blog/pravilnyy_vybor_svetodiodnogo_prozhektora/, free (accessed 28.01.2024).
5. Homan, V.V. Design and calculation of artificial lighting systems. Textbook / V.V. Homan, F.E. Tarasov – Yekaterinburg: UrFU, 2013 – 76 p.
6. Relay module 1 channel 5v circuit [Electronic resource]. Access mode: <https://remnabor.net/releyniy-modul-1-kanal-5v-shema/>, free (accessed 28.01.2024).

Информация об авторах

Д.А. Николюкин – младший научный сотрудник; В.Е. Петерс – младший научный сотрудник; М.А. Попов – младший научный сотрудник; А.В. Крищенко – инженер.

Information about the authors

D. Nikolyukin – junior researcher; V. Peters – junior researcher; M. Popov – junior researcher; A. Krischenko – engineer.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 26.02.2024 Принята к публикации (Accepted): 23.04.2024