



УСТРОЙСТВО И АЛГОРИТМЫ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ ФАСЕТОЧНЫХ ГЛАЗ

В статье обсуждаются задачи первичной обработки видеоинформации для систем бинокулярного машинного зрения на основе искусственных фасеточных глаз.

Проводится оценка необходимых вычислительных ресурсов для обработки потока видеоинформации в режиме реального времени.

Предлагается вариант реализации устройства на базе программируемой логической интегральной схемы и алгоритмы обработки информации в таком устройстве.

По результатам макетирования устройства и полученным экспериментальным данным ставятся задачи разработки алгоритмов определения границ движущихся объектов.

Ключевые слова: алгоритмы первичной обработки видеоинформации, искусственный фасеточный глаз, программируемая логическая интегральная схема, бинокулярное машинное зрение.

DEVICE AND ALGORITHMS FOR PRIMARY PROCESSING OF VIDEO INFORMATION FOR A MACHINE VISION SYSTEM BASED ON ARTIFICIAL COMPOUND EYES

The article discusses the tasks of primary processing of video information for binocular machine vision systems based on artificial compound eyes.

The assessment of the necessary computing resources for processing the stream of video information in real time is carried out.

A variant of implementing a device based on a programmable logic integrated circuit and algorithms for processing information in such a device is proposed.

Based on the results of the device layout and the experimental data obtained, the tasks of developing algorithms for determining the boundaries of moving objects are set.

Keywords: *algorithms of primary processing of video information, artificial compound eye, FPGA, binocular machine vision.*

Введение

Системы машинного зрения находят широкое применение в различных областях, в том числе обеспечения контроля и безопасности различных объектов. В качестве сенсоров в таких системах используются, как правило, видеокамеры высокого разрешения. Их основным недостатком является относительно узкий угол обзора. Поэтому в последнее время уделяется достаточно большое внимание сенсорам, построенным по принципу фасеточного глаза насекомых. Преимуществами системы машинного зрения на основе искусственных фасеточных глаз в сравнении со стандартными видеокамерами являются широкий угол обзора, компактная структура и чувствительность к движущимся объектам. В [1] приводится обзор возможных вариантов реализации искусственного фасеточного глаза, рассмотрены достоинства и недостатки каждого из вариантов. Выделяется 4 основных подхода к реализации фасеточного глаза:

1. Плоская ПЗС матрица со стандартной линзой.

2. Плоская ПЗС матрица с изогнутой линзой.

3. Изогнутая ПЗС матрица с изогнутыми линзами.

4. Многокамерная матрица.

Первый вариант соответствует стандартной видеокамере с относительно узким углом обзора. Второй и третий варианты являются сложными с точки зрения реализации оптической системы и нестандартных ПЗС матриц. Наиболее доступным в плане практической реализации вариантом является искусственный фасеточный глаз на основе нескольких видеокамер на плоских ПЗС матрицах. Однако в этом случае возникают проблемы, связанные с необходимостью обработки большого потока видеоинформации, поступающего от нескольких камер.

В настоящей статье рассмотрены алгоритмы первичной обработки видеоинформации для системы машинного зрения на основе многокамерных искусственных фасеточных глаз.

Обобщенная структурная схема интел-

лектуальной системы бинокулярного машинного зрения фасеточного типа приведена на рис. 1.

Основными структурными элементами системы являются: оптический модуль, аппаратно-программный контроллер и нейросеть.

Оптический модуль состоит из двух блоков многокамерных фасеточных глаз. Поток данных об изображении с ПЗС-матриц передается в аппаратно-программный контроллер на базе ПЛИС, где выполняется первичная обработка информации – разделение на отдельные сектора (омматидии). Полученные в результате данные по всем омматидиям поступают в две нейросети прямого распространения, которые решают задачу определения координат объекта в виде направления и дальности до объекта [2].

Задачи первичной обработки видеоинформации и оценка требуемых вычислительных ресурсов

В задачи первичной обработки информации входит:

- прием потока данных от ПЗС матриц, входящих в состав сенсора;

- формирование информации о яркости в отдельных фасетках (омматидиях) и сохранение в промежуточную буферную память;
- обработка двух соседних информационных кадров с целью обнаружения движущихся объектов.

Для оценки требуемой пропускной способности устройства приема информации от ПЗС-матриц были проведены расчеты на примере датчика изображения типа OV2640 (производства «OmniVision») Основные характеристики датчика:

- выходной информационный поток в формате RGB565/555 или YUV(422/420)/YCbCr422);
- разрешение: UXGA (1600x1200 пикселей), SVGA (800x600 пикселей), CIF (400x296 пикселей);
- частота кадров: при UXGA-разрешении – 15 кадров в секунду, при SVGA-разрешении – 30 кадров в секунду, при CIF-разрешении – 60 кадров в секунду;
- максимальная частота синхронизации 36 МГц.

Временные диаграммы передачи информации приведены на рис. 2.

Интеллектуальная автономная система бинокулярного машинного зрения



Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы машинного зрения на основе искусственных фасеточных глаз

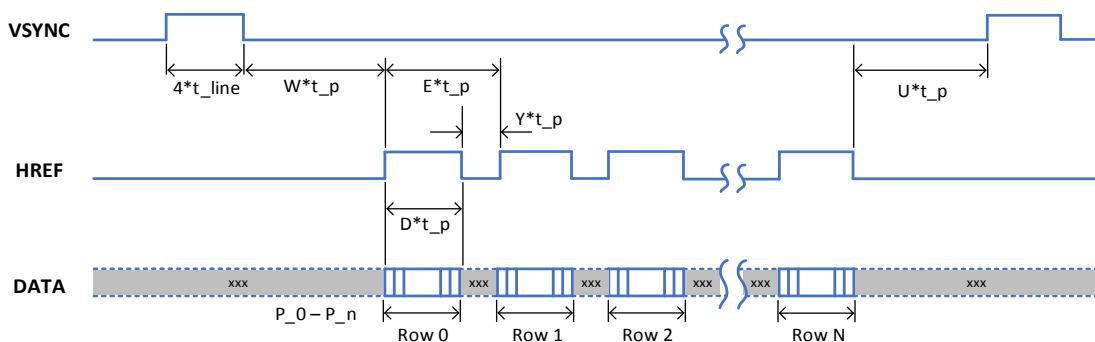


Рис. 2. Временные диаграммы синхронизации кадров

Назначение сигналов:

- VSYNC – сигнал кадровой синхронизации, указывает, на окончание текущего кадра (информация по всем пикселям изображения передана);
- HREF – строчная синхронизация, спад HREF свидетельствует об окончании передачи информации одной строки;

– D0-D7 – шина данных.

Параметр t_{line} рассчитывается по следующей формуле: $t_{line} = E * t_p$. При дальнейших расчетах учтем, что время t_p берется минимально возможным, равным 27,78 нс (для максимальной частоты синхронизации 36 МГц).

В таблице 1 приведены временные пара-

Временные параметры синхронизации кадров

Разрешение	Параметр							
	W	E	Y	U	D	t_line, нс	P_n	Row N
UXGA	27193	1922	322	57697,0	1600	53393,16	1599	1199
SVGA	7415	1190	390	73895,0	800	33058,20	799	599
CIF	3707	595	195	17907,5	400	16529,10	399	295

метры под каждое возможное разрешение матрицы.

Общее время, затраченное на передачу одного кадра (T), рассчитывается по следующей формуле:

$$T = 4 * t_{line} + t_p * (W + E * (Row_N + 1) + U)$$

Таким образом:

– с разрешением UXGA 1 кадр передается за 0,066644 секунды, следовательно, 15 кадров передаются за 0,9997 секунды;

– с разрешением SVGA 1 кадр передается за 0,022226 секунды, следовательно, 30 кадров передаются за 0,667 секунды;

– с разрешением CIF 1 кадр передается за 0,005559 секунды, следовательно, 60 кадров передаются за 0,334 секунды.

Максимальную пропускную способность, необходимую для обеспечения приема видеoinформации, рассчитаем по следующей формуле:

$$BW = Row * Col * C * Nc,$$

где Row – количество строк в изображении, Col – количество столбцов в изображении, – количество бит, которые кодируют один пиксель, C – количество кадров в секунду.

В табл. 2 приведена рассчитанная пропускная способность для разного разрешения, при этом цвет каждого пикселя кодируют 16 бит информации.

Алгоритмы первичной обработки потока видеoinформации

В рассматриваемом варианте системы ма-

Таблица 2

Максимальная пропускная способность

Разрешение	Количество кадров	Информационный поток, Мбит/с
UXGA (1600x1200)	15	460,8
SVGA (800x600)	30	230,4
CIF (400x296)	60	113,7

шинного зрения определение координат движущихся объектов основано на использовании двумерной модели [2]. Для формирования яркостной информации в каждой фасетке (омматидии) пиксели ПЗС матрицы группируются в отдельные сектора. Сканирование пикселей происходит так, как показано на рис. 3.

Яркость каждого из омматидиев рассчитывается по следующей формуле:

$$Iom_k = \sum_{j=L}^R Ipixel_{i,j},$$

где Iom_k – яркость k-го омматидия, $Ipixel_{i,j}$ – яркость текущего пикселя изображения, L и R – номера левой и правой границ омматидия.

Схема, реализующая алгоритм формирования яркостной информации в отдельном омматидии приведена на рис. 4.

Объем памяти, требуемый для хранения одного преобразованного кадра, можно рассчитать по следующей формуле:

$$M = \left\lceil \log_2 \left(Cd * Row * \frac{Col}{N_{ommi}} \right) \right\rceil * N_{ommi},$$

где Cd – глубина цвета пикселя, Row – количество строк в изображении, Col – количество столбцов в изображении, N_{ommi} – количество омматидий.

Для примера с количеством строк изображения – 600, количеством столбцов изображения – 800, количеством омматидиев – 200 и глубиной цвета пикселей 255, необходимый объем памяти составляет 4000 бит. Таким образом, для хранения одного кадра, пришедших одновременно с двух камер, необходимо 7,82 Кбит памяти. Для сравнения, для хранения исходного кадра при данном разрешении необходимо примерно 469 Кб.

На рис. 5 приведен результат деления изображения на отдельные омматидии в системе, состоящей из двух камер.

В традиционных системах видеонаблюдения для обнаружения движения объектов в

кадре широко используется метод вычитания фона [3,4]. Одним из алгоритмов реализации такого метода является вычисление разности

соседних кадров изображения. Такой подход может быть применен для обнаружения движения объектов в системе машинного зрения

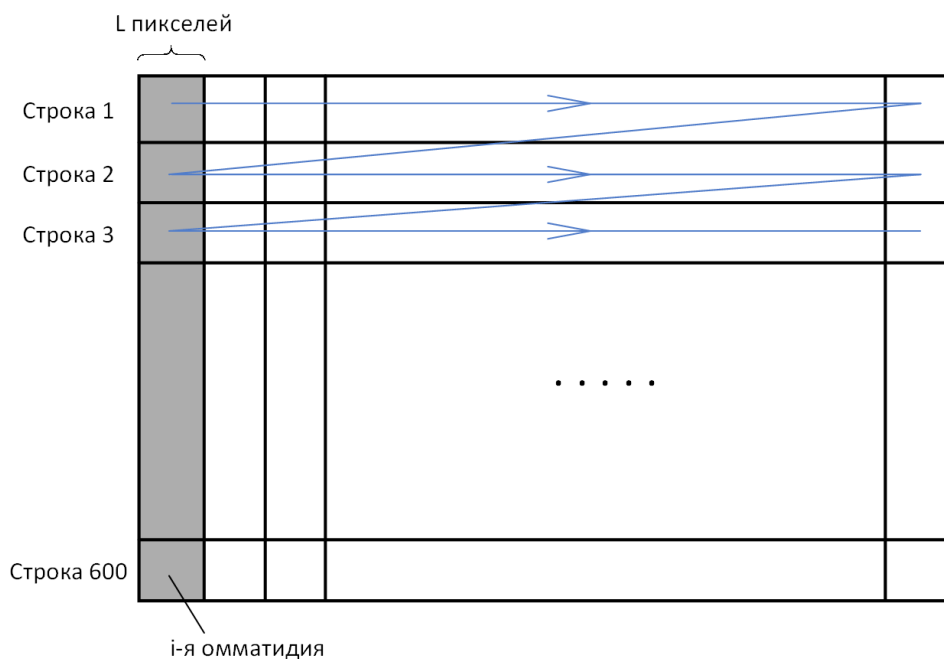


Рис. 3. Сканирование пикселей и формирование омматиций

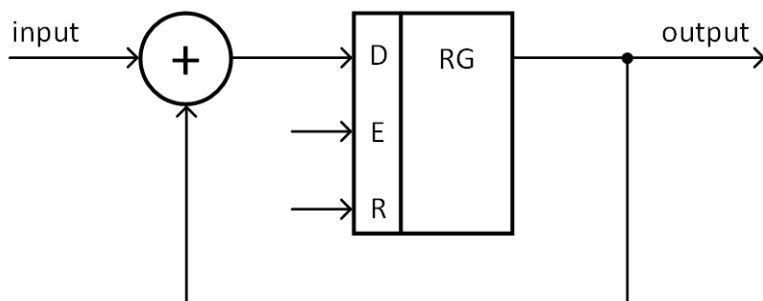


Рис. 4. Алгоритм первичной обработки информации в отдельной омматиции

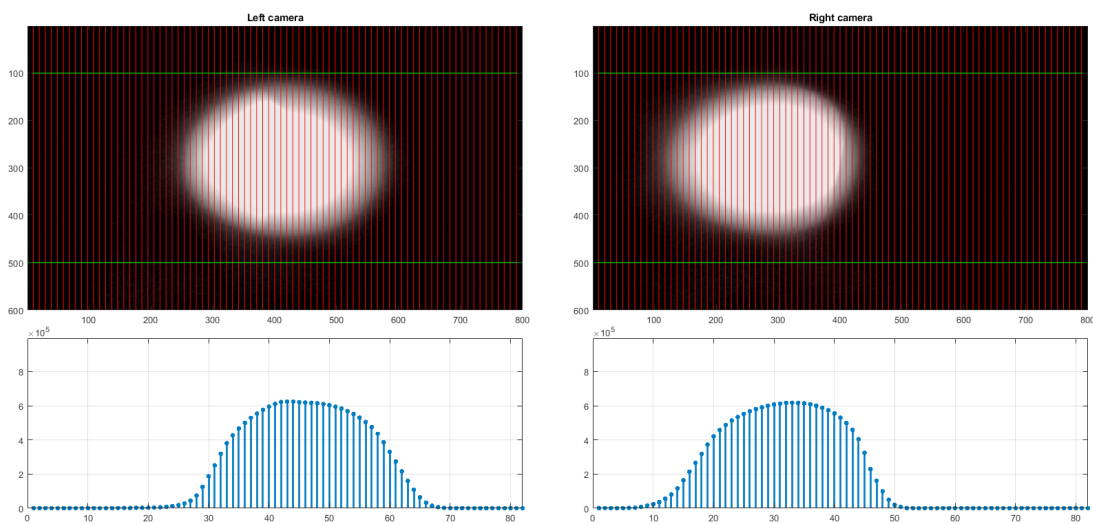


Рис. 5. Результат первичной обработки информации в омматициях

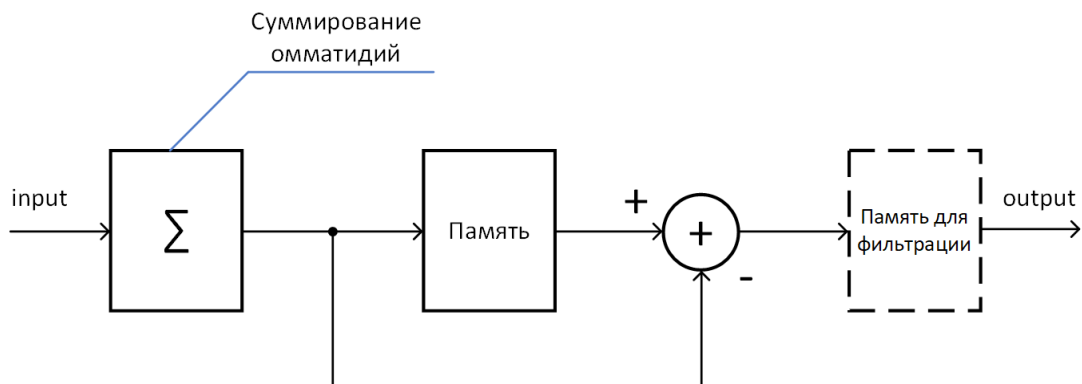


Рис. 6. Алгоритм разностной обработки яркостной информации в омматидах

на основе искусственных фасеточных глаз. На рис. 6 показан алгоритм получения разностной информации о яркости в соседних кадрах изображения для отдельных омматидиев.

Результаты эксперимента

Для проведения экспериментов был создан макетный образец аппаратно-программного контроллера системы бинокулярного машинного зрения. Основой контроллера является программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) семейства CycloneV

(ф. Intel). В качестве датчиков изображения применялись модули на основе ПЗС матриц OV2640 с объективами. Визуализация результатов проводилась на ПЭВМ. Системе демонстрировались движущиеся объекты различной формы, выводимые на широкоформатный дисплей. Результаты работы алгоритмов первичной обработки информации, включая вычисление разности яркости в омматидах для соседних кадров изображения, приведены на рис. 7.

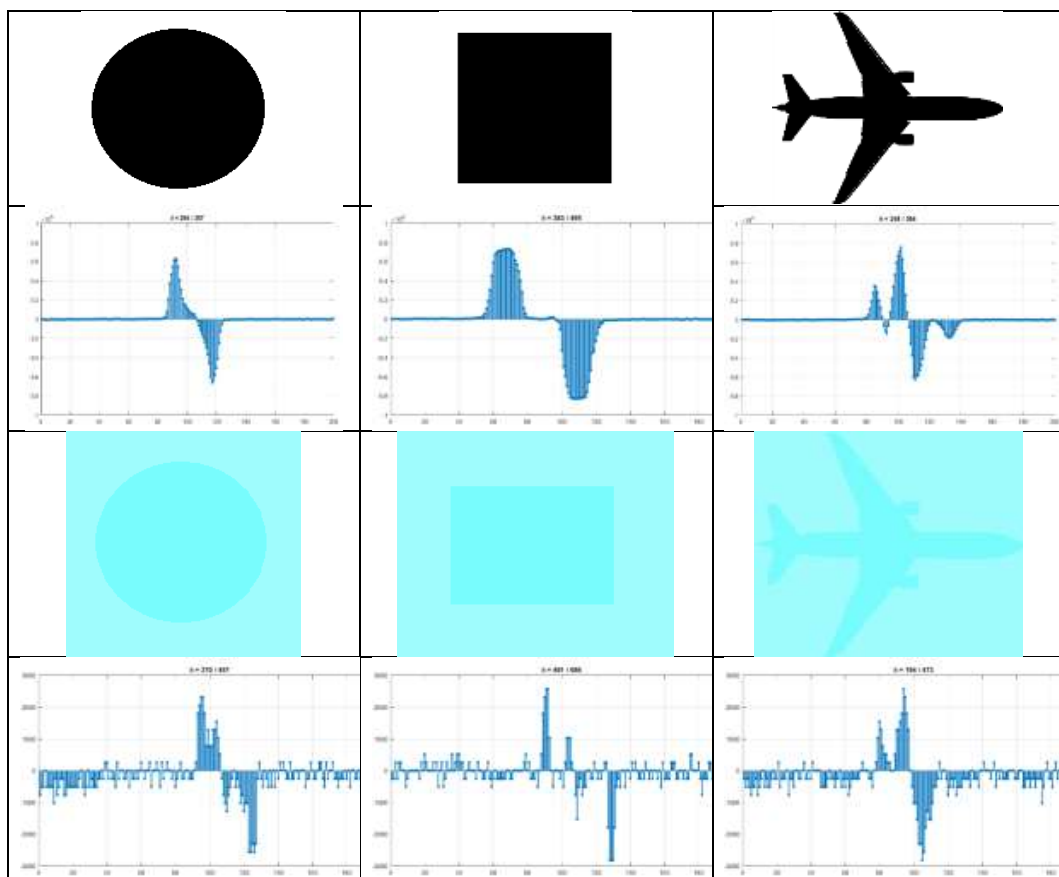


Рис. 7. Результаты первичной обработки видеоинформации

Анализ полученных результатов показывает, что вычисление разности яркостной информации по отдельным омматидиям позволяет обнаружить границы движущихся объектов, и направление их движения. Наиболее благоприятными условиями для работы алгоритма является простая форма объекта, его равномерное освещение (затенение) и контрастность на общем фоне. В случае малоконтрастных объектов, а также объектов сложной формы требуется дополнительная обработка полученной информации. Одним из мощных инструментов для такой обработки может послужить вейвлет-анализ [5].

Заключение

Алгоритмы первичной обработки видеoinформации для системы бинокулярного ма-

шинного зрения на основе искусственных фасеточных глаз позволяют выделить движущийся объект на общем фоне изображения. Обработка информации от датчиков изображения в режиме реального времени дает существенную экономию памяти, требуемой для хранения промежуточных результатов обработки видеoinформации.

Важным условием корректной работы нейросетей, определяющих координаты движущихся объектов, является точное определение их границ. Поэтому требуется разработка алгоритмов фильтрации информации, полученной в результате первичной обработки изображения.

Литература

1. Yang Cheng, Jie Cao, Yangkun Zhang, Qun Hao. Review of state-of-the-art artificial compound eye imaging systems // *Bioinspiration & Biomimetics*. 2019. Volume 14. № 3.
2. Starkov A. E., Sokolinsky L. B. Building 2D Model of Compound Eye Vision for Machine Learning // *Mathematics*. 2022. № 2 (10).
3. Баймухаметова А.И. Методы вычитания фона для обнаружения объекта в видеопотоке // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2022. №7-1.
4. Берников В.В. Преображенский А.П. Чопоров О.Н. Анализ алгоритмов обнаружения движущихся объектов на видеоизображении. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013;1(1).
5. Безуглов Д.А., Кузин А.П., Швидченко С.А. Алгоритмические методы вейвлет-анализа изображений в условиях априорной неопределенности на случайном фоне // *Научное обозрение. Технические науки*. – 2015. – № 1. – С. 71-72.

References

1. Yang Cheng, Jie Cao, Yangkun Zhang, Qun Hao. Review of state-of-the-art artificial compound eye imaging systems // *Bioinspiration & Biomimetics*. 2019. Volume 14. № 3.
2. Starkov A. E., Sokolinsky L. B. Building 2D Model of Compound Eye Vision for Machine Learning // *Mathematics*. 2022. № 2 (10).
3. Baymukhametova A.I. Metody vychitaniya fona dlya obnaruzheniya obyektov v videopotoke // *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2022. №7-1.
4. Bernikov V.V. Preobrazhenskiy A.P. Choporov O.N. Analiz algoritmov obnaruzheniya dvizhushchikhsya obyektov na videoizobrazhenii. Modelirovaniye. optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii. 2013;1(1).
5. Bezuglov D.A., Kuzin A.P., Shvidchenko S.A. Algoritmicheskiye metody veyvlet-analiza izobrazheniy v usloviyakh apriornoy neopredelennosti na sluchaynom fone // *Nauchnoye obozreniye. Tekhnicheskiye nauki*. – 2015. – № 1. – S. 71-72.

ПОРТНОВ Андрей Владимирович, аспирант федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». 454080, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д. 76. E-mail: portnovav@susu.ru

PORTNOV Andrey Vladimirovich, post-graduate student of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University (National Research University)". 454080, Chelyabinsk, st. Lenina, 76. E-mail: portnovav@susu.ru

НИКОЛАЕВ Андрей Николаевич, доцент федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». 454080, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д. 76. E-mail: nikolaevan@susu.ru

NIKOLAEV Andrey Nikolaevich, docent of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University (National Research University)". 454080, Chelyabinsk, st. Lenina, 76. E-mail: nikolaevan@susu.ru

НИКОЛАЕВА Алиса Робертовна, инженер федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)». 454080, г. Челябинск, просп. В.И. Ленина, д. 76. E-mail: nikolaevaar@susu.ru

NIKOLAEVA Alisa Robertovna, engineer of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University (National Research University)". 454080, Chelyabinsk, st. Lenina, 76. E-mail: nikolaevaar@susu.ru