

**На правах рукописи**



**Лысенко Ян Александрович**

**МОДЕЛЬ, МЕТОД И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО  
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ИНДИКАТОРОВ ПАНЕЛИ  
ПРИБОРОВ**

**Специальность 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и  
систем управления**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Курск 2019**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Юго-Западный государственный университет» на кафедре «Информационные системы и технологии».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Дегтярев Сергей Викторович

Официальные оппоненты: Жизняков Аркадий Львович  
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой  
программной инженерии Муромского института  
(филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский  
государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая  
Григорьевича Столетовых», г. Муром

Дрюченко Михаил Анатольевич  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
технологий обработки и защиты информации  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
университет», г. Воронеж

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород

Защита диссертации состоится «25» июня 2019 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.105.02 при Юго-Западном государственном университете по адресу: г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета и на сайте <https://swsu.ru/>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.105.02  
кандидат технических наук, доцент



Титенко Е. А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Современные специализированные устройства вычислительной техники (ВТ) для обработки изображений находят широкое применение при вычислении показаний индикаторов электронных панелей приборов, примерами которых являются авиационные приборы, медицинские панели индикации, автомобильные комбинации приборов, содержащие стрелочные, жидкокристаллические и световые индикаторы. Увеличение количества индицируемых изображений, в том числе динамических, совмещение различных типов отображаемых изображений, большое количество индикаторов современных панелей приборов при относительно постоянной площади их размещения приводят к увеличению времени, затрачиваемого на вычисление параметров их технического состояния.

Современный этап развития устройств обработки изображений индикаторов панелей приборов, известный из работ Д.Б. Волегова, С.К. Киселева, Д.В. Юрина, F. Corrêa Alegria, A. Cruz Serra, Björn Hemming, R. Sablatnig, Esteban Vazquez-Fernandez и других отечественных и зарубежных ученых, характеризуется разработкой методов и устройств вычисления показаний отдельных средств индикации с использованием алгоритмов распознавания изображений. Результаты данных исследований направлены на решение задач обработки изображения единственного индикатора и не учитывают взаимосвязь отображаемых данных в современных панелях приборов. Известные устройства не позволяют производить обработку изображений нескольких индикаторов одновременно, а характеризуются применением метода последовательной обработки изображений и определения показаний индикаторов по их типам, что обеспечивает недостаточное быстродействие специализированных устройств ВТ при анализе наборов тестовых изображений. Указанный недостаток возможно устранить применением параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов.

Таким образом имеет место **противоречие** между требуемым быстродействием устройств обработки изображений индикаторов панелей приборов и ограниченными возможностями существующих аппаратно-программных средств.

Разрешение этого противоречия определяет следующую **актуальную научно-техническую задачу**: разработка модели, метода, алгоритмов и оптико-электронного устройства параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов, обеспечивающих сокращение времени вычислений.

**Целью диссертационной работы** является сокращение времени обработки изображений индикаторов панели приборов путем осуществления параллельного вычисления показаний индикаторов.

В соответствии с поставленной целью научно-техническая задача работы декомпозирована на следующие **частные задачи**:

1. Анализ существующих методов и устройств обработки изображений индикаторов панелей приборов с целью обоснования направления исследования.
2. Синтез математической модели процесса обработки изображений индикаторов панелей приборов.
3. Создание метода определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов.
4. Разработка аппаратно-ориентированных алгоритмов обработки изображений стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов.
5. Разработка структурно-функциональной схемы оптико-электронного устройства обработки изображений индикаторов панели приборов и экспериментальное определение его быстродействия.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач в работе применялись методы теории распознавания образов и анализа изображений, методы математического моделирования, теория автоматического управления, теория проектирования ЭВМ, методы цифровой обработки сигналов и изображений, теория расписаний, математического и схематехнического моделирования. При разработке программного обеспечения использовались среды Borland C++ Builder, Microsoft Visual Studio.

**Научная новизна результатов работы и основные положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель процесса обработки изображений индикаторов панели приборов, включающая модели обработки изображений стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов, использующая билинейную интерполяцию, особенностью которой является учет возможности одновременного анализа разнородной информации, получаемой с индикаторов панели приборов, позволяющая сократить время обработки за счет осуществления параллельных вычислений в каждой модели.

2. Метод определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов, отличающийся использованием предварительного расчета расписания и вычислением последовательности генерации тестовых сигналов, позволяющий учесть возможность одновременного формирования изображений индикаторов, определить допустимость одновременной обработки изображений двух и более индикаторов, обеспечивающий тем самым параллельную обработку изображений.

3. Структурно-функциональная схема опико-электронного устройства обработки изображений индикаторов панели приборов, новизна которой заключается во введении параллельно функционирующих аппаратных блоков обработки изображений стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов, связей между блоками, позволяющая реализовать устройство с использованием программируемой логической интегральной схемы, и во введении блоков генерации сигналов, функционирующих независимо друг от друга, что позволяет, опираясь на разработанный метод определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов, систематизировать проверку работоспособности панели приборов путем аппаратного комбинирования взаимосвязанных тестов и параллельной обработки индицируемых изображений.

**Объект исследования** – вычислительные процессы и устройство обработки изображений индикаторов панели приборов.

**Предмет исследования** – математическая модель, метод и алгоритмы параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов.

**Практическая ценность работы.** Разработанное опико-электронное устройство обеспечивает сокращение общего времени обработки изображений примерно на 48% за счет распараллеливания обработки изображений нескольких индикаторов, характеризуется малой аппаратной сложностью и применимостью в задачах разработки широкого класса опико-электронных устройств параллельной обработки изображений электронных индицирующих устройств, таких как авиационные приборы, медицинские панели индикации, автомобильные комбинации приборов, что обеспечивает широкий спектр областей использования.

**Реализация и внедрение.** Результаты диссертационной работы внедрены в НИИЦ (г. Курск) ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ и в АО «Авиаавтоматика» им. В.В. Тарасова. Теоретические результаты исследования используются в учебном процессе Юго-Западного государственного университета на кафедре «Информационные системы и

технологии» в рамках дисциплины «Цифровая обработка и анализ изображений». Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено соответствующими актами.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Содержание диссертации соответствует п. 3. «Разработка принципиально новых методов анализа и синтеза элементов и устройств вычислительной техники и систем управления с целью улучшения их технических характеристик» паспорта специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы были представлены и получили положительную оценку на 3 международных, всероссийских и региональных конференциях: III региональной заочной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы» (г. Курск, ЮЗГУ, 2015 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Интеллектуальные и информационные системы» (г. Тула, ТулГУ, 2016 г.), XIII Международной научно-практической конференции «Перспективы развития научных исследований в 21 веке» (г. Махачкала, 2017 г.), на научно-технических семинарах кафедры «Информационные системы и технологии» Юго-Западного государственного университета с 2014 по 2019 гг.

**Публикации.** Основные результаты выполненных исследований и разработок опубликованы в 8 научных работах, среди них 4 статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях, 1 патент на полезную модель РФ.

**Личный вклад соискателя.** Все выносимые на защиту научные положения разработаны соискателем лично. В работах по теме диссертации, опубликованных в соавторстве, вклад соискателя состоит в следующем: в [1] разработано теоретико-множественное описание устройства параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов; в [3, 7] разработан алгоритм обработки изображения жидкокристаллического дисплея; в [8] осуществлена программная реализация алгоритма построения расписания; в [2, 5] разработана структурно-функциональная схема устройства.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, приложений и списка литературы, включающего 66 наименований. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста, включая приложения, содержит 30 рисунков, 9 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследований, сформулированы положения, выносимые на защиту, основные результаты, имеющие научную новизну и практическую значимость.

**В первом разделе** проведен анализ методов и устройств обработки изображений индикаторов панелей приборов. В результате анализа установлено, что индицируемые параметры выступают в качестве проверяемых параметров. Для осуществления проверки показаний необходимым требованием является наличие в составе системы оператора или технических средств, предназначенных для выполнения операций оптического считывания и обработки индицируемых параметров.

Анализ существующих методов и устройств обработки показаний выявил основной недостаток известных методов – низкое быстродействие, являющееся следствием применяемых методов, использующих последовательную обработку изображений объекта. Устранение данного недостатка возможно за счет реализации механизма

параллельной одновременной обработки изображений нескольких индицируемых параметров.

Поскольку известные устройства не в полной мере удовлетворяют требованиям современной промышленности, актуальной является разработка оптико-электронного устройства обработки изображений индикаторов панели приборов и реализация в устройстве механизма параллельной обработки изображений нескольких индикаторов, что определяет направление исследования.

**Второй раздел** посвящен разработке математической модели процесса обработки изображений индикаторов панели приборов  $M_{ОППИ}$ :

$$M_{ОППИ} = \langle M_{ОПСми}, M_{ОПЖД}, M_{ОПСви} \rangle,$$

где  $M_{ОПСми}$  - модель обработки изображений стрелочных индикаторов,  $M_{ОПЖД}$  - модель обработки изображения жидкокристаллического дисплея,  $M_{ОПСви}$  - модель обработки изображений световых индикаторов.

Модель  $M_{ОПСми}$  позволяет определить значения показания стрелочного индикатора. Для этого вводится полутоновое изображение  $F^0(i, j)$  стрелочного индикатора, соответствующее начальному показанию. Затем вводится полутоновое изображение  $F^1(i, j)$  стрелочного индикатора, соответствующее текущему его показанию. После этого вычисляется разность

$$R(i, j) := F^1(i, j) - F^0(i, j), \quad (1)$$

причем в процессе вычитания осуществляется формирование двух массивов, один из которых содержит изображение стрелочного указателя  $f^-(i, j)$ , соответствующего начальному показанию, другой – текущему  $f^+(i, j)$ .

Формирование массивов реализуется по следующим правилам:

$$\{f^-(i, j), f^+(i, j)\} = \nabla R(i, j), \quad (2)$$

$$\nabla = \begin{cases} R(i, j) \geq 0, & | R(i, j) \rightarrow f^-(i, j) \\ R(i, j) < 0, & | R(i, j) \rightarrow f^+(i, j) \end{cases}, \quad (3)$$

где  $\nabla$  – оператор, который, учитывая знак разности, производит формирование массивов;  $R(i, j)$  – модуль разности, вычисленный по формуле (1).

Таким образом, в массиве  $f^-(i, j)$  будет находиться только изображение стрелочного указателя в нулевом положении, при этом другая информация исчезает за счет вычитания. Аналогично массив  $f^+(i, j)$  хранит только изображение, соответствующее текущему (после отклонения) положению стрелочного указателя.

Затем формируются бинаризованные изображения  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$ . Для этого каждый элемент  $f^-(i, j)$  и  $f^+(i, j)$  сравнивается с порогами  $T_1$  и  $T_2$ :

$$I^{(*)}(i, j) = \xi \{f^*(i, j)\},$$

$$\xi = \begin{cases} 1, & \text{for } f^*(i, j) > T_1, \\ 0, & \text{for } f^*(i, j) < T_2, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\xi$  – пороговая функция;  $f^*(i, j)$  – элементы массивов.

Значения порогов  $T_1$  и  $T_2$  определяются путем анализа гистограмм распределения числовых значений элементов массивов  $f^-(i, j)$  и  $f^+(i, j)$ . Эта гистограмма имеет двумодальный характер (содержит два локальных максимума). Необходимость выбора

двух порогов обусловлена тем, что в общем случае числовые значения массивов  $f^-(i, j)$  и  $f^+(i, j)$  отличаются.

Далее осуществляется сканирование изображений  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$  по всем пикселям с целью определения координат  $x_0, y_0$  центра стрелочного указателя:

$$\begin{aligned} x_0 &= \sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, h-1; j=0, w-1} i / n; \\ y_0 &= \sum_{\forall I_{ij}=1; i=0, h-1; j=0, w-1} j / n, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $n$  – число черных пикселей на изображении  $I(i, j)$ ;  $h$ ,  $w$  – высота и ширина изображения в пикселях соответственно.

Производится сканирование изображений  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$  по всем черным пикселям с целью определения координат точек  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$  центров образованных отрезков для обоих изображений:

$$\begin{aligned} x_A &= \sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_{\min}, y_0; j=x_{\min}, x_0} i / k; \\ y_A &= \sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_{\min}, y_0; j=x_{\min}, x_0} j / k, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} x_B &= \sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_0, y_{\max}; j=x_0, x_{\max}} i / s; \\ y_B &= \sum_{\forall I_{ij}=1; i=y_0, y_{\max}; j=x_0, x_{\max}} j / s, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $k$ ,  $s$  – число черных пикселей соответственно в первом и втором отрезке изображения указателя.

Вычисляется тангенс угла наклона стрелочного указателя на изображениях  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$  по координатам двух точек  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$ , используя отношение:

$$tg(\varphi) = \begin{cases} \left( \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right), \text{ при } x_B - x_A > 0, y_B - y_A > 0; \\ \left( \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right) + 2\pi, \text{ при } x_B - x_A > 0, y_B - y_A < 0; \\ \left( \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right) + \pi, \text{ при } x_B - x_A < 0; \\ \frac{\pi}{2}, \text{ при } x_B - x_A = 0, y_B - y_A > 0; \\ -\frac{\pi}{2}, \text{ при } x_B - x_A = 0, y_B - y_A < 0. \end{cases} \quad (8)$$

Найденные значения  $tg(\varphi)$  преобразуются в численные значения  $\varphi_A, \varphi_B$  углов отклонения указателей для начального и текущего положений стрелочного указателя с использованием заранее определенных табличных значений, после чего вычисляется

значение искомого угла  $\varphi$  между начальным и текущим положениям стрелочного указателя по формуле

$$\varphi = |\varphi_B - \varphi_A|. \quad (9)$$

Значение показания стрелочного индикатора  $D$  вычисляется по формуле

$$D = \frac{\varphi D_{MAX}}{\varphi_{MAX}}, \quad (10)$$

где  $D_{MAX}$  - максимальное значение показания стрелочного индикатора,  $\varphi_{MAX}$  - максимальный угол между начальным и конечным положениями стрелочного указателя.

Таким образом приведенные соотношения (1-10) в результате обработки изображения стрелочного индикатора позволяют вычислить значение  $D$  его показания, причем вычисления по формулам (1-4) реализуются независимо для всех пикселей изображения индикатора.

Модель обработки изображений стрелочных индикаторов позволяет осуществить аппаратную параллельную ее реализацию. В результате операции вычитания изображений получены 2 массива пикселей, соответствующих начальному и конечному положениям стрелочного указателя индикатора. Специфика операции бинаризации двух массивов пикселей связана с применением двух настраиваемых порогов, так как гистограмма распределения изображений после вычитания имеет двуимодальный характер.

Перейдем к рассмотрению математической модели  $M_{ОПЖД}$ , позволяющей определить значение каждого символа жидкокристаллического дисплея. Для этого изменяются размеры изображения с применением метода билинейной интерполяции. Значение яркости каждого пикселя новой сетки вычисляется по формуле:

$$I_{i,j} = (1 - \Delta x)(1 - \Delta y)I_{k,l} + \Delta x(1 - \Delta y)I_{k+1,l} + (1 - \Delta x)\Delta y I_{k,l+1} + \Delta x\Delta y I_{k+1,l+1}; \quad (11)$$

$$i = \overline{0, H_N - 1}, \quad j = \overline{0, W_N - 1}, \quad k = \overline{0, H_O - 1}, \quad l = \overline{0, W_O - 1},$$

где  $i, j$  – индексы пикселей новой сетки;  $k, l$  – индексы пикселей старой сетки,  $I_{k,l}, I_{k+1,l}, I_{k,l+1}, I_{k+1,l+1}$  – значения яркостей пикселей старой сетки;  $\Delta x, \Delta y$  – относительные расстояния от ближайшего пикселя старой сетки до пикселя новой сетки по оси  $Ox$  и  $Oy$  соответственно;  $H_N, W_N$  – высота и ширина новой сетки;  $H_O, W_O$  – высота и ширина старой сетки.

Осуществляется бинаризация изображения по формуле

$$I_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } I_{ij} \leq q; \\ 1, & \text{если } I_{ij} > q, \end{cases} \quad \forall i \in [1, W_N] \forall j \in [1, H_N], \quad (12)$$

где  $I_{ij}$  – пиксель  $(i, j)$  изображения  $I(i, j)$ ,  $q$  - пороговое значение.

Изображение разбивается на прямоугольные области нахождения различных символов, состоящих из сегментных индикаторов, после чего определяются значения каждого символа на основе сравнения распознаваемого символа с символами из набора готовых шаблонов по максимуму попиксельной идентичности двух изображений, т.е. нахождения такого шаблона  $e^{(j)}$  из множества  $r$  шаблонов  $E = \{e^{(j)}\}, j = \overline{1, r}$ , соответствующего изображению  $\nu$ , что



$$e^{(j)}, j = \max_k \left( \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h d_k, k = \begin{cases} 1, & \text{если } v_{ij} = e_{ij}^{(k)}; \\ 0, & \text{если } v_{ij} \neq e_{ij}^{(k)}; \end{cases} \right). \quad (13)$$

Таким образом в результате билинейной интерполяции выделяется изображение жидкокристаллического дисплея, приведенное к заданному масштабу, и определяются значения каждого символа.

Модель *МОПсви* позволяет определить работоспособность светового индикатора. Изменяются размеры изображения с применением метода билинейной интерполяции, показывающим стабильный результат при небольших требованиях к вычислительной способности ЭВМ. Значение яркости каждого пикселя новой сетки вычисляется по формуле:

$$O_{n,m} = (1 - \Delta x)(1 - \Delta y)I_{k,l} + \Delta x(1 - \Delta y)I_{k+1,l} + (1 - \Delta x)\Delta y I_{k,l+1} + \Delta x\Delta y I_{k+1,l+1}; \quad (14)$$

$$n = \overline{0, H_N - 1}, \quad m = \overline{0, W_N - 1}, \quad k = \overline{0, H_O - 1}, \quad l = \overline{0, W_O - 1},$$

где  $m, n$  – индексы пикселей новой сетки.

Затем осуществляется бинаризация изображения  $O(n, m)$  индикатора в соответствии с заданным порогом  $q$ :

$$o_{jk} = \begin{cases} 0, & \text{если } O(n, m) \leq q; \\ 1, & \text{если } O(n, m) > q, \end{cases} \quad \forall j \in [1, n] \forall k \in [1, m], \quad n, m \in N \quad (15)$$

где  $o_{jk}$  – пиксель  $(j, k)$  изображения  $O(n, m)$  светового индикатора.

Определяется признак работоспособности светового индикатора на основе сравнения распознаваемого изображения с изображениями из набора готовых шаблонов по максимуму попиксельной идентичности двух изображений, т.е. нахождение шаблона  $e^{(j)}$  из множества шаблонов  $E = \{e^{(j)}\}$ , соответствующего изображению  $v$  по формуле (13), при этом шаблон  $e^{(0)}$  соответствует изображению включенного светового индикатора, шаблон  $e^{(1)}$  – соответствует изображению выключенного светового индикатора.

**Третий раздел** посвящен разработке метода определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов и аппаратно-ориентированных алгоритмов обработки изображений стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея и световых индикаторов.

Метод определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов основан на использовании функции расчета расписания обработки изображений индикаторов панели приборов и функции определения порядка генерации тестовых сигналов.

Входными параметрами функции расчета расписания  $F_{PD}(n, G, T_{DP}, T_{PI}, A, B)$  являются:  $n$  – число индицируемых параметров;  $G$  – множество индицируемых параметров  $g_i, i = \overline{1, n}, n > 1, n \in N$  панели приборов;  $T_{DP}$  – множество значений  $t_{DPi}$ , каждое из которых описывает время изменения внутреннего состояния панели приборов под действием набора тестовых сигналов, необходимое для вычисления индицируемого параметра  $g_i, i = \overline{1, n}$ ;  $T_{PI}$  – множество значений  $t_{PIi}$ , каждое из которых представляет собой время распознавания показания индицируемого параметра  $g_i, i = \overline{1, n}$  с

использованием алгоритмов обработки изображений стрелочных, жидкокристаллических или световых индикаторов;  $A$  – двумерный массив размерности  $(n, n)$ , кодирующий функцию допустимости одновременной обработки изображений двух индикаторов, в котором элемент  $a_{ij} = 1$ , если индицируемый параметр  $g_i$  возможно вычислить одновременно с индицируемым параметром  $g_j$ ,  $a_{ij} = 0$  – в противном случае,  $i, j = \overline{1, n}$ ;  $B$  – множество ограничений предшествования вида  $g_i \rightarrow g_j$ ;  $i, j = \overline{1, n}$ ,  $i \neq j$ , определяющих последовательность обработки изображений отдельных индикаторов панели приборов. В результате использования указанной функции определяется расписание в виде множества  $C$  моментов времени  $c_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $n > 1, n \in N$ , в которые выполняется подача набора тестовых сигналов для вычисления правильности показаний  $i$ -го индицируемого параметра.

Функция определения порядка генерации тестовых сигналов в качестве выходных данных передает «карту» обработки, описываемую двумерной матрицей  $B$ , кодирующей набор тестовых сигналов физическими устройствами, имитирующими работу датчиков.

Метод определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов включает следующие этапы:

1. Расчет расписания обработки, определяющего моменты времени генерации тестовых сигналов и моменты времени регистрации изображения индикаторов панели приборов.

2. подача тестовых сигналов, имитирующих работу датчиков, для всех индицируемых параметров панели приборов в соответствии с рассчитанным расписанием.

3. Вычисление значений индицируемых параметров в соответствии с математической моделью и с использованием алгоритмов обработки изображений индикаторов панели приборов.

4. Расчет коэффициентов правильности отображения каждого индицируемого параметра. Принятие решения о правильности показаний индикаторов панели приборов на основе расчета показателя, принимающего значение «1» в случае правильности показаний всех индикаторов панели приборов и значение «0» при наличии хотя бы одного неверного показания индикатора панели приборов, в зависимости от значения которого показания панели приборов считаются правильными либо неверными.

Новизной метода является использование функции расчета расписания обработки изображений индикаторов панели приборов, в результате использования которой определяется расписание в виде множества моментов времени подачи набора тестовых сигналов для вычисления правильности показаний индицируемого параметра, и функции определения порядка генерации тестовых сигналов, позволяющей получить «карту» обработки изображений, описывающей последовательность включения и выключения физических устройств, обеспечивающих генерацию наборов тестовых сигналов, эмулирующих работу датчиков.

Аппаратно-ориентированный алгоритм обработки изображений стрелочных индикаторов (рис. 1) содержит следующие шаги:

1) получение изображений  $F^0(i, j)$ ,  $F^1(i, j)$  стрелочного индикатора, соответствующих начальному и текущему показаниям;

2) выполнение вычитания двух изображений по формуле (1) и формирование двух массивов по формуле (2);

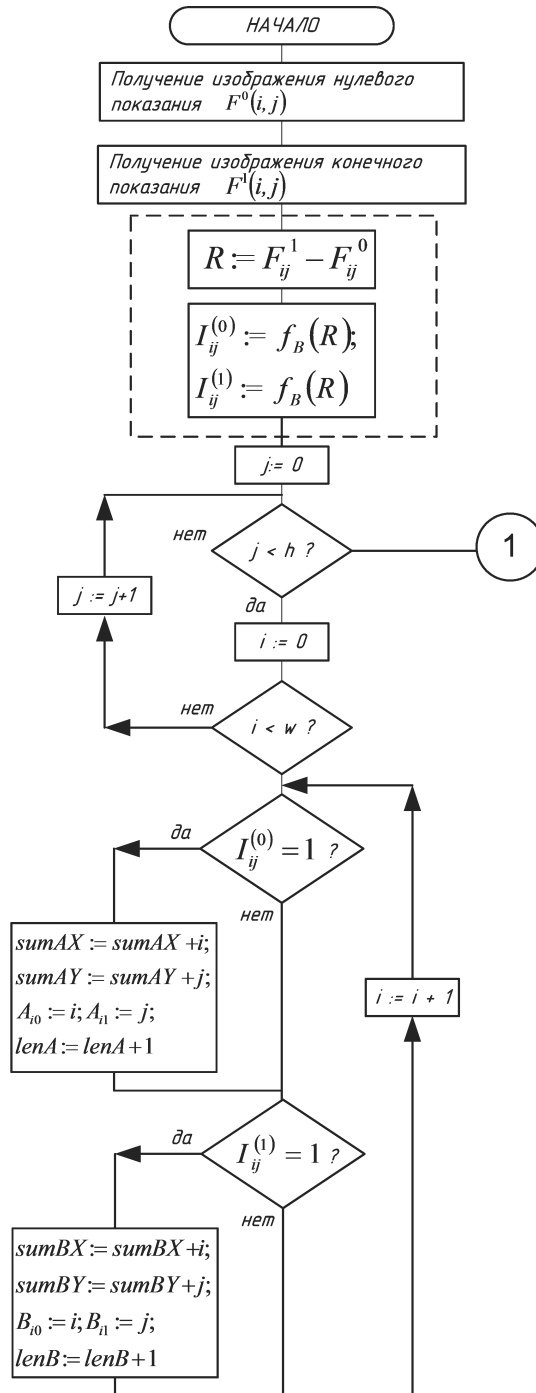
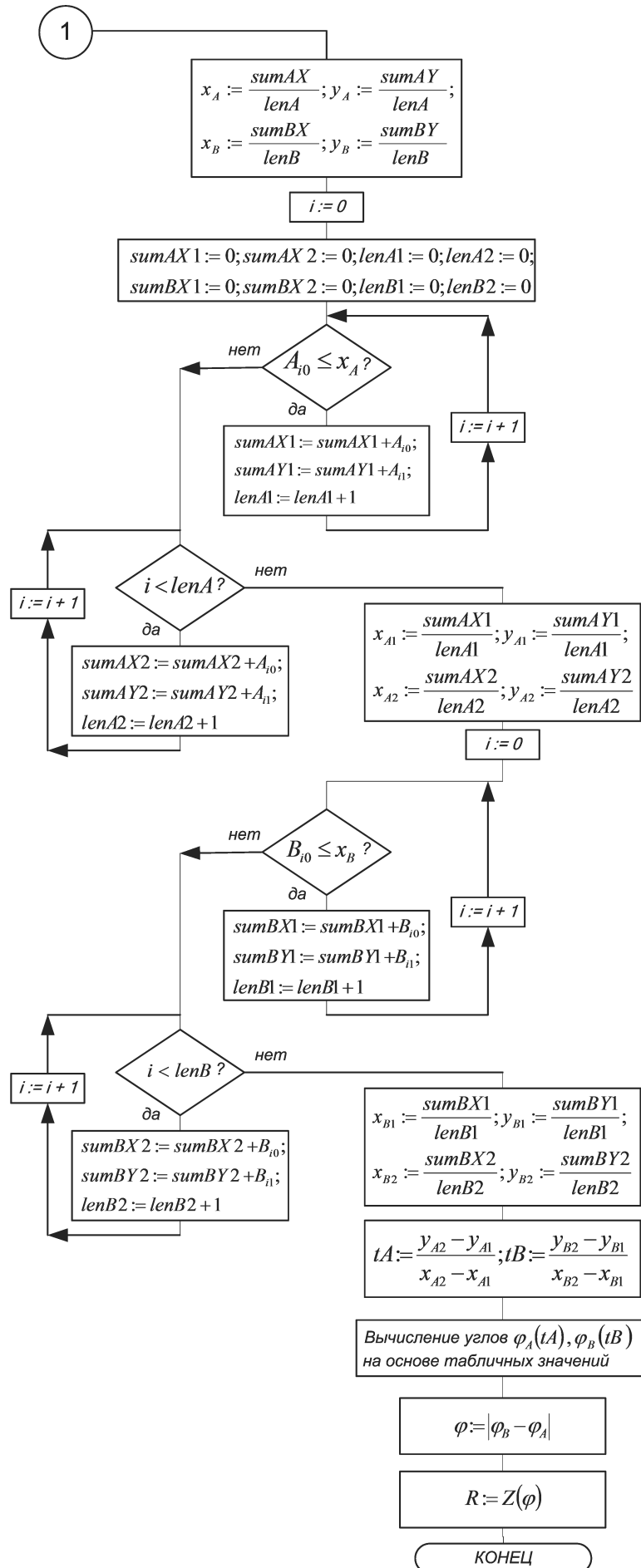


Рисунок 1 - Аппаратно-ориентированный алгоритм обработки изображений стрелочных индикаторов

- 3) формирование бинаризованных изображений  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$  на основе изображений  $f^-(i, j)$ ,  $f^+(i, j)$  по формуле (4);
- 4) сканирование изображений  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$  по всем пикселям с целью определения координат  $x_0, y_0$  центра стрелочного указателя (5);
- 5) сканирование изображений  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$  по всем черным пикселям с целью определения координат точек  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$  центров образованных отрезков (6), (7);



Продолжение рисунка 1

6) вычисление тангенса угла наклона указателя на изображениях  $I^{(0)}(i, j)$ ,  $I^{(1)}(i, j)$  по координатам двух точек  $A(x_A, y_A)$ ,  $B(x_B, y_B)$ , используя формулу (8);

7) преобразование найденных значений  $tg(\varphi)$  для начального и текущего положения стрелочного указателя с использованием заранее определенных табличных значений в численные значения  $\varphi_A, \varphi_B$  углов отклонения указателей;

8) вычисление значения искомого угла  $\varphi$  по формуле (9);

9) вычисление значения показания стрелочного индикатора  $D$  на основе рассчитанного значения угла  $\varphi$  по формуле (10).

Наиболее вычислительно затратными операциями являются операция вычитания изображений и операция бинаризации (1 – 4), которые реализуются аппаратно, обрабатывая пиксели параллельно. Особенностью разработанного алгоритма является также отсутствие вычислительно затратной операции умножения при расчете угла наклона указателя, что предоставляет выигрыш в быстродействии и снижении аппаратных требований при реализации алгоритма с использованием программируемой логической интегральной схемы.

Аппаратно-ориентированный алгоритм обработки изображения жидкокристаллического дисплея содержит следующие шаги:

1) изменение размеров изображения с применением метода билинейной интерполяции по формуле (11);

2) бинаризация: изображение приводится к виду 1 бит/пиксель путем сравнения значения каждого пикселя изображения с пороговым значением  $q$  и принятием нового значения пикселя из множества  $\{0, 1\}$  (12);

3) разбиение изображения на прямоугольные области нахождения различных символов, состоящих из сегментных индикаторов. При этом каждая область имеет определенный размер и координаты расположения, как показано на рисунке 3;

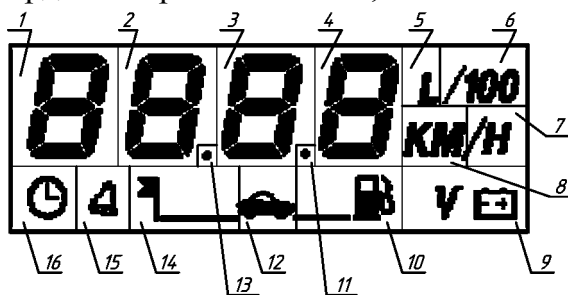


Рисунок 2 - Пример изображения жидкокристаллического дисплея с определенными областями распознавания символов

На рисунке 2 под номерами 1 – 4 показаны сегментные индикаторы, под номерами 5 – 16 показаны символы, определяющие режим индикации;

4) определение значения каждого символа на основе сравнения распознаваемого символа с символами из набора готовых шаблонов по максимуму попиксельной идентичности двух изображений (13);

5) завершающее определение текущего режима индикации на основе анализа совокупности распознанных символов, расчет численного значения показаний жидкокристаллического дисплея.

Этапы 1 – 4 разработанного алгоритма реализуются аппаратно с использованием программируемой логической интегральной схемы, поскольку операции (11 – 12) выполняются независимо для всех пикселей изображения индикатора параллельно.

Разработанный аппаратно-ориентированный алгоритм позволяет корректно определить показания на основе сравнения областей групп сегментных индикаторов с шаблонами изображений символов по максимуму попиксельной идентичности двух изображений.

Аппаратно-ориентированный алгоритм обработки изображений световых индикаторов:

1) изменение размеров изображения с применением метода билинейной интерполяции (14);

2) бинаризация изображения  $O(n, m)$  индикатора в соответствии с заданным порогом  $q$  с использованием функции бинаризации световых индикаторов  $f_B(O(n, m), q)$  (15);

3) определение признака работоспособности светового индикатора на основе сравнения распознаваемого изображения с изображениями из набора готовых шаблонов по максимуму попиксельной идентичности двух изображений (13);

4) определение текущего режима индикации светового индикатора на основе априорной информации о режимах индикации панели приборов.

Этапы 1 – 2 разработанного алгоритма реализуются аппаратно с использованием программируемой логической интегральной схемы, поскольку операции (14 – 15) выполняются независимо для всех пикселей изображения параллельно.

Разработанные алгоритмы обладают низкими требованиями к аппаратным средствам при реализации с использованием программируемой логической интегральной схемы.

**В четвертом разделе** разрабатывается структурно-функциональная схема опико-электронного устройства параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов (УПОИ), приводится описание аппаратно-программного стенда для проверки адекватности полученной в результате теоретических исследований математической модели, а также результаты экспериментального исследования быстродействия разработанного устройства.

В состав устройства (рис. 3) входит цифровая видеокамера (ЦВК), контроллер цифровой видеокамеры (КЦВК), ОЗУ, блок обработки изображений стрелочных индикаторов (БОПСИ), блок обработки изображения жидкокристаллического дисплея (БОПЖКД), блок обработки изображений световых индикаторов (БОПСВИ), блок клавиш (БК), блок жидкокристаллического дисплея (БЖКД), контроллер ввода-вывода (КВВ), N блоков генерации сигнала (БГС 1, ..., БГС N), дешифратор клавиш (ДШК), шина адреса и управления (ША/У), шина данных (ШД). Основная часть вычислений реализована на программируемой логической интегральной схеме.

Цифровая видеокамера закрепляется неподвижно на стенде и служит для передачи видеоинформации в виде последовательности кадров изображения панели приборов (ПП).

БОПСИ, БОПЖКД и БОПСВИ осуществляют обработку изображений индикаторов в соответствии с аппаратно-ориентированными алгоритмами, выполняя операции распознавания показаний индикаторов панели приборов.

БОПСИ анализирует изображения стрелочного индикатора с целью определения его показаний и содержит блок буферизации, контроллер ввода-вывода (КВВ), блок энергонезависимой памяти (БЭНП), ОЗУ, микроконтроллер (МК). При этом микроконтроллер (МК) выполняет функции арифметико-логического устройства, КВВ содержит последовательно соединенные вычитатель изображения и блок бинаризации.

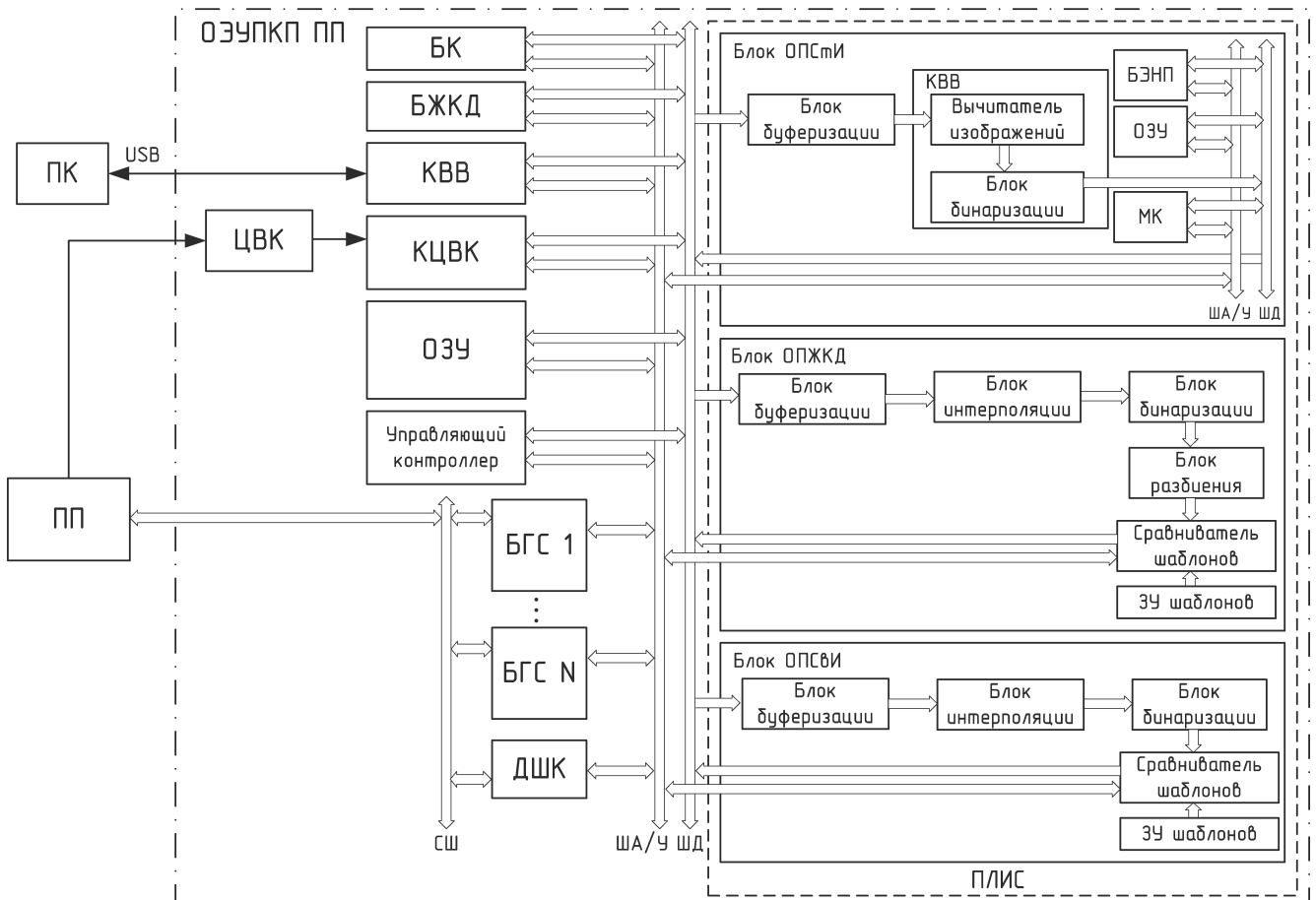


Рисунок 3 - Структурно-функциональная схема УПОИ

Управляющий контроллер подключается к ША/У, ШД и подает управляющие сигналы на множество БГС, выполняющих генерацию сигналов, аналогичных сигналам, формируемым датчиками, при этом каждый БГС представляет собой отдельную печатную плату, которая подключается к ША/У и ШД, и которая содержит триггер для хранения режима работы. Выбор БГС осуществляется с помощью управляющего контроллера путем выставления на ША/У логической комбинации, кодирующей рабочий режим конкретного БГС. Выходы каждого БГС соединяются в сигнальную шину (СШ), которая электрически соединяется с внешним разъемом панели приборов. БК служит для управления устройством, БЖКД выполняет функции отображения справочной информации о процессе вычисления показаний. Персональный компьютер (ПК) подключается к КВВ с использованием интерфейса USB для задания режима работы устройства и не требует подключения в течение рабочих циклов обработки. ДШК используется для автоматического выбора режима индикации жидкокристаллического индикатора ПП.

Блок интерполяции (рис. 4) производит интерполяцию в конвейерном режиме в три основных шага. На первом шаге интерполируемая область смещается в крайний угол основного (увеличенного кадра), на втором шаге производится перенос пикселей с увеличением расстояния между ними до растяжения на целый кадр, и данные пиксели помечаются, как содержащие верные данные, третий шаг - осуществляется интерполяция промежуточных позиций пикселей и окончательное формирование кадра с последующей его выдачей для дальнейшей обработки.

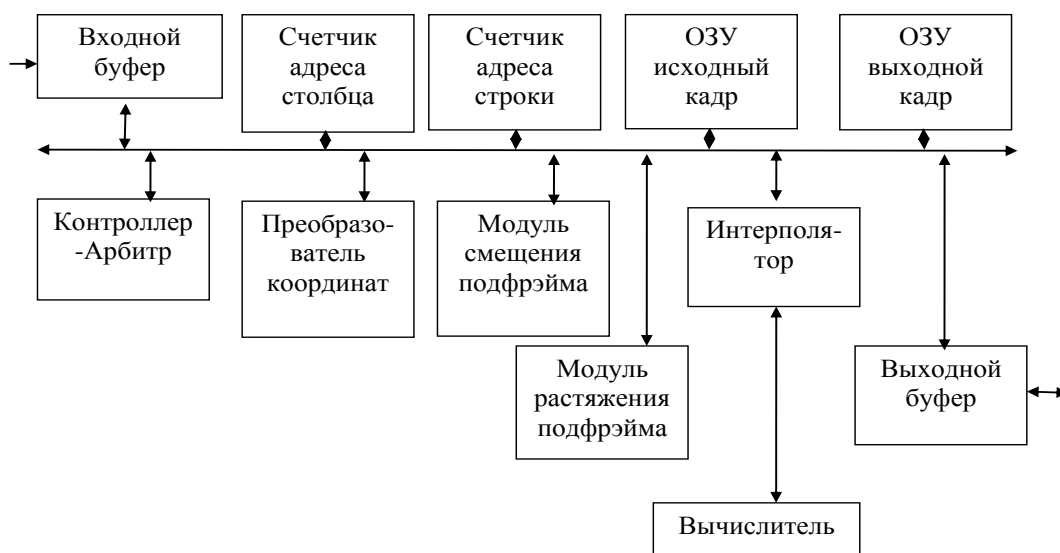


Рисунок 4 - Структурно-функциональная организация блока интерполяции

Аппаратная реализация блоков генерации сигналов (БГС) в виде законченных плат, функционирующих независимо друг от друга, обладает достоинством при реализации параллельной генерации сигналов, эмулирующих работу датчиков, что в свою очередь позволяет одновременно производить обработку изображений нескольких индикаторов в соответствии с разработанным методом определения порядка обработки изображений индикаторов показаний панели приборов.

Реализация устройства наиболее удобна на ПЛИС семейства Zynq-7000, представляющего семейство так называемых «систем на кристалле» (SoC) с различными сочетаниями производительности процессорной части и объема программируемой логики. В этом семействе предпочтительными являются два взаимно совместимые по назначению вывода кристалла из младшей части семейства, оптимизированных для проектов с небольшой стоимостью: XC7Z014S-2CLG484I, содержащий одноядерный встроенный ARM Cortex-A9 процессор; 65 тыс. вентилей программируемой логики; 3,8 Мбит встроенной быстродействующей блочной памяти; XC7Z020-2CLG484I, содержащий двухъядерный встроенный ARM Cortex-A9 процессор; 85 тыс. вентилей программируемой логики; 4,9 Мбит встроенной быстродействующей блочной памяти. В обоих случаях для хранения промежуточных расчётных данных обрабатываемых массивов потребуется использовать также внешний модуль памяти типа DDR3.

Методика экспериментального исследования быстродействия разработанного оптико-электронного устройства включает следующие этапы:

1) определение множества индицируемых параметров панели приборов, а также множества времен установления динамического режима для каждого из них с использованием программы испытаний, включающей обработку 31 индицируемого параметра автомобильной панели приборов КП-1118-3801010-02;

2) расчет на ПЭВМ расписания обработки изображений индикаторов панели приборов с использованием исходных данных, полученных в п.1;

3) загрузка рассчитанного расписания обработки через интерфейс USB с помощью ПЭВМ и запуск процесса параллельного вычисления параметров изображений индикаторов панели приборов на макете УПОИ;



4) получение численных результатов в виде коэффициентов правильности отображения каждого индицируемого параметра и принятие решения о правильности показаний автомобильной панели приборов.

В состав аппаратно-программного стенда (АПС), используемого для проведения испытаний УПОИ, входят видеокамера (веб-камера Logitech Sphere), макет УПОИ, собранный на базе отладочной платы DL-XUP-V2PRO, макет группы блоков генерации сигналов, ПЭВМ ASUS K53.

В качестве панели индикации была выбрана автомобильная комбинация приборов КП-1118-3801010-02 (АКП), содержащая стрелочные индикаторы, жидкокристаллический дисплей, световые индикаторы, определены состав и разработаны функциональные схемы блоков генерации сигналов (БГС), эмулирующих работу датчиков автомобиля.

В результате проведенного экспериментального исследования были получены следующие результаты.

Сокращение значения среднего времени обработки рабочих изображений на имеющихся типах индикаторов панели приборов (с учетом локализации проверки работоспособности панели до шага обработки изображений) по аналогу и разработанному устройствам (последовательная и параллельная обработка) составило 29,2% (таблица 1) при частоте функционирования устройства 20 МГц.

Таблица 1

## Сравнительный анализ быстродействия устройств для единичного индикатора

Устройство	Время обработки изображения стрелочного индикатора, $10^{-3}$ сек.	Время обработки изображения жидкокристаллического дисплея, $10^{-3}$ сек.	Время обработки изображения светового индикатора, $10^{-3}$ сек.	Среднее время обработки изображения, $10^{-3}$ сек.
Устройство-аналог	30	25	25	26,66
Разработанное устройство	20	20	16,6	18,87

С учетом допущений, что время первоначальной настройки занимает в среднем 2% времени проверки, время анализа и интерпретации результатов – 1%, разработанное устройство обеспечивает сокращение общего времени проверки каждой панели приборов в среднем на 77 секунд (48,3%). В таблице 2 приведены результаты экспериментальных исследований.

Обработка результатов эксперимента показала, что среднее значение составляет 72,5 сек. Разброс относительно среднего в квадратных единицах измерений – 2,65. Доверительный интервал – (71,42; 73,58), т.е. с вероятностью 0,99 среднее значение по всем измерениям будет получаться в указанном диапазоне.

Таблица 2

## Сравнительный анализ быстродействия устройств

Устройство	Общее время обработки данных (сек)	Общее время проверки панели приборов (сек)
Известное устройство	145	149,5
Разработанное устройство	70	72,5

На рисунке 5 показано расположение экспериментальных данных и границ доверительного интервала.



Рисунок 5 – Расположение экспериментальных данных в границах доверительного интервала

Таким образом разработанное оптико-электронное устройство осуществляет обработку изображений индикаторов панели приборов за  $72,5 \pm 1,1$  секунд, а известное устройство компании Soliton Technologies – за 149,5 сек., что составляет сокращение общего времени обработки на  $48,3 \pm 0,75\%$  за счет осуществления распараллеливания.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертации.

**В приложениях** приведены листинги программных модулей моделирующих приложений, параметры выходных сигналов датчиков и акты внедрения результатов исследований.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В диссертационной работе в рамках решения поставленной научно-технической задачи разработки модели, метода, алгоритмов и оптико-электронного устройства параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов, получены следующие результаты:

1. Проведенный анализ существующих методов и устройств обработки изображений индикаторов панели приборов позволил определить принципы их создания, достоинства и недостатки, основным из которых является низкое быстродействие в результате применения подхода, заключающегося в проведении строго последовательного вычисления совокупности значений индицируемых параметров. Устранение данного недостатка возможно за счет реализации механизма параллельного одновременного вычисления значений нескольких индицируемых параметров.

2. Синтезирована математическая модель процесса обработки изображений индикаторов панели приборов, отличающаяся включением моделей обработки изображений стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов, особенностью которой является учет возможности панели приборов одновременно отображать разнородную информацию с использованием нескольких индикаторов, позволяющая сократить время обработки за счет осуществления параллельного выполнения процессов вычислений в каждой модели.

3. Создан метод определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов, отличающийся использованием предварительного расчета расписания и

вычислением последовательности генерации тестовых сигналов, позволяющий определить допустимость одновременной обработки изображений двух и более индикаторов, обеспечивающий тем самым параллельную обработку изображений.

4. Разработаны аппаратно-ориентированные алгоритмы обработки изображений стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов, обладающие низкой вычислительной сложностью и малыми требованиями к аппаратным средствам, позволяющие осуществить их реализацию на программируемой логической интегральной схеме.

5. Разработана структурно-функциональная схема опико-электронного устройства параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов, отличительная новизна которой заключается во введении параллельно функционирующих аппаратных блоков обработки изображений стрелочных индикаторов, жидкокристаллического дисплея, световых индикаторов, связей между блоками, позволяющая реализовать устройство с использованием программируемой логической интегральной схемы, и во введении блоков генерации сигналов, функционирующих независимо друг от друга, что в совокупности, опираясь на разработанный метод определения порядка обработки изображений индикаторов панели приборов, обеспечивает решение задачи сокращения времени вычислений.

6. Опико-электронное устройство параллельной обработки изображений индикаторов панели приборов обеспечивает сокращение времени обработки изображения каждого индикатора на  $6,7 \cdot 10^{-3}$  сек., а общего времени обработки изображений на  $48,3 \pm 0,75\%$  по сравнению с известным устройством за счет реализации параллельности обработки изображений нескольких индикаторов. Сокращение значения среднего времени обработки изображения на имеющихся типах индикаторов панели приборов (с учетом локализации проверки работоспособности панели до шага обработки изображений) по аналогу и разработанному устройствам (последовательная и параллельная обработка) составило 29,2%.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1. **Лысенко, Я.А.** Синтез структур устройств контроля показаний панели приборов [Текст] / С.В. Дегтярев, **Я.А. Лысенко**, Е.Н. Иванова // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2015. — Т. 13. — № 6. С. 20–25.

2. **Лысенко, Я.А.** Опико-электронное устройство параллельного контроля показаний панели приборов [Текст] / **Я.А. Лысенко**, С.В. Дегтярев, Е.Н. Иванова, А.И. Катыхин // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2016. — Т. 14. — №10. — С.31 – 33.

3. **Лысенко, Я.А.** Аппаратно-ориентированный алгоритм определения показаний жидкокристаллического дисплея [Текст] / **Я.А. Лысенко**, С.В. Дегтярев, Е.Н. Иванова, П.П. Воробьев // Информационно-измерительные и управляющие системы. — 2017. — Т. 15. — №5. — С.54 – 56.

4. **Лысенко, Я.А.** Модель, метод и устройство параллельного контроля показаний панели приборов [Текст] / **Я.А. Лысенко** // Известия Юго-западного государственного университета, Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение – 2018. – Т. 8, № 3 (28). – С.60 – 67.

**Патенты и свидетельства**

5. Патент на пол. мод. № 166565 РФ, МКИ G01R 35/00. Оптико-электронное устройство параллельного контроля показаний панели приборов / **Я.А. Лысенко**, С.В. Дегтярев – № 2016110567/28 заявл. 22.03.16; опубл. 10.12.16, Бюл. № 34.

**Материалы, опубликованные в трудах Международных, Всероссийских и Региональных конференциях**

6. **Лысенко, Я.А.** Параллельный контроль показаний панели приборов [Текст] / **Я.А. Лысенко** // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы. Материалы докладов III региональной заочной научно-практической конференции «ИИС-2015». – Курск.: ЮЗГУ, 2015. – С. 101.

7. **Лысенко, Я.А.** Алгоритм определения показаний жидкокристаллического дисплея [Текст] / **Я.А. Лысенко**, Е.Н. Иванова // Интеллектуальные и информационные системы: сб. материалов Всероссийской научно-технической конференции. – Тула: Тул. гос. ун-т, 2016. – С. 84 – 86.

8. **Лысенко, Я.А.** Математическая модель расчета расписания диагностирования при параллельном контроле показаний панелей приборов [Текст] / **Я.А. Лысенко**, С.В. Дегтярев // Перспективы развития научных исследований в 21 веке.: сб. материалов XIII Международной научно-практической конференции.– Махачкала. - 2017. С. 23-25.

Подписано в печать \_\_.\_\_.2019 г. Формат 60x84 /16.

Печ. л. 1,0. Тираж 120 экз. Заказ \_\_\_\_\_.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.