

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра

«Промышленная электроника»

(наименование)

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки)

Электронные приборы и устройства

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Применение машинного зрения в системах контроля и прослеживаемости линии сборки двигателей ВАЗ 21179

Обучающийся

А.И. Золотов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный

к.т.н., доцент, А.А. Шевцов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

руководитель

Тольятти 2024

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ параметров и разновидностей существующих систем машинного зрения как составного инструмента систем контроля, применяемых в машиностроительном кластере.....	5
1.1 Системы машинного зрения.....	5
1.2 Промышленная камера Cognex, инструменты и алгоритмы In-Sight	10
2 Аппаратное обеспечение системы управления линии сборки двигателей ВАЗ 21179.....	16
2.1 SIMATIC S7-300.....	16
2.2 Концепция памяти CPU серии SIMATIC S7-300.....	18
3 Инструменты разработки программного обеспечения Siemens.....	21
3.1 SIMATIC Manager.....	21
3.2 Обработка программы пользователя, типы и виды программных блоков.....	25
3.3 Языки программирования в S7.....	29
3.4 TIA Portal.....	31
4 Подготовка камеры Cognex к работе.....	36
5 Система Traceability.....	60
6 Система соответствий.....	69
6.1 Позиция запрессовки заглушек блока цилиндров.....	71
6.2 Позиция установки маховика/приводного диска.....	100
7 Изменение алгоритма работы других производственных операций, входящих в состав линии сборки двигателей ВАЗ 21179 и подлежащих модернизации.....	114
7.1 Позиция установки масляного картера.....	114
7.2 Позиция установки крышки ГБЦ.....	116
7.3 Позиция установки катколлектора.....	117
Заключение.....	118
Список используемых источников.....	119
Приложение А Список внесенных изменений.....	123

Введение

В современном мире глобальная роль отводится автоматизации выполнения технологических процессов, а также контролю качества и безопасности на автоматизированных и роботизированных участках. Контроль качества и мониторинг информации о выполненных операциях являются ключевой мерой противодействия появлению разного рода брака и неликвидной продукции в целом. Одним из ярких примеров применения данных систем контроля и сбора данных являются автоматизированные линии производств машиностроительного кластера. Модернизация и дооснащение существующих проектов, а также учет внедрения контролирующих систем в только проектируемые линии благоприятно влияют на удобство и эффективность эксплуатации таких объектов [9-11].

Системы машинного зрения и разнообразные контролирующие системы могут иметь вариативное исполнение и значительно отличаться друг от друга ввиду специфики обслуживаемого технологического процесса, требований к их функциональности, степени точности, безопасности и пожеланий заказчика. Однако в каждой из контролирующих систем можно выделить базовый состав, принципы и алгоритмы реализации основных функциональных элементов, не изменяющихся от объекта к объекту и поддерживающих обширный перечень программно-аппаратных надстроек, которые и обеспечивают гибкость разработки, настройки и модернизации данных систем в соответствии с выдвигаемыми требованиями [20,21].

Таким образом, обобщенная структура системы прослеживаемости на производстве включает в себя систему RFID с записывающими и считывающими устройствами, саму RFID метку для хранения информации и удаленный сервер для контроля, мониторинга и при необходимости последующей обработки полученной информации.

Системы машинного зрения в обобщенном случае включают в себя исполнительное устройство для фиксации изображения или другой информации, устройство для обработки и расшифровки полученной информации и системы хранения, выборки и передачи необходимых в работе элементов из расшифрованного информационного сообщения.

Системы соответствия же, в обобщенной структуре, состоят из исполнительных устройств, позволяющих выявить, считать и передать тот или иной параметр, подлежащий сравнению, и непосредственно самой системы управления, анализирующей полученную информацию, проводящей процедуру сравнения и выдающей соответствующие пользовательской программе управляющие воздействия.

Внедрение систем машинного зрения и контролирующих программно-аппаратных комплексов на производственные линии позволяют автоматизировать и улучшить качество сбора и хранения данных, помимо этого совокупность данных систем предоставляет возможность отслеживать корректность выполнения производственных операций и соблюдение технологического процесса на всех этапах работы цикла, при необходимости выявляя и локализуя участки с браком. Все вышперечисленное в совокупности исключает вероятность некорректного выполнения производственной операции, создания некомплектной, бракованной или некорректно укомплектованной продукции, а также снижает влияние человеческого фактора.

Исходя из вышеуказанного, вытекает необходимость разработки контролирующих систем с применением машинного зрения и алгоритмов их функционирования, направленных на минимизацию вероятности установки некорректного навесного оборудования и нарушения технологического процесса, а также модернизации существующих программных элементов выданной линии сборки двигателей ВАЗ 21179

1 Анализ параметров и разновидностей существующих систем машинного зрения как составного инструмента систем контроля, применяемых в машиностроительном кластере

1.1 Системы машинного зрения

Системы машинного зрения в общем случае представляют собой программно-аппаратный комплекс обеспечивающий автоматический контроль и анализ данных на основе изображений и активно применяется в таких сферах как управление, контроль над ходом выполнения технологического процесса, сортировка продукции, наведение и позиционирование некоторых промышленных роботов [12,15]. На рисунке 1 представлен пример применения машинного зрения на операции сортировки деталей.

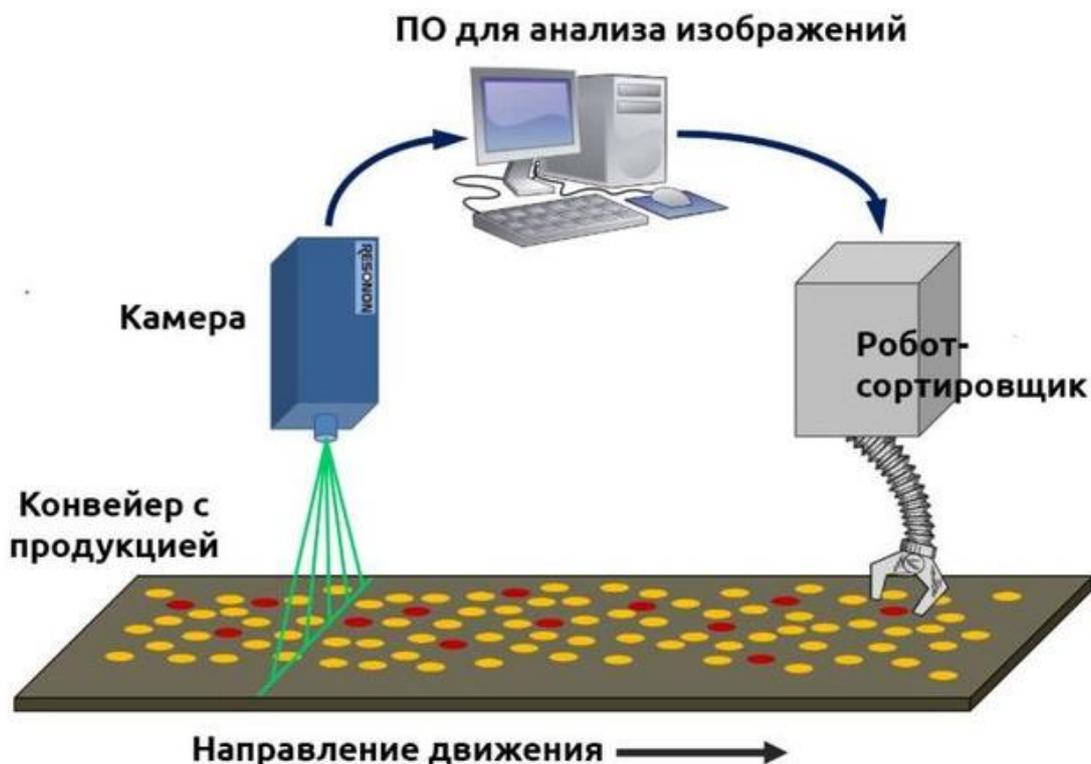


Рисунок 1 – Машинное зрение на операции сортировки деталей

В подавляющем большинстве все системы машинного зрения на обобщенном уровне очень схожи и состоят из устройства захвата изображения, обрабатывающего процессора, программного обеспечения для анализа и распознавания захваченного изображения и набора интерфейсов связи для передачи данных и связи с другими устройствами или системами [16,19].

Одним из крупнейших производителей систем машинного зрения для нужд промышленности является компания Cognex. По внутренней классификации данной фирмы можно выделить одномерные, двумерные, трехмерные системы машинного зрения, а также системы линейного сканирования.

Одномерные системы машинного зрения анализирует цифровой сигнал путем сканирования изображения линия за линией, вместо того чтобы анализировать все изображение целиком. Работа данной системы строится следующим образом, система обрабатывает группу изображений из 10 линий и сравнивает полученные результаты с группой, обработанной ранее. Данная технология обычно применяется при необходимости обнаружения и классификации дефектов материала, производимого в ходе непрерывного производственного процесса, например, при производственных процессах, связанных с изготовлением бумаги, металлов, пластиковых изделий и других нетканых листовых или рулонных изделий. На рисунке 2 представлен пример одномерной системы машинного зрения.

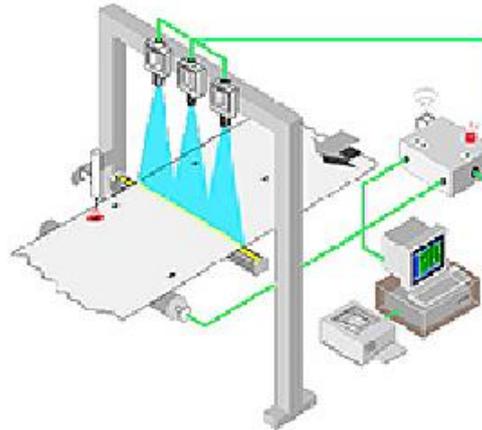


Рисунок 2 – Одномерная система машинного зрения

В двумерных системах машинного зрения камеры проверки выполняют сканирование области, захватывая моментальные 2D-снимки области в разном разрешении. На рисунке 3 представлен пример двумерной системы машинного зрения.

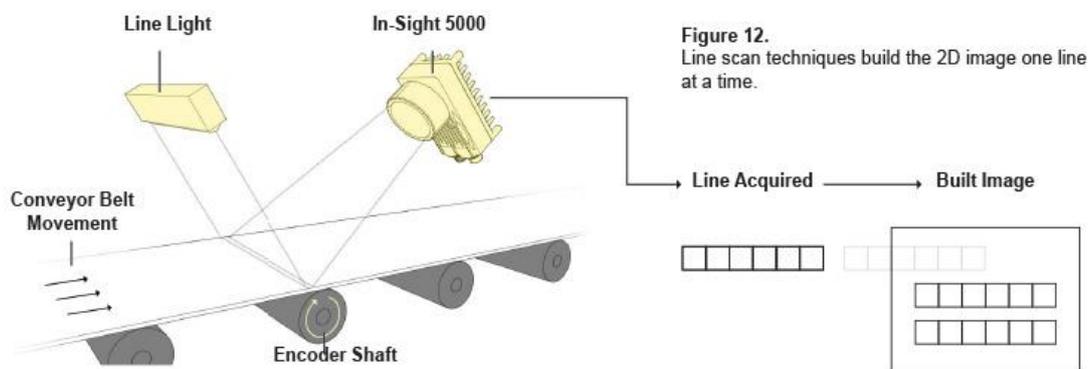


Рисунок 3 – Двумерная система машинного зрения

Системы линейного сканирования часто применяются при необходимости проверки круглых или цилиндрических объектов. При вращении детали и использовании одной камеры линейного сканирования можно захватить всю плоскость детали или изделия путем развертки изображения. Системы линейного сканирования достаточно просто интегрируются в линии с ограниченным пространством или на производственных участках, где камера должна захватить изображение через роликовый конвейер и отобразить нижнюю часть детали. Системы линейного сканирования также, как правило, обеспечивают более высокое разрешение по сравнению с обычными камерами. На рисунке 4 представлен пример системы линейного сканирования.

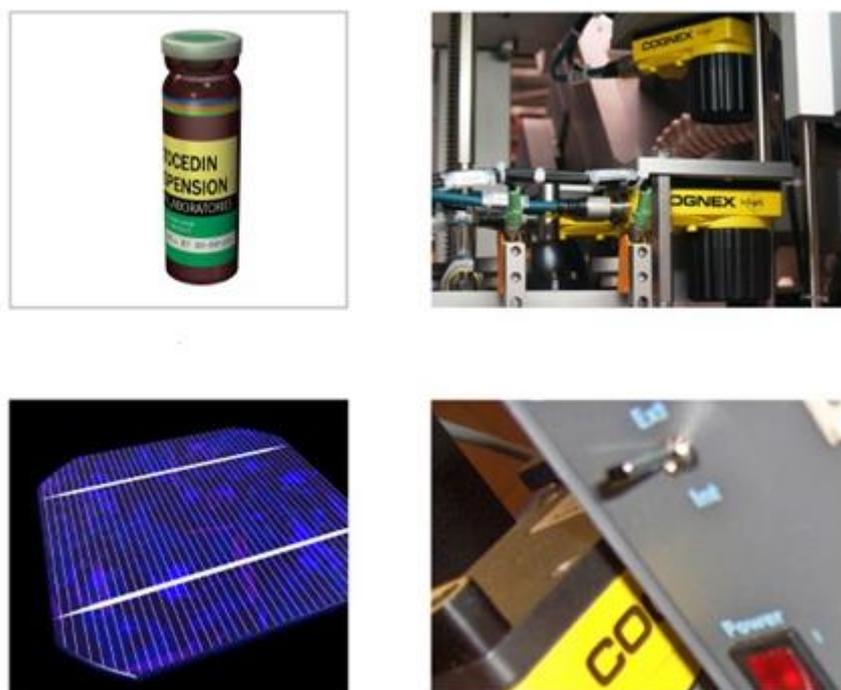


Рисунок 4 – Система линейного сканирования

Трехмерные системы машинного зрения, как правило, состоят из нескольких камер, а также одного или нескольких лазерных датчиков смещения. Многокамерное трехмерное зрение в системах управления промышленными роботами предоставляет роботу информацию об ориентации детали. В этих системах используется несколько камер, установленных в разных точках, а также технология триангуляции на положении цели в трехмерном пространстве. На рисунке 5 представлен пример трехмерной системы машинного зрения.

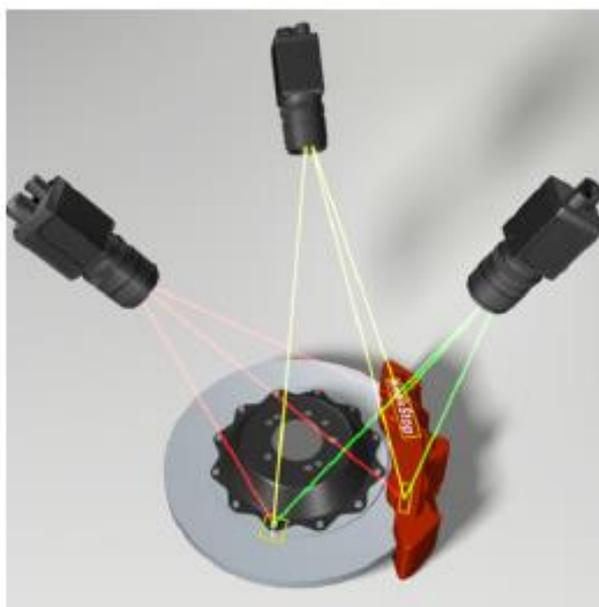


Рисунок 5 – Трехмерная система машинного зрения

Помимо сложных камерных систем к системам машинного зрения можно также отнести и разного вида датчики. Примером более простой системы машинного зрения является, к примеру, программируемый оптический датчик расстояния SICK DS25-B15521, представленный на рисунке 6 [27,28].



Рисунок 6 – Оптический датчик расстояния SICK DS25-B15521

При корректной настройке такого типа датчиков, система управления может получать, к примеру, данные о габаритных размерах объекта или фиксировать наличие необходимых технологических отверстий при алгоритмах проверки или позиционирования деталей.

1.2 Промышленная камера Cognex, инструменты и алгоритмы In-Sight

Системы машинного зрения серии In-Sight 7000 представляют собой полнофункциональные и мощные устройства технического зрения, способные выполнять быструю и точную проверку деталей широкого спектра во всех отраслях промышленности [23]. Благодаря компактному размеру и продуманному форм-фактору они легко интегрируются в производственные линии с ограниченным рабочим пространством, а инновационная модульная система легко удовлетворяет специфические требования к эксплуатации для

индивидуальных пользователей. На рисунке 7 представлена промышленная камера Cognex 7000 серии.



Рисунок 7 – Промышленная камера Cognex

Устройства серии In-Sight 7000 доступны в монохромном и цветном исполнении с диапазоном расширений от VGA до 5 Мп. Для комплектации систем машинного зрения Cognex доступны различные конфигурации от базового набора инструментов In-Sight 7500 до полнофункциональных моделей 7600-7900 [26]. На рисунке 8 представлены сравнительные характеристики камер 7000 серии.

	Серия In-Sight 7600/7800	Серия In-Sight 7801
Программная память и память для задач	7,2 Гбайт внутренней памяти + 8 Гбайт на SD-карте	
Память для обработки изображений, Мбайт	512	
Инструменты для обработки изображения	PatMax Redline, Surface FX и Scripting (на основе цифрового сигнального процессора (DSP))	
Дополнительное пространство для хранения	8 Гбайт на карте SD, сетевой накопитель через FTP по гигабитной сети	
Рабочая температура, °C	0...+40	
Разрешение	640?480/800?600	1280?1024
Количество кадров в секунду	Серия DataMan, 217/165	76
Тип объектива	C-mount/S-mount/автофокусировка	
Варианты освещения	Встроенный осветительный модуль; внешний источник света с питанием от 7000; внешний источник света с независимым питанием	
Цвет света внутреннего источника	Красный, белый, синий, инфракрасный	
Индикаторные светодиоды	Кольцо светодиодного индикатора с углом обзора 360°	
Питание	24 В постоянного тока ±10%, 1,5 А макс.	
Промышленные разъемы M12	Силовой кабель ввода/вывода; Ethernet; питание и управление внешним освещением	
Степень защиты	IP67 с вариантом внешнего освещения или крышкой объектива с креплением C-mount	
Передача данных по сети	10/100/1000 BaseT с поддержкой auto-MDIX; протоколы TCP/IP, IEEE 802.3	

Рисунок 8 – Сравнительные характеристики камер 7000 серии

В основе используемых инструментов In-Sight лежит технология выявления и обработки изображений для последующего анализа данных и принятия решений. Так в систему In-Sight внедрен, к примеру, инструмент работы с пятнами, который предназначен для идентификации элементов с аналогичными тенями шкалы серого. Данный инструмент полезен при количественной оценке размера искомых дефектов детали или определения местоположения элементов с повторяющейся геометрической формой.

Встроенные инструменты работы с контуром предназначены для обнаружения контраста между темными и светлыми переходами на деталях. Результаты, полученные при использовании данного инструмента, можно использовать при определении расстояний, а также для проверки количества найденных контуров. Помимо этого, инструмент работы с контуром может применяться для обнаружения и измерения окружностей и дуг.

Инструменты DataMatrix служат для распознавания информации с 2D кодов. Для обработки строчных буквенно-цифровых маркировок в среде разработки In-Sight также существуют стандартные инструменты.

Такие инструменты и алгоритмы как Flex Flaw и Surface FX служат для проверки контуров и поверхностей деталей на предмет дефектов и повреждений. Данные инструменты способны адаптироваться к изменениям внешнего освещения и вида деталей.

Более подробно рассмотрим такой инструмент как Surface FX. Компания Cognex разработала уникальный алгоритм подсветки исследуемого объекта, позволяющий подсвечивать рабочую область с четырех сторон, как показано на рисунке 9.

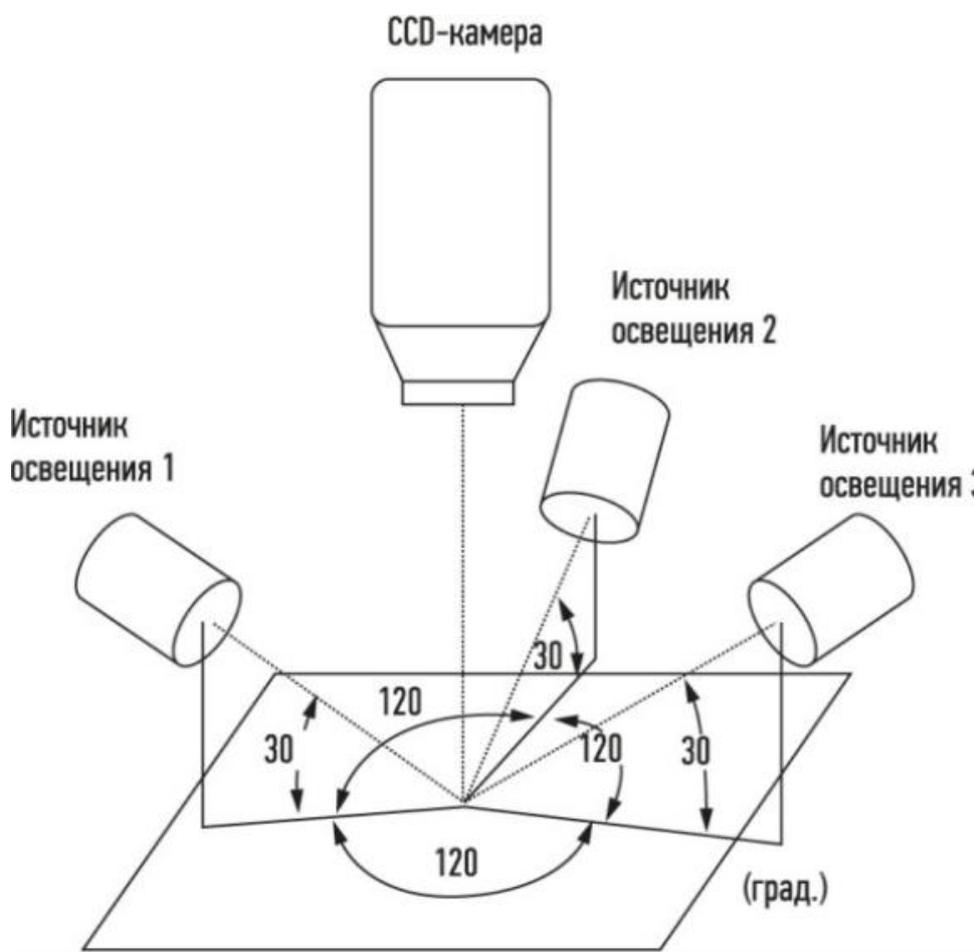


Рисунок 9 – Алгоритм подсветки детали

При таком способе подсветки тени и отражения анализируются для идентификации трехмерных признаков объекта, создавая изображение с ярко выделенными рельефными частями. При этом выпуклые участки отображаются белым, а углубления черным. Использование таких высококонтрастных изображений, полученных с помощью технологии Surface FX, камера Cognex может с легкостью выполнить проверку образцов, границ, пятен.

Помимо алгоритмов освещения в технологии выделения признаков Surface FX применяются и программные алгоритмы, повышающие четкость получаемых изображений, путем устранения искажений и фоновых помех от поверхностей. Изображения, полученные с применением алгоритма Surface FX и выделением штампованного текста представлены на рисунке 10.



Рисунок 10 – Работа алгоритма Surface FX

Таким образом, инструменты и алгоритмы In-Sight предоставляют широкий спектр функциональных возможностей по настройке режимов и алгоритмов захвата и обработки изображения под индивидуальные требования, варьирующиеся в зависимости от особенностей технологического процесса, места размещения камеры, окружающей среды и рабочих условий.

Выводы по разделу

В данном разделе был рассмотрен основной принцип и обобщенный состав систем машинного зрения как составного элемента специализированных систем контроля, внедренных в систему управления промышленного объекта. Были рассмотрены варианты реализации, исполнения и типы промышленных систем машинного зрения на примере оборудования, поставляемого одним из лидеров в данной области, а именно компанией Cognex и упрощенных систем машинного зрения на основе программируемых оптических датчиков SICK. Рассмотрены основные особенности функционирования систем машинного зрения от компании Cognex, а также инструменты и алгоритмы среды программирования In-Sight, направленные на улучшение качества и результативности захвата и анализа изображений применительно к разным задачам и функциональным особенностям производственного процесса, требующего их внедрения. Также были рассмотрены основные характеристики и особенности промышленной камеры Cognex серии In-Sight 7000, используемой нами при работе в рамках выполнения данной магистерской диссертации.

2 Аппаратное обеспечение системы управления линии сборки двигателей ВАЗ 21179

2.1 SIMATIC S7-300

Основными устройствами управления автоматизированной линии, на которой проводились работы, являются программируемые логические контроллеры Siemens S7-300 CPU 319-3 PN/DP. Серия SIMATIC S7-300 является модульным ПЛК, соответственно состоит из разнообразного набора модулей, как показано на рисунке 11 [13,29].

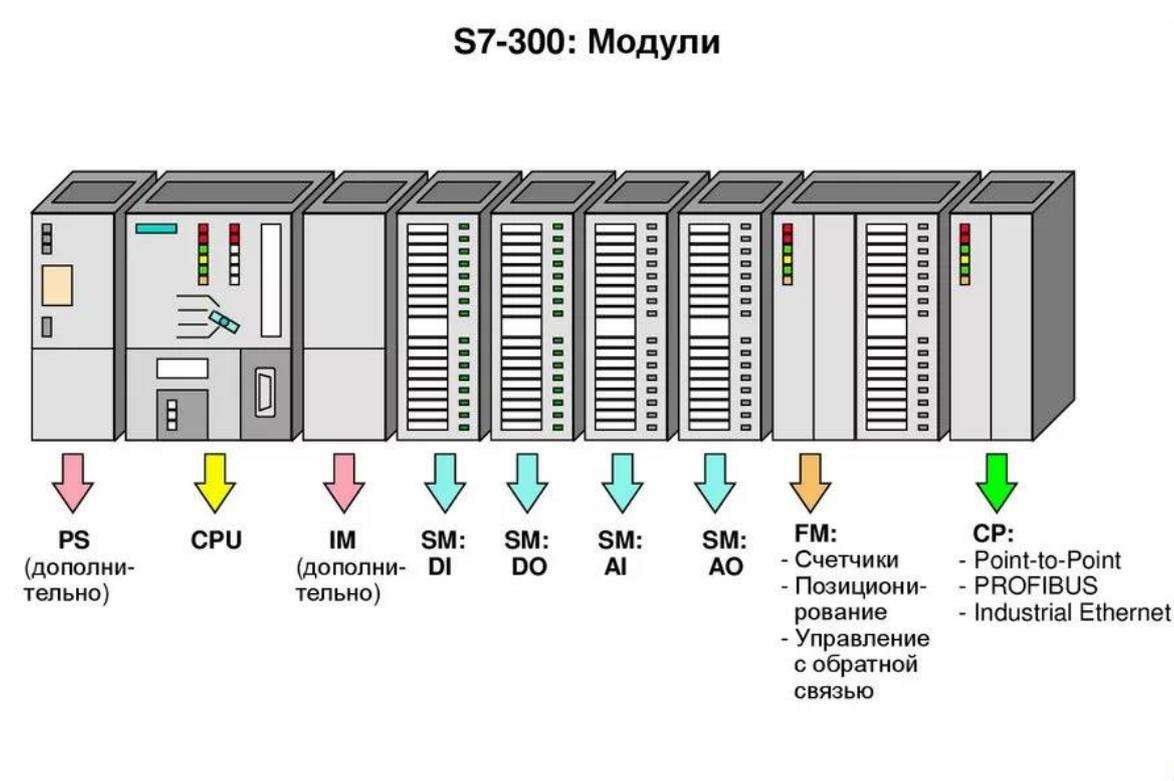


Рисунок 11 – Модульная система SIMATIC S7-300

Модули, входящие в систему SIMATIC, устанавливаются на специализированную монтажную стойку и подключаются между собой шинными соединителями. Модуль питания обеспечивает подачу электроэнергии ко всем внутренним компонентам станции. Модуль центрального процессора отвечает за хранение данных и выполнение управляющей программы. Функциональные модули выполняют специализированные функции, такие как ПИД – регулирование и позиционирование, обработка осуществляется независимо от CPU. Коммуникационные процессоры обеспечивают возможность подключения к сетям PROFIBUS, ETHERNET, PROFINET, снижая нагрузку, связанную с осуществлением коммуникационных задач, с модуля CPU. Сигнальные модули (SM, DI, DO, AI, AO) выполняют функцию расширителей аналоговых и дискретных входов/выходов. Интерфейсный модуль обеспечивает возможность создания многорядных конфигураций станции [4]. С помощью интерфейсных модулей осуществляется связь между корзинами, как показано на рисунке 12.

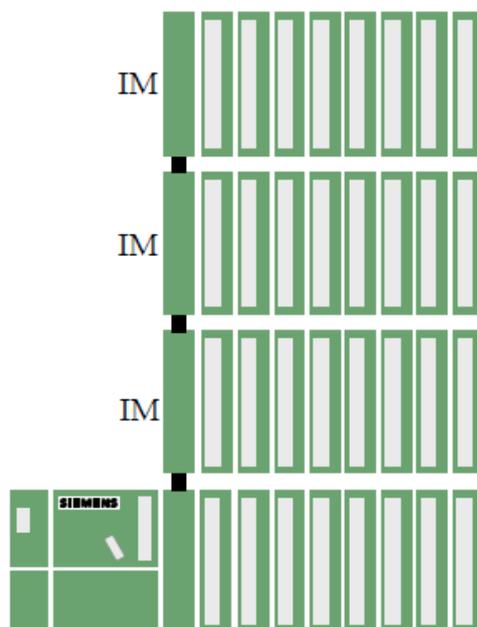


Рисунок 12 – Многорядная конфигурация SIMATIC S7-300

Все модули SIMATIC S7-300 соединены в стойках посредством двух шин, I/O-шины или шины входов/выходов, также называемой периферийной шиной (Р-шиной) и коммуникационной шины (К-шины) [17].

По I/O-шине осуществляется высокоскоростной обмен входными и выходными сигналами, а по К-шине – обмен большими объемами данных (например, с CP или FM).

При монтаже модулей SIMATIC S7-300 на одной стойке необходимо придерживаться следующих правил:

- Справа от места крепления модуля центрального процессора допускается установка не более 8 функциональных модулей.
- Суммарное потребление тока модулями, установленными в пределах одной стойки, и подключенных по шинному соединителю, в общем случае не может превышать 1,2 А

При установке составных модулей серии S7-300 необходимо придерживаться следующих правил [32]:

- Интерфейсный модуль перманентно находится в слоте под номером 3.
- IM располагается левее первого установленного сигнального модуля.
- На одной стойке может быть размещено не более 8 модулей.
- Общее потребление тока всех модулей, расположенных на стойке, не может превышать установленное значение в 1,2 А.

2.2. Концепция памяти CPU серии SIMATIC S7-300

Память в CPU серии SIMATIC S7-300 можно разделить на 3 участка, таких как загрузочная, рабочая и системная память.

Загрузочная память размещается на специализированной карте памяти SIMATIC MMC. Данные карты и тип памяти служат для хранения логических блоков и блоков данных, а также системных конфигураций, соединений, параметров модулей и т.д. При загрузке проекта с программатора в CPU программа пользователя и конфигурация системы попадает именно в

загрузочную память, при этом пользовательские комментарии и символьные имена переменных не попадают в системную память.

При отсутствии встроенной загрузочной памяти, наличие ММС является обязательным условием функционирования CPU, однако стоит отметить, что в некоторых типах процессоров, например, серии S7-1200 реализована интегрированная в CPU память типа EEPROM, в этом случае ММС носит опциональный характер.

Из загрузочной памяти операционная система CPU копирует необходимые для работы данные пользовательской программы в область рабочей памяти, данная область представляет собой быструю RAM-память. В область рабочей памяти попадают в том числе и данные об аппаратной составляющей станции ПЛК, исключением являются неиспользуемые и невызываемые программные блоки.

Системная память интегрирована в CPU и содержит области памяти, к которым выполняется обращение в пользовательской управляющей программе. Также в её состав входят диагностический и коммуникационный буферы [5]. На рисунке 13 представлена структурная схема организации памяти в CPU серии SIMATIC S7-300.

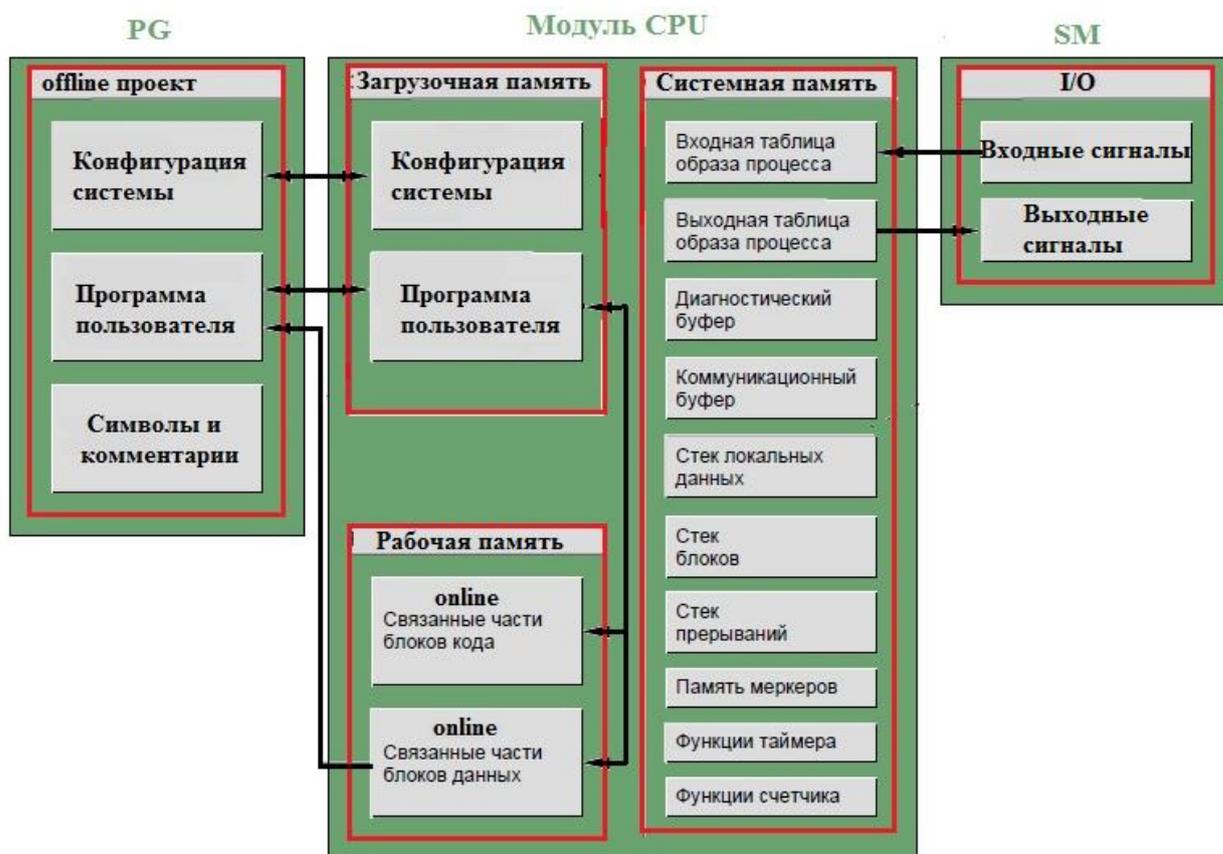


Рисунок 13 – Структурная схема организации памяти в CPU серии SIMATIC S7-300

Выводы по разделу

В данном разделе рассмотрена модульная составляющая программируемых логических контроллеров Siemens серии SIMATIC S7-300, а также функциональное назначение модулей и правила их монтажа. Рассмотрена концепция памяти CPU программируемых логических контроллеров данной серии.

3 Инструменты разработки программного обеспечения Siemens

3.1 SIMATIC Manager

Любой глобальный технологический процесс может быть разделён на составляющие его операции, представляющие собой также технологические процессы, только менее масштабного уровня. Таким образом, первоочередная задача заключается в разделении глобального технологического процесса на отдельные процессы, иными словами проводится декомпозиция проекта или технологического процесса [18]. Пример декомпозиции процесса представлен на рисунке 14.

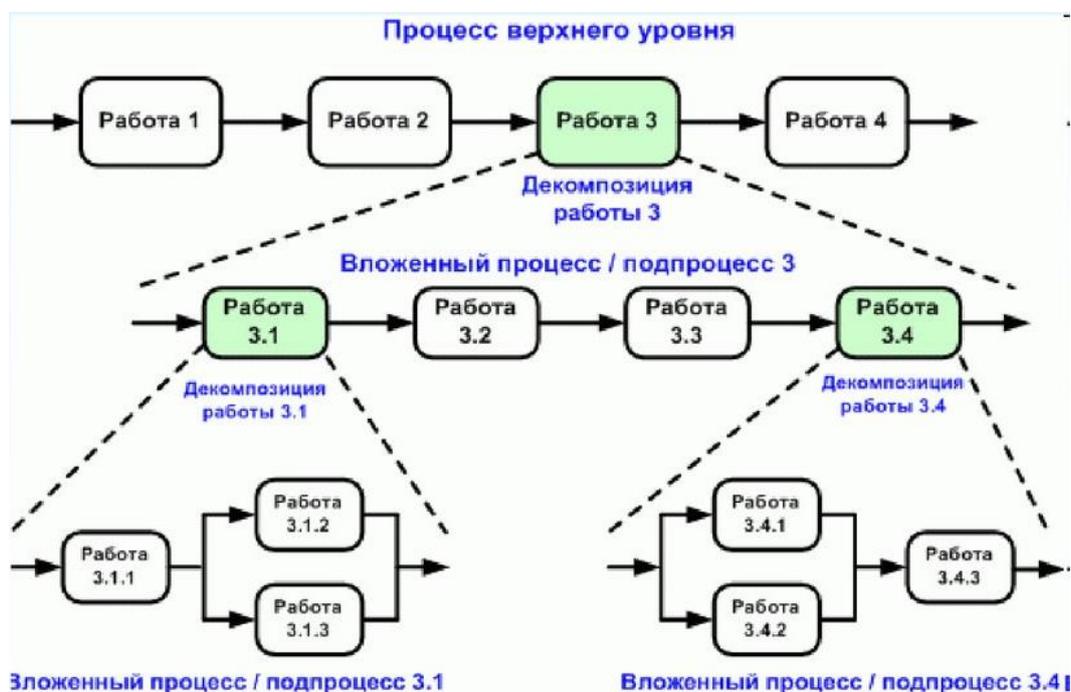


Рисунок 14 – Декомпозиция производственного процесса

После выделения частных процессов, следующим этапом будет выбор аппаратной конфигурации для осуществления процесса автоматизации, а именно. Учитывается необходимая производительность, тип CPU, необходимое количество и тип сигнальных модулей, конфигурация сетей и прочее.

После выполнения двух вышеописанных шагов происходит непосредственное конфигурирование аппаратной части в специализированной среде разработки и ее загрузка в CPU. Помимо этого, на данном этапе начинаются работы по разработке необходимого программного обеспечения.

При выполнении задач по автоматизации технологических объектов на базе программируемых логических контроллеров серии SIMATIC S7-300, все операции, связанные с конфигурацией и разработкой, осуществляется в рамках такой среды разработки как SIMATIC S7 Manager. Структура проекта, разработанная в пакете SIMATIC Manager представлена на рисунке 15.

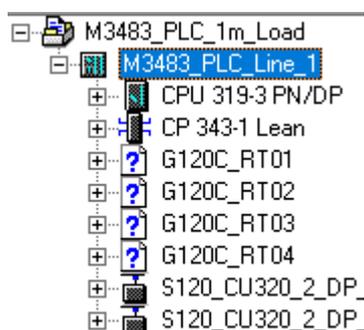


Рисунок 15 – Структура проекта

Для создания конфигурации станции PLC S7-300 используется стандартный инструмент Hardware Configuration пакета SIMATIC Manager. При помощи Hardware Configuration также можно производить параметризацию модулей и корректировку адресации [25]. Окно настроек Hardware Configuration представлено на рисунке 16.

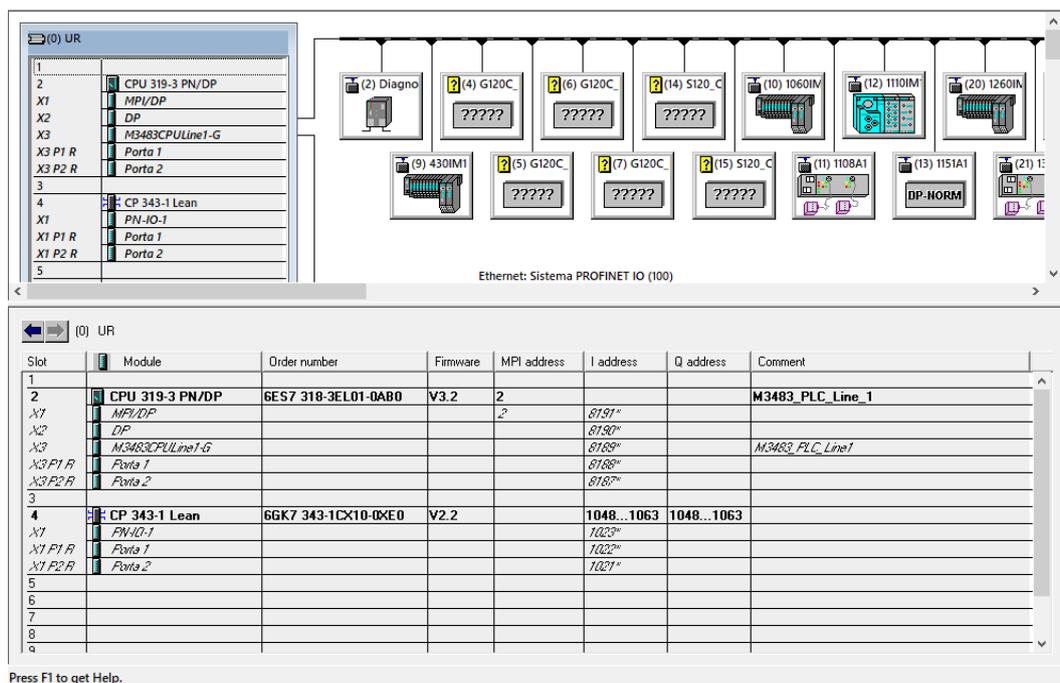


Рисунок 16 – Hardware Configuration

После завершения конфигурации станции, скомпилированная информация, содержащая устройства, их адресации и прочее записывается в объект System data, доступный для загрузки в CPU программируемого логического контроллера. Готовый объект System data представлен на рисунке 17.

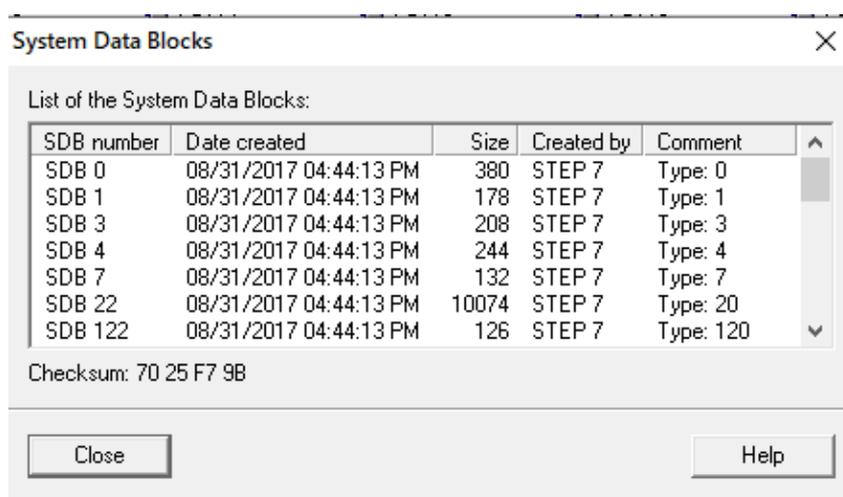


Рисунок 17 – Sistem data

Информационное сообщение System data включает в себя пакет контрольной суммы Checksum, служащий идентификатором корректно скомпилированной информации о аппаратном обеспечении станции.

При необходимости автоматически сконфигурированные параметры адресации для модулей и устройств можно изменить. Однако, необходимо не забывать учитывать действующее правило уникальности адресов. Подробнее рассмотрим логику битовой адресации на примере модулей станции SIMATIC S7-300. На рисунке 18 представлена логика битовой адресации SM модуля.

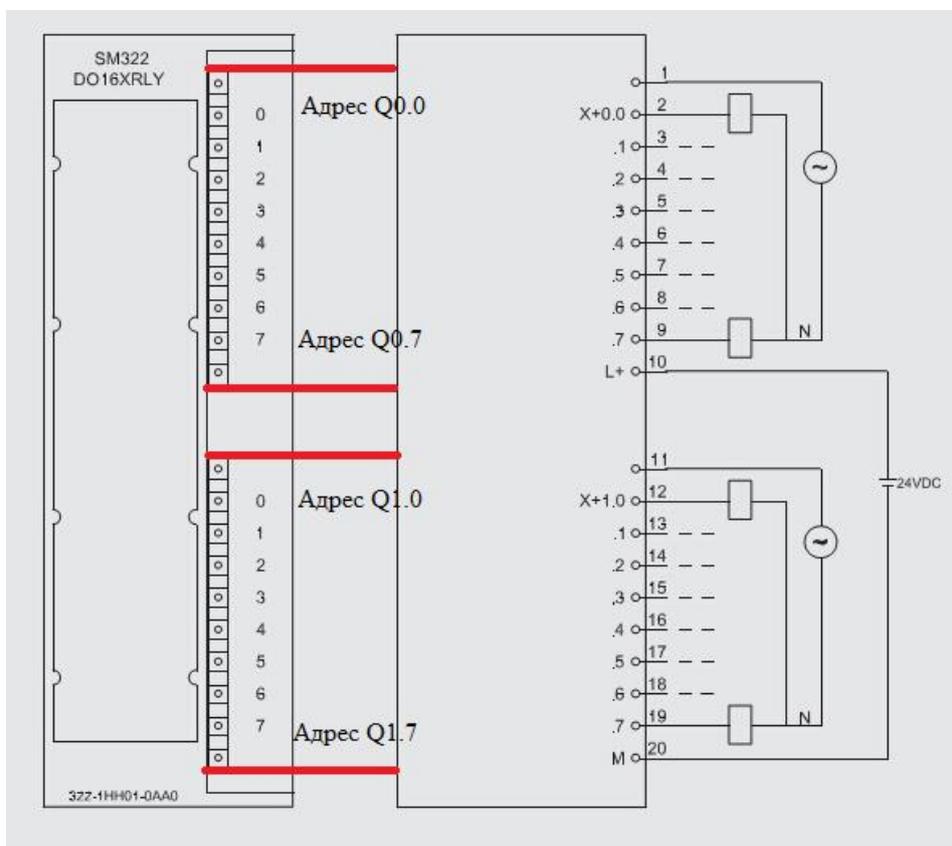


Рисунок 18 – Битовая логика адресации SM модуля

Логика битовой адресации в многоуровневых системах реализована сходим образом и представлена на рисунке 19.

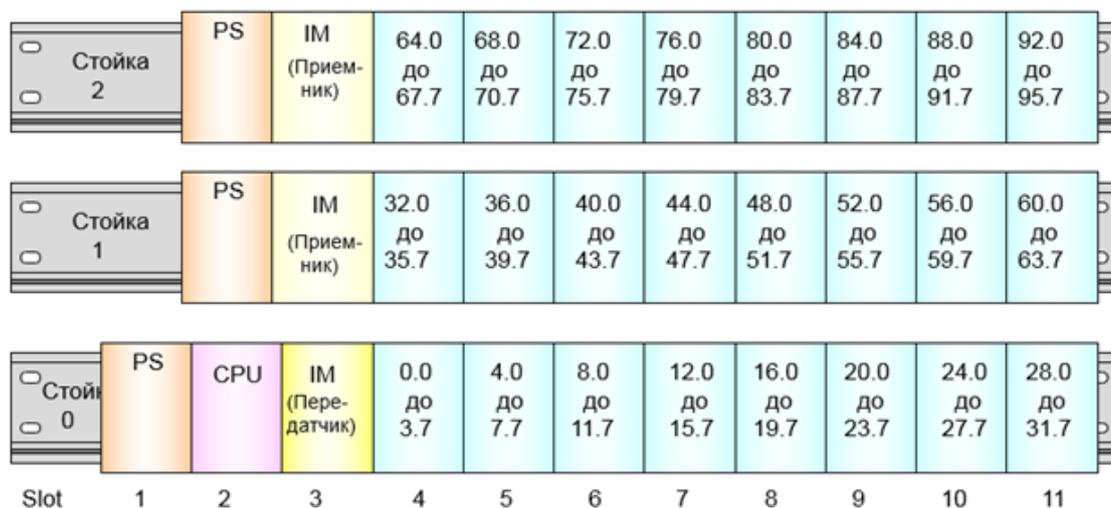


Рисунок 19 – Битовая логика адресации в многоуровневых системах

3.2 Обработка программы пользователя, типы и виды программных блоков

При старте работы станции CPU проводит полный новый старт с вызовом организационного блока OB100. Происходит обнуление всех таймеров и счетчиков, не определенных как сохраняемые, а также битов внутренней памяти (меркеров) и всех прерываний. После чего запускается главная программа.

Главная программа, блок OB1, обрабатывается центральным процессором PLC циклически. После запуска цикла работы ПЛК и контроля времени осуществляется опрос состояния входных модулей, далее выполняется обработка пользовательской программы, по результатам которой формируется образ состояний выходных модулей, непосредственно передаваемый в них. Схема цикла обработки организационного блока OB1 OB1 представлена на рисунке 20.

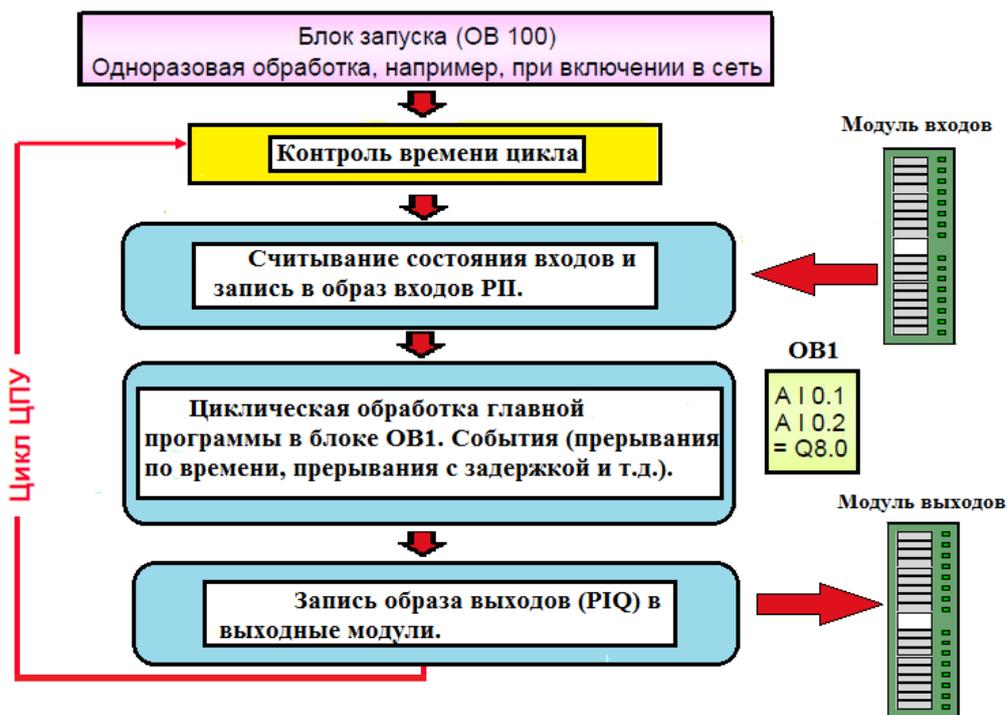


Рисунок 20 – Обработка главной программы

Главная программа обладает наименьшим приоритетом обработки из всех организационных блоков. Ввиду низшего приоритета, возникающие события могут прервать главную программу в любом месте, на котором они возникли, после чего CPU выполнит связанные с событием прописанные инструкции/процедуры/программу, а затем обработка главной программы блока ОВ1 возобновиться.

Прерывания и ошибки являются теми самыми событиями, которые могут влиять на работу главной программы. Прерывания являются ожидаемыми программой событиями, а ошибки являются реакцией системы на возникновение разного рода неисправностей или нарушений. Если ошибка не зависит от обрабатываемой программы, а является следствием, к примеру, нарушения подачи электропитания, то такой вид ошибок называется асинхронными, в противном случае синхронными.

Каждому событию соответствует специальный стандартизированный блок ОВ, либо разработанные пользователем функции и блоки. При возникновении события, соответствующего прописанным требованиям, CPU вызывает необходимый организационный блок. Организационный блок является частью свободно редактируемой пользовательской программы, в которой можно прописать все необходимые нам процедуры и программы, которые будут обработаны системой при возникновении конкретных событий [6]. На рисунке 21 представлен перечень доступных к использованию организационных блоков для CPU семейства SIMATIC S7.

Организационный блок	Вызывается	Приоритет	
		По умолчанию	Возможные изменения
ОВ 1 свободного цикла	Циклически операционной системой	1	Нет
TOD-прерывания ОВ 10 ... ОВ 17	В определенное время суток или через равные промежутки времени (например, ежемесячно)	2	2 ... 24
Прерывания с задержкой времени ОВ 20 ... ОВ 23	По истечении запрограммированного времени, управляется из пользовательской программы	3 ... 6	2 ... 24
Циклические прерывания ОВ 30 ... ОВ 38	Регулярно через запрограммированные интервалы времени (например, каждые 100 мс)	7 ... 15	2 ... 24
Прерывания процесса ОВ 40 ... ОВ 47	По сигналу прерывания от I/O-модуля (модуля входа/выхода)	16 ... 23	2 ... 24
Мультипроцессорное прерывание ОВ 60	Пользовательской программой при возникновении события в мультипроцессорном режиме	25	Нет
Ошибки резервирования ОВ 70 ОВ 72 ОВ 73	В случае потери резервирования из-за I/O-ошибок В случае ошибки резервирования CPU В случае ошибки резервирования коммуникаций	25	2 ... 26
		28	2 ... 28
		25	2 ... 26
Асинхронные ошибки ОВ 80, ОВ81...ОВ84,86,87 ОВ 85	В случае ошибок, не связанных с выполнением программы (например, ошибка времени – time error, SE-ошибка, диагностическое прерывание, прерывание вставки/удаления модуля, сбой стойки/станции)	26 ²⁾	26
		26 ²⁾	2 ... 26
		26 ²⁾	24 ... 26
Фоновая обработка ОВ 90	Минимальное время продолжительности цикла еще не достигнуто	29 ¹⁾	Нет
Подпрограмма запуска ОВ100, ОВ101, ОВ102	При запуске программируемого контроллера	27	Нет
Синхронные ошибки ОВ 121, ОВ 122	В случае ошибок, связанных с выполнением программы (например, ошибка доступа к I/O)	Приоритет ОВ, вызвавшего ошибку	

Рисунок 21 – Список доступных организационных блоков SIMATIC S7

Рассмотрев доступные организационные блоки следует упомянуть и остальные программные блоки, доступные в STEP 7. На рисунке 22 представлены разновидности программных блоков STEP 7



Рисунок 22 – Программные блоки STEP 7

Системные блоки содержат системную информацию и данные, а стандартные блоки являются своего рода драйверами для модулей FM и CP и содержат заранее разработанный программный код, доступный для использования в пользовательской программе, к примеру обработка информации с RFID Siemens. В состав системных блоков также входят некоторые стандартные служебные блоки, предоставляющие доступ к важным системным функциям, например, SFC20 реализующий перенос данных или SFC21 реализующий инициализацию участка памяти.

Функции (FC) являются программными блоками, применяемыми для описания повторяемых действий определенного функционала, к примеру, вычисления коэффициентов, пересылка пакетов данных, управление конкретным устройством и так далее.

Функциональные блоки (FB) имеют схожий функционал с блоками FC, однако имеют в своем распоряжении собственный служебный участок памяти в виде экземплярного блока данных DFB.

Блоки данных (DB) содержат данные о работе пользовательской программы, скомпонованные в определенную структуру

3.3 Языки программирования в S7

Языки программирования в S7, как и специализированные языки для ПЛК разных производителей, отвечают требованиям стандарта МЭК 61131-3 [24]. Для STEP 7 справедливо выделить 3 основных языка, таких как LAD, STL и FBD.

LAD является языком релейно-контактной логики и имеет непосредственное сходство с электрическими цепями. В его основе лежит применение специализированных блоков, а также разного рода контактов и катушек [30]. Пример программы, реализованной на языке LAD представлен на рисунке 23.

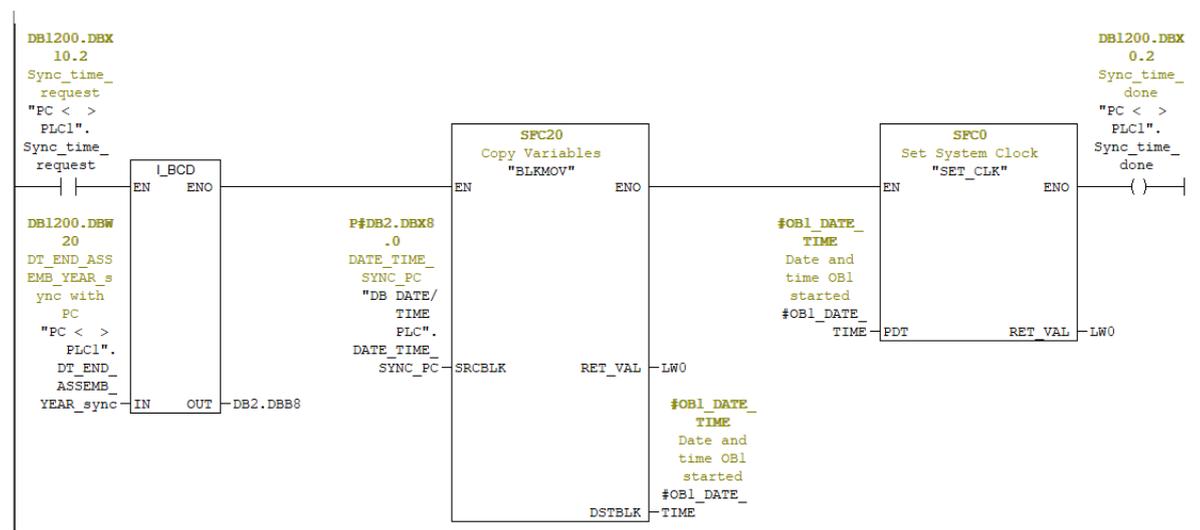


Рисунок 23 – Участок программного кода на языке LAD

STL является языком списка инструкций. В его основе лежит набор доступных команд и инструкций и адресация переменных и объектов, к которым они применяются. Пример программного кода на языке STL представлен на рисунке 24.

```
A      "SQ328.0"                I328.0
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".SQ3280    DB12.DBX0.0

A      "SQ328.1"                I328.1
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".SQ3281    DB12.DBX0.1

A      "M1010.0"                M1010.0
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".M1010_0    DB12.DBX0.2

A      "M1010.1"                M1010.1
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".M1010_1    DB12.DBX0.3

A      "SQ328.4"                I328.4
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".SQ3284    DB12.DBX0.4

A      "SQ328.5"                I328.5
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".SQ3285    DB12.DBX0.5

A      "E328.6"                 I328.6
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".E3826     DB12.DBX0.6

A      "ST100 ICC"              M1000.5
=      "PLC Line 1 >> PLC ST090".ST100_ICC  DB12.DBX0.7

L      DB12.DBB      0
T      PQB 1164
```

Рисунок 24 – Участок программного кода на языке STL

FBD является языком функциональных блочных диаграмм. В нем, для реализации необходимых логических операций используются всевозможные логические блоки, отвечающие требованиям булевой алгебры. Пример программного кода на языке FBD представлен на рисунке 25 [31].

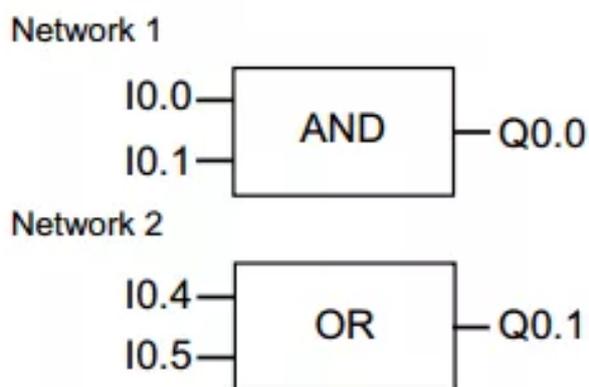


Рисунок 25 – Участок программного кода на языке FBD

3.4 TIA Portal

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) является программным продуктом компании Siemens, предназначенным для разработки HMI некоторых более новых моделей панелей оператора и программирования ПЛК серии SIMATIC S7-1200 и S7-1500 [3]. На рисунке 26 представлена рабочая среда TIA Portal V13.

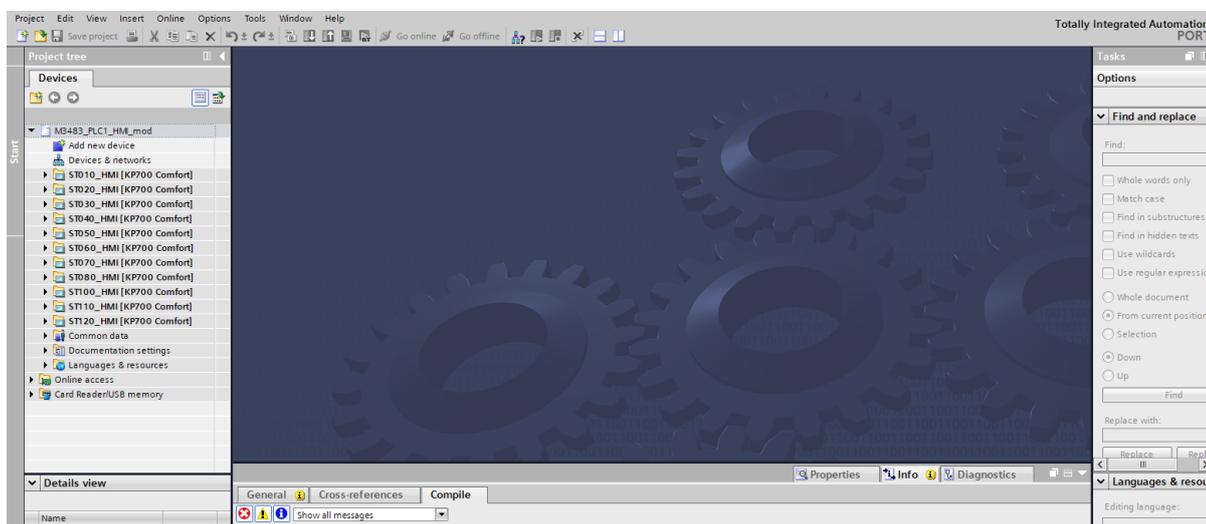


Рисунок 26 – Рабочая среда TIA Portal V13

Понятие TIA, или же комплексная автоматизация технологических процессов, введенное компанией Siemens, предполагает выполнение комплексного процесса программирования всех необходимых функциональных устройств и автоматизацию на всех ее уровнях в единой реализованной системе разработки [1,7].

При выполнении работ в рамках магистерской диссертации рассматриваемая среда разработки использовалась только для создания и программирования функциональных экранов HMI, ввиду специфики установленного оборудования. При работе с TIA Portal V13 разработка программного обеспечения производилась для панелей оператора KP700 Comfort с дополнительными программными пакетами WinCC Comfort, Advanced и Professional от V11 SP2 Update 1. На рисунке 27 представлено изображение используемой панели оператора.



Рисунок 27 – Панель оператора KP700 Comfort

Данная конфигурация панели оператора лишена сенсорного экрана, поэтому взаимодействие с графическими элементами и данными на ней реализуется по средствам нажатия функциональных клавиш на корпусе панели или подключения дополнительных манипуляторов для удобства эксплуатации. Подробные технические характеристики панели оператора представлены на рисунке 28.

Дисплей	
Широкоформатный, 16 млн. цветов, горизонтальный/вертикальный угол обзора 170°, наработка на отказ 80000 часов	
Тип	TFT
Диагональ экрана	7"
Разрешение, точек	800x480
Интерфейс RS 485/422	1 (PROFIBUS)
Интерфейс Ethernet (RJ45)	2 (PROFINET, встроены коммутатор)
SD/USB Host/USB Device	2/ 2/ 1
Системная карта	Есть
Сертификаты	CE, UL, cULus, Ex зоны 2/22, FM класс I раздел 2, C-Tick, GL, ABS, BV, DNV, LRS, NK
Память пользователя	12 МБ
Объем памяти для опций/рецептов	2 МБ
К-во аварийных сообщений/классов сообщений	4000/32
Количество переменных	2048
Количество экранов	500
Размер буфера сообщений	1024
Кривые F(I)/F(x)	Есть/есть
Количество рецептов	300
Количество архивов	50
Количество скриптов	100
Приложения/опции	SmartAccess/SmartService, System Diagnostic S7 controller, Internet Explorer, PDF/Word/Excel viewer, Media Player
Проектирование	WinCC Comfort, Advanced, Professional or V11 SP2 Update 1
Потребляемый ток	0,5 А
Степень защиты	фронтальная панель IP65/корпус IP20
Фронтальная панель, мм	308 x 204/214 x 158
Монтажный проем, мм	280 x 176/196 x 140

Рисунок 28 – Технические характеристики KP700 Comfort

ТИА Portal в сфере разработки и проектирования экранов HMI предоставляет широкий спектр функциональных возможностей по настройке и управлению пользовательскими экранами, доступ к созданию текстовых сообщений, скриптов, циклов и рецептов. На рисунке 29 представлен перечень инструментов контроля и редактирования скетча панели HMI, реализованный в виде дерева проекта.

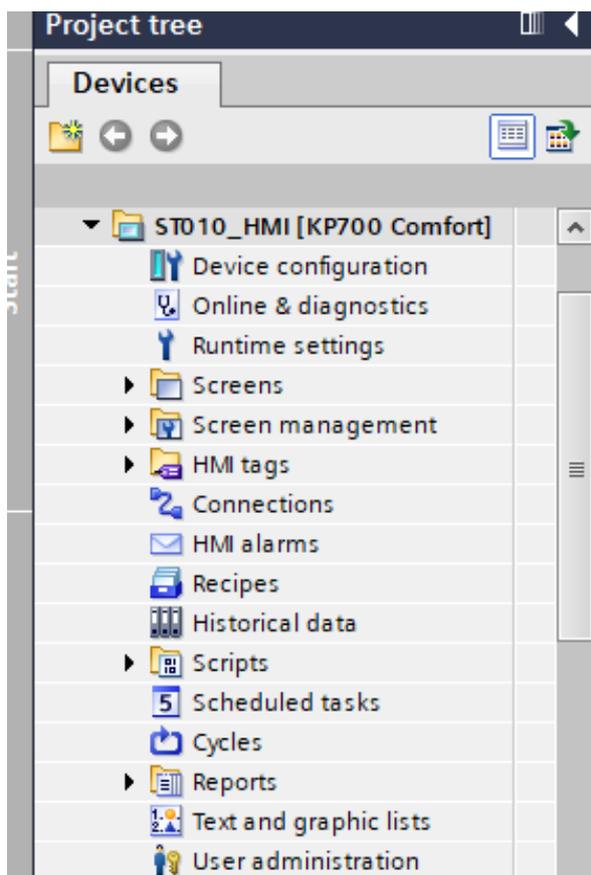


Рисунок 29 –Дерево проекта

Что касается наполнения самого экрана, ТИА Portal предоставляет обширный инструментарий, содержащий как простые графические элементы, функциональные кнопки, всплывающие списки, поля I/O, так и более сложные динамические объекты, изображения и т.д. На рисунке 30 представлен доступный к использованию инструментарий.

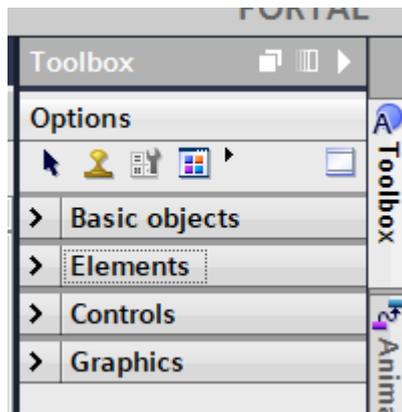


Рисунок 30 – Доступный toolbox

Выводы по разделу

В данном разделе был рассмотрен программный пакет для разработки ПО SIMATIC Manager, предназначенный для работы с программируемыми логическими контроллерами серии S7-300, его функционал, доступный инструментарий, а также общие принципы и шаги разработки управляющей программы с точки зрения декомпозиции производственного процесса. Рассмотрен принцип формирования адресации модулей SIMATIC S7-300. Рассмотрен принцип обработки пользовательской программы, концепция памяти в программируемом логической контроллере, а также типы и разновидности существующих программных блоков. Рассмотрены языки программирования, доступные в S7. Произведен анализ систем HMI линии сборки двигателей, и программного обеспечения TIA Portal V13, предназначенного для работы с ними.

4 Подготовка камеры Cognex к работе

Согласно предъявленному техническому заданию, необходимо было реализовать цикл работы камеры на производственной операции в двух режимах.

Первый режим работы подразумевает выдвижение камеры на рабочую позицию и запуск считывания 2D кода с блока цилиндров. Содержание 2D кода на блоке цилиндров следующее:

- Номер блока 00000-000-00
- Серийный номер N000000007
- Классы цилиндров: АВВА
- Классы коренных опор: ВВСВ
- Дата и время проведения замеров: 09.09.15.20.00
- Дата и время нанесения маркировки: 09.09.15.30.41

Конечный вид считанной информации должен иметь вид единой строки типа 000000000N000000007ABBAВВСВ09091520000909153041

Второй режим работы камеры запускается при невозможности распознавания 2D кода и подразумевает считывание информации с трех строк буквенно-цифровой маркировки, содержащей следующую информацию:

- Серийный номер БЦ N000000007
- Классы цилиндров: АВВА
- Классы коренных опор: ВВСВ

Конечный вид считанной информации должен иметь вид единой строки типа N000000007ABBAВВСВ.

Схематичное расположение маркировок на блоке цилиндров представлено на рисунке 31.



Рисунок 31 – Схематичное расположение маркировок на БЦ

Согласно техническому заданию был разработан алгоритм функционирования цикла работы камеры, представленный на рисунке 32.

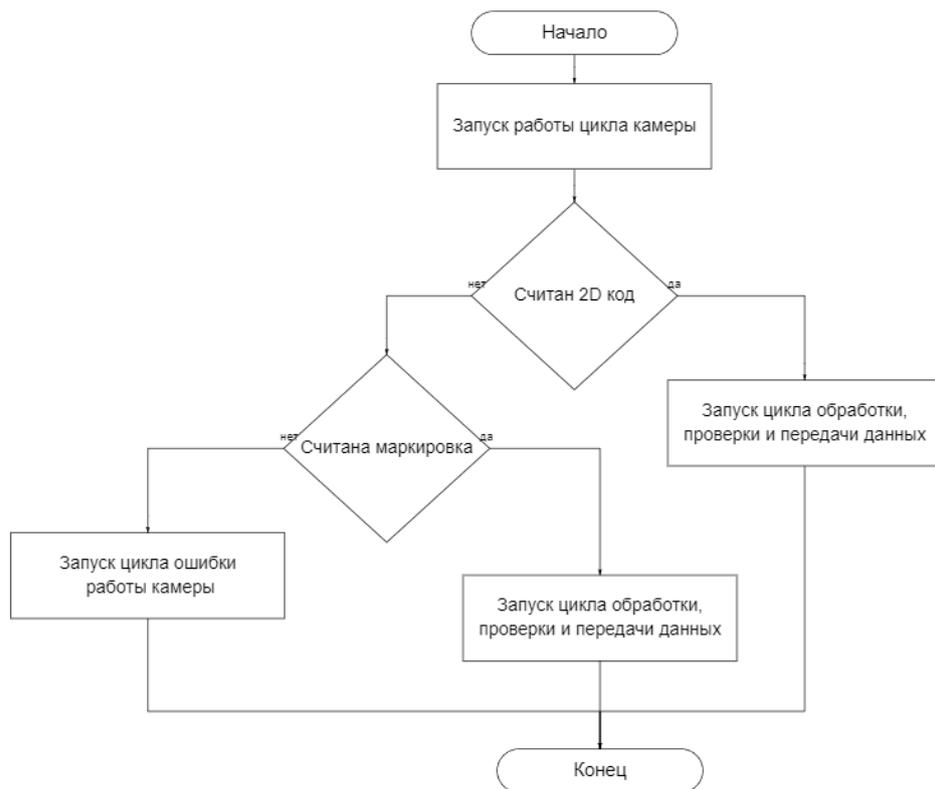


Рисунок 32 – Блок-схема алгоритма работы камеры

Сущность настройки и машинного обучения промышленной камеры заключается в выставлении необходимых фильтров, контрастности, фокуса, режимов работы и их настроек для последующего проведения необходимого количества сеансов съемки с распознаванием изображения и соотношением полученных кадров и информации с необходимыми нам элементами для формирования качественного информационного сообщения DataMatrix.

Камера Cognex функционирует, обрабатывает показания и формирует информационное сообщение (телеграмму) согласно заранее прописанному заданию и алгоритму работы. Состав задания для работы камеры представлен на рисунке 33.

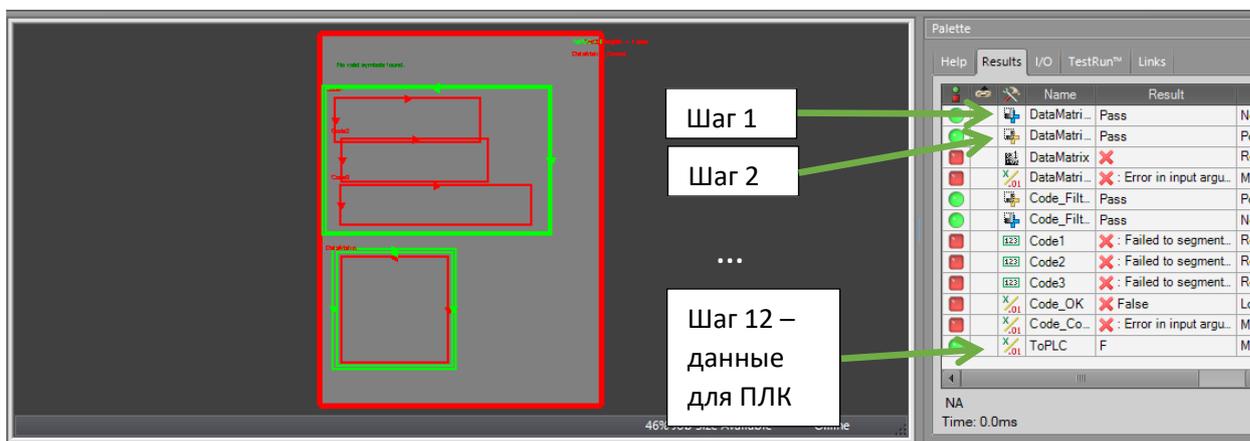


Рисунок 33 – Состав задания для камеры

Как видно из рисунка выше, алгоритм работы камеры состоит из 12 последовательно выполняемых шагов. Первые два шага являются фильтрами участка, где расположена DataMatrix и необходимы для выделения ярких деталей в коде для улучшения восприятия системой. Настройки, применяемые к данным шагам представлены на рисунках 34-37.

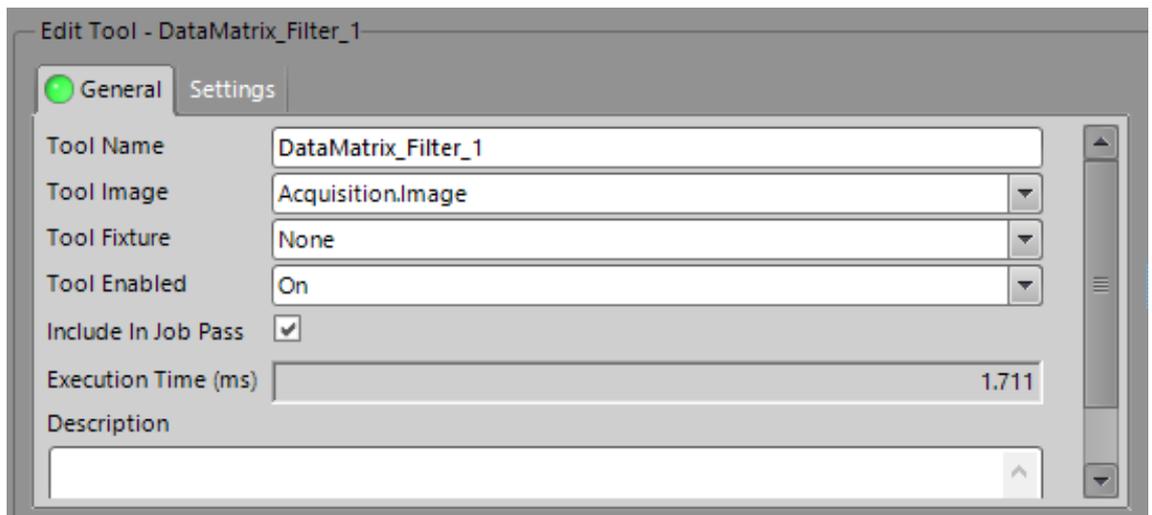


Рисунок 34 – Общие настройки фильтра DataMatrix_Filter_1

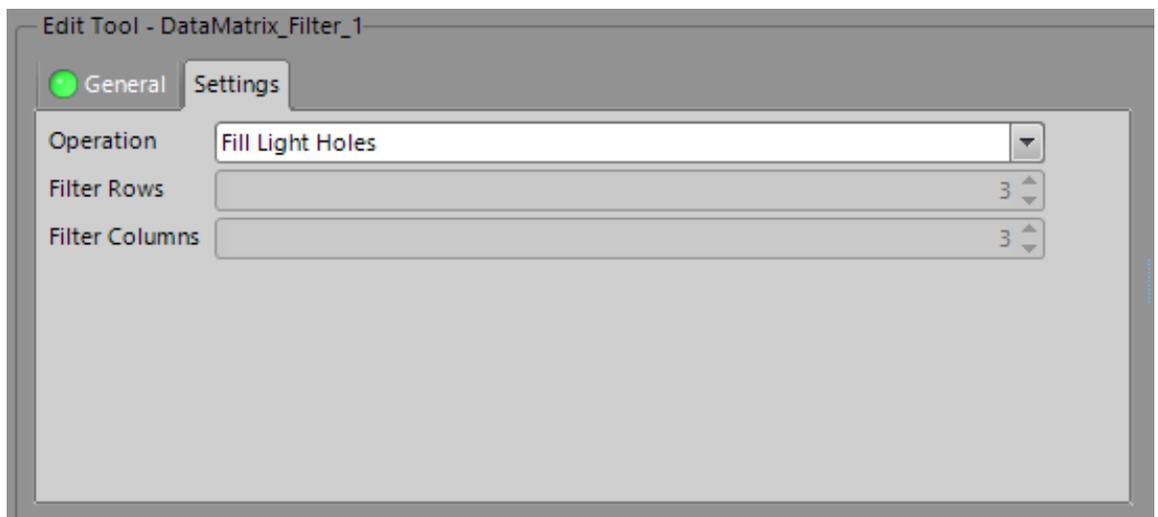


Рисунок 35 – Настройки фильтра DataMatrix_Filter_1

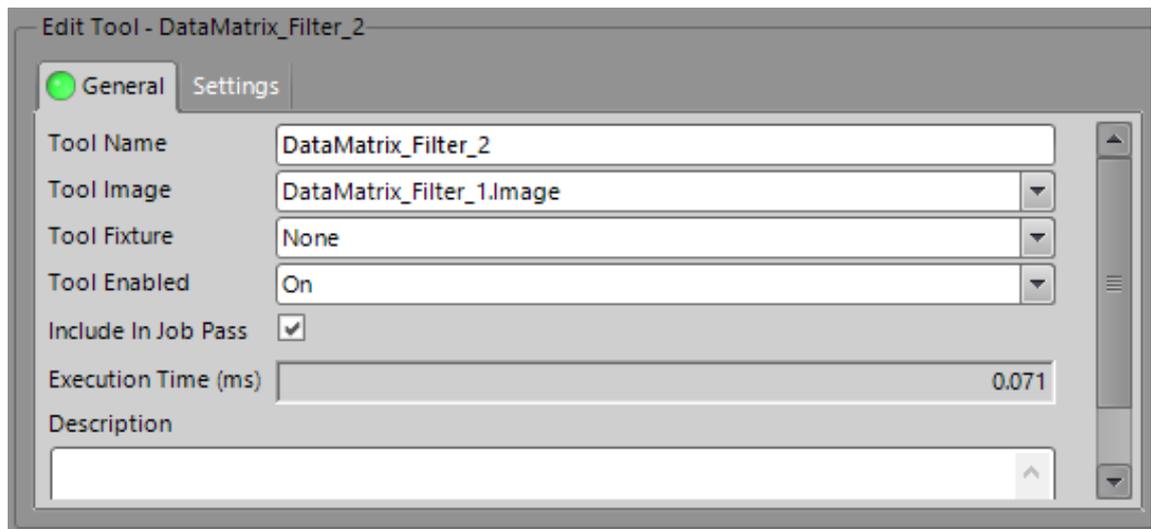


Рисунок 36 – Общие настройки фильтра DataMatrix_Filter_2

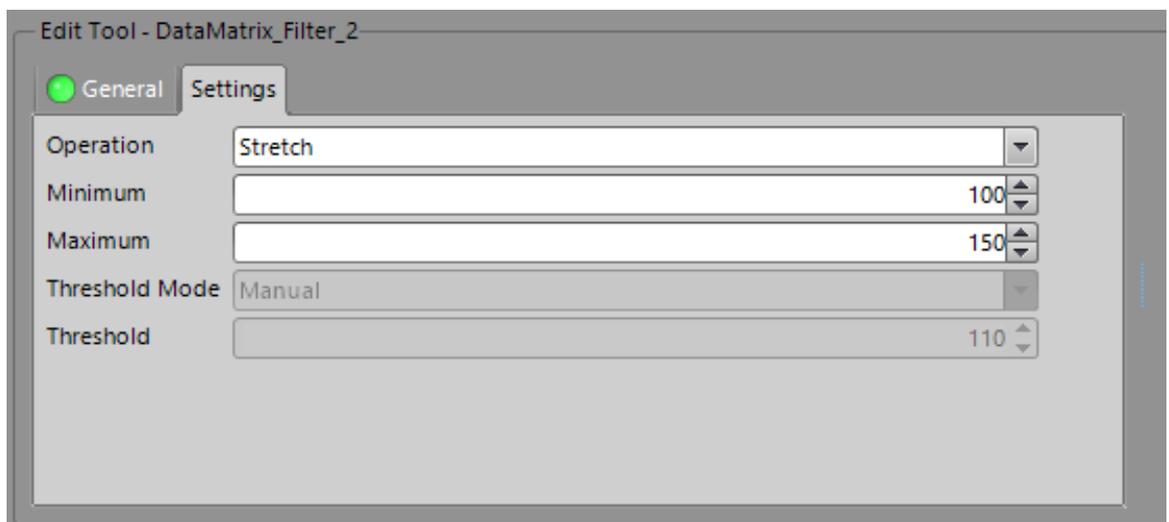


Рисунок 37 – Настройки фильтра DataMatrix_Filter_2

Третий шаг реализует распознавания кода с изображения. В результате формируя текстовую строку с информацией вида 0012344 и так далее. При возникновении ошибки распознавания формируется пустая строка. Настройки, применяемые к данному шагу представлены на рисунках 38 и 39.

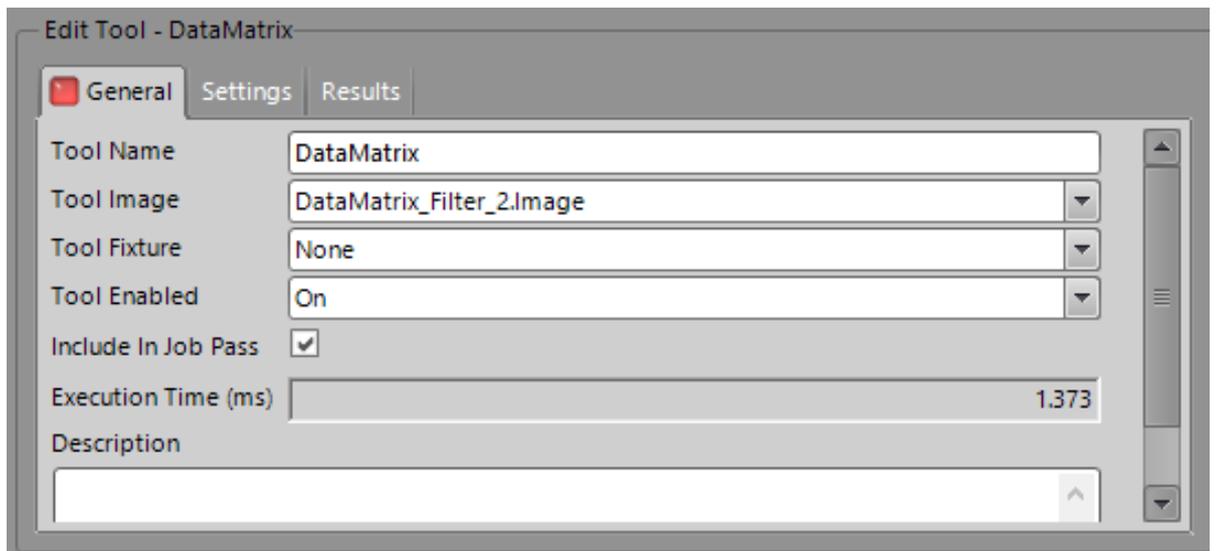


Рисунок 38 – Общие настройки фильтра DataMatrix

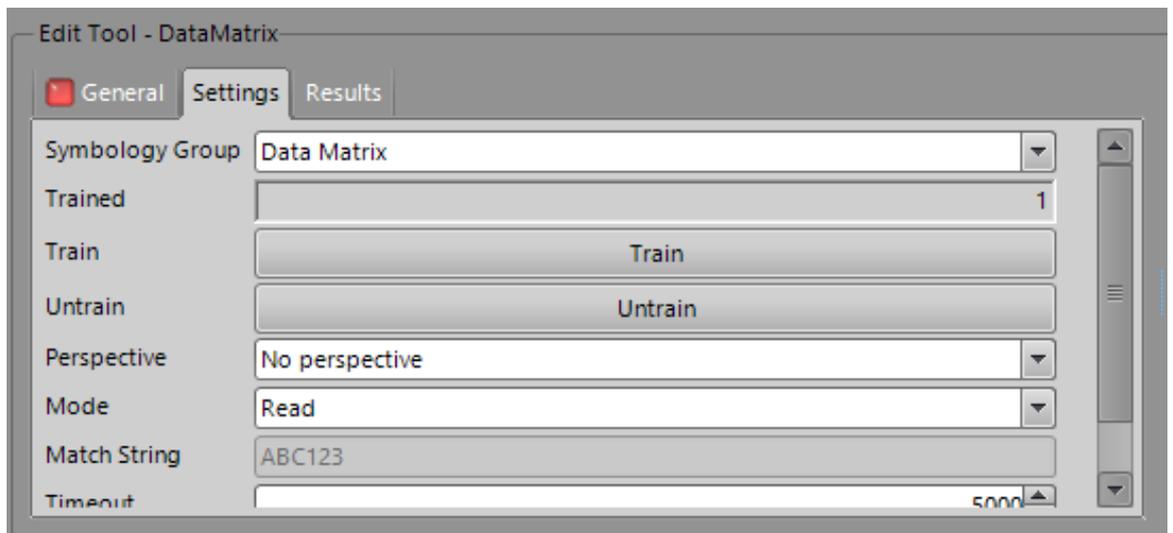


Рисунок 39 – Настройки фильтра DataMatrix

Четвертый шаг добавляет идентификационный символ результата считывания и обработки 2D кода. Таким образом конечное информационное сообщение, при условии успешного считывания приобретает вид D0012344 и так далее. Настройки, применяемые к данному шагу представлены на рисунке 40.

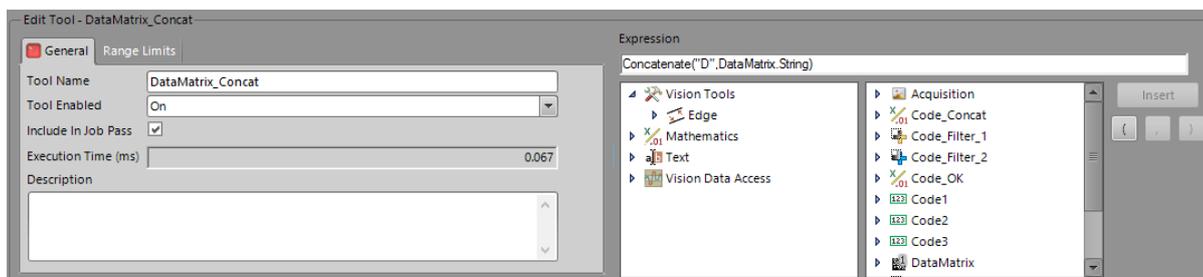


Рисунок 40 – Настройки DataMatrix_Concat

Пятый и шестой шаг являются фильтрами для рабочей зоны, на которой ожидается распознавание буквенно-цифровых маркировок, состоящих из трех строк информации. Настройки, применяемые к данным шагам представлены на рисунках 41-44.

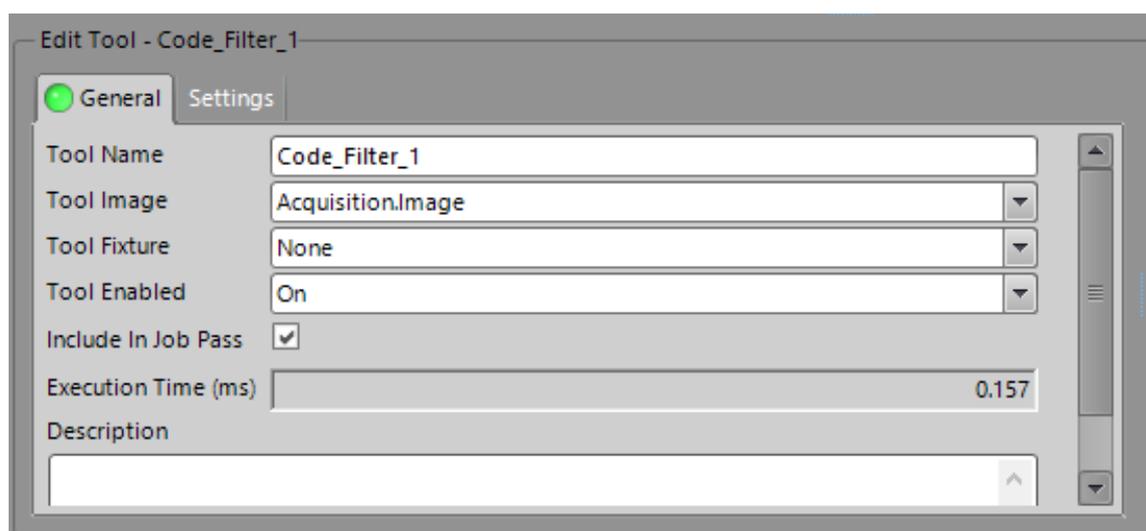


Рисунок 41 – Общие настройки Code_Filter_1



Рисунок 42 – Настройки Code_Filter_1

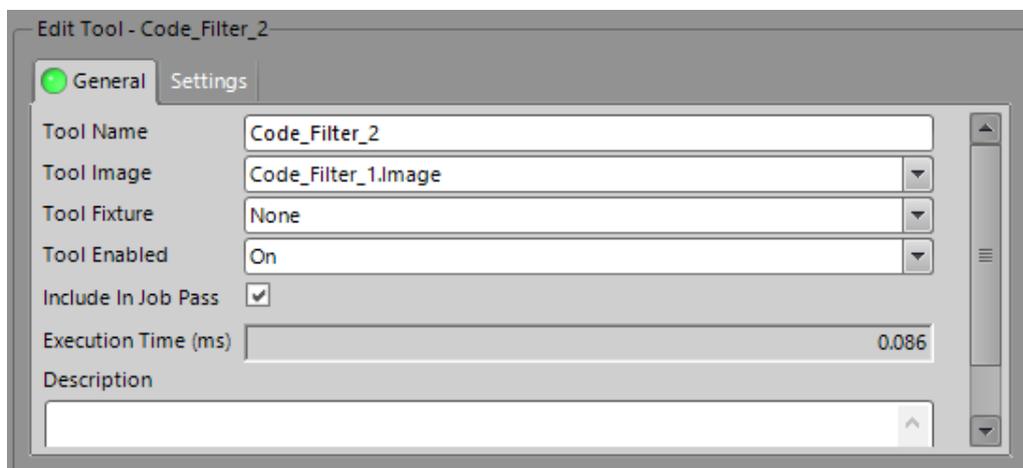


Рисунок 43 – Общие настройки Code_Filter_2



Рисунок 44 – Настройки Code_Filter_2

Седьмая, восьмая и девятая строки реализуют распознавание текста с буквенно-цифровой маркировки. Стандартные инструменты In-Sight способны распознавать только одну строку, поэтому считывание и распознавание производится для каждой из трех строк по отдельности. Настройки, применяемые к данным шагам представлены на рисунках 45-52.

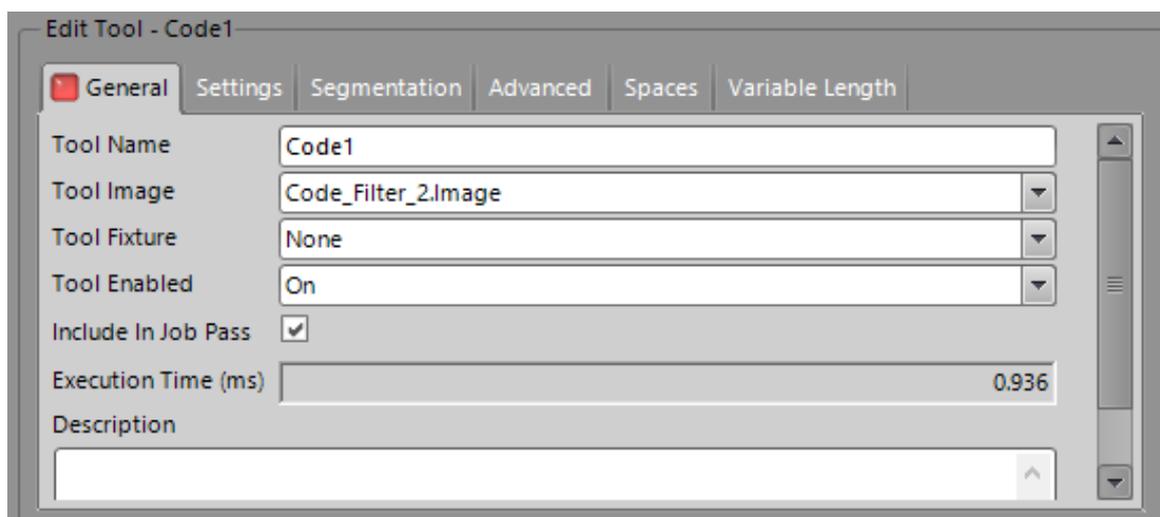


Рисунок 45 – Общие настройки Code1

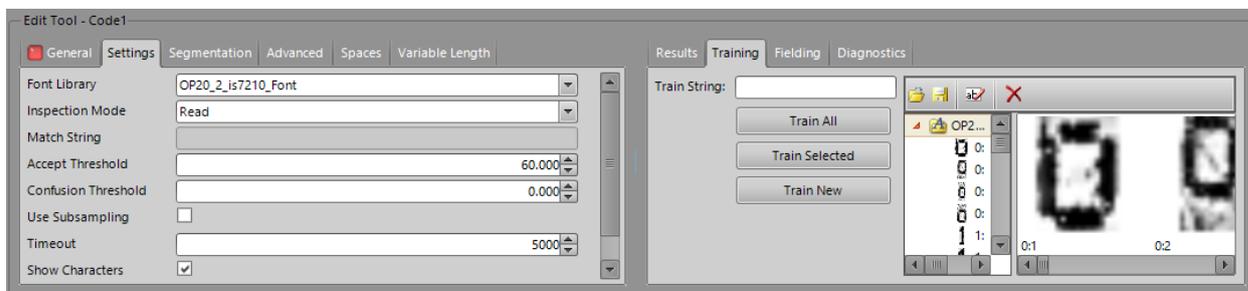


Рисунок 46 – Настройки Code1

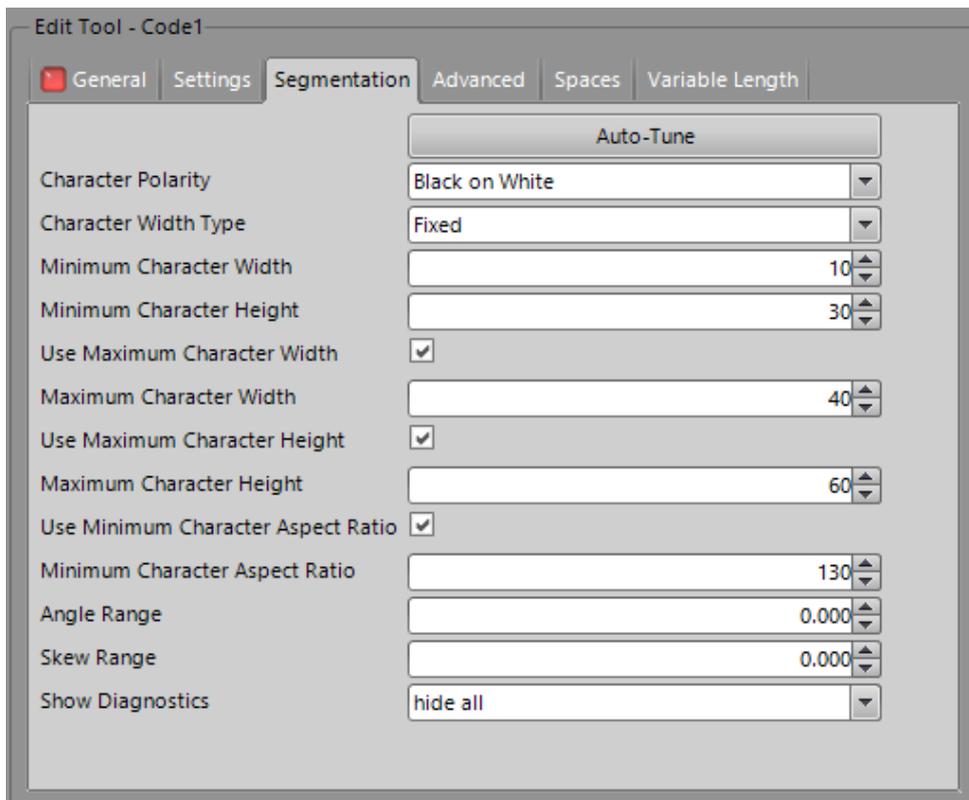


Рисунок 47 – Настройки сегментации Code1

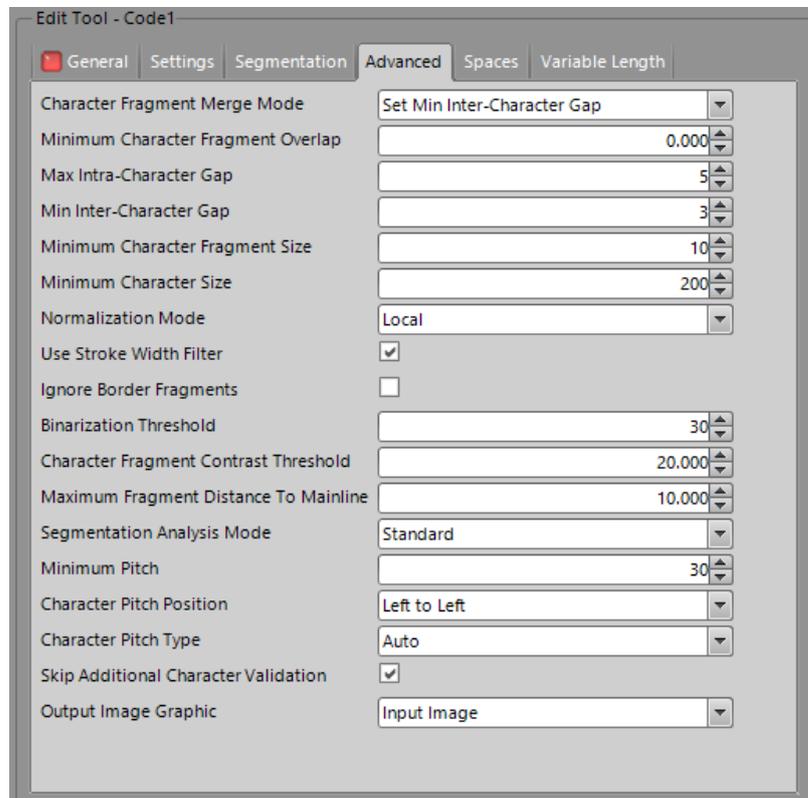


Рисунок 48 – Продвинутые настройки Code1

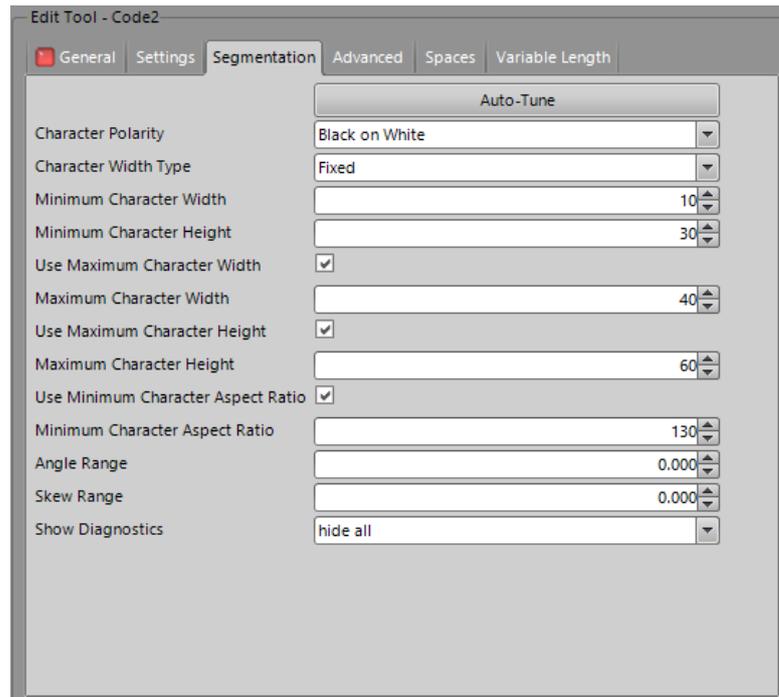


Рисунок 49 – Настройки сегментации Code2

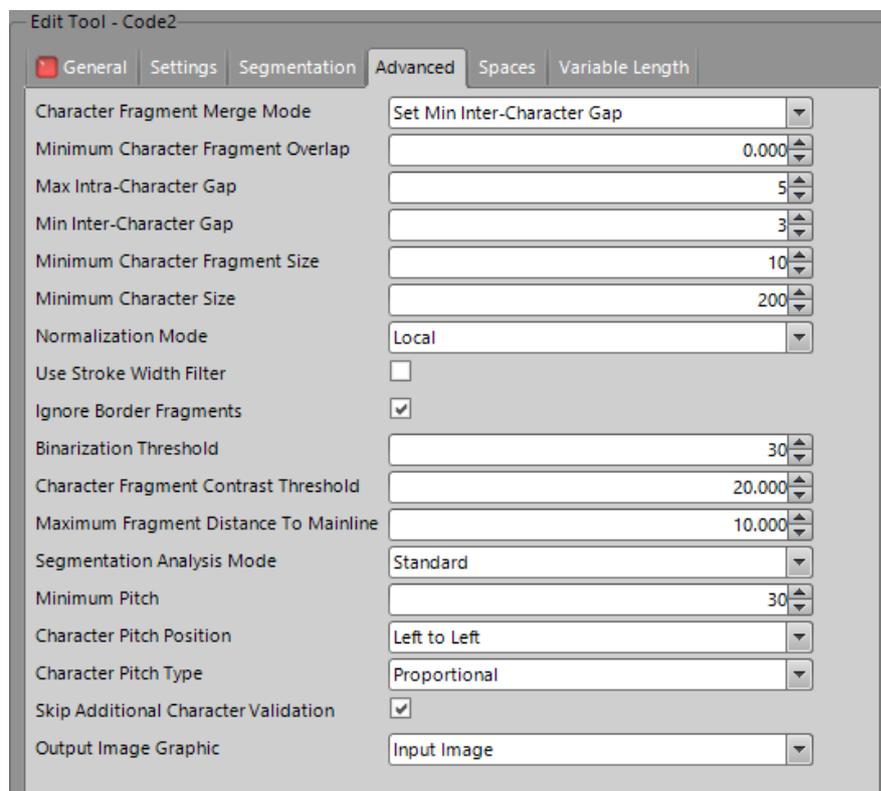


Рисунок 50 - Продвинутые настройки Code2

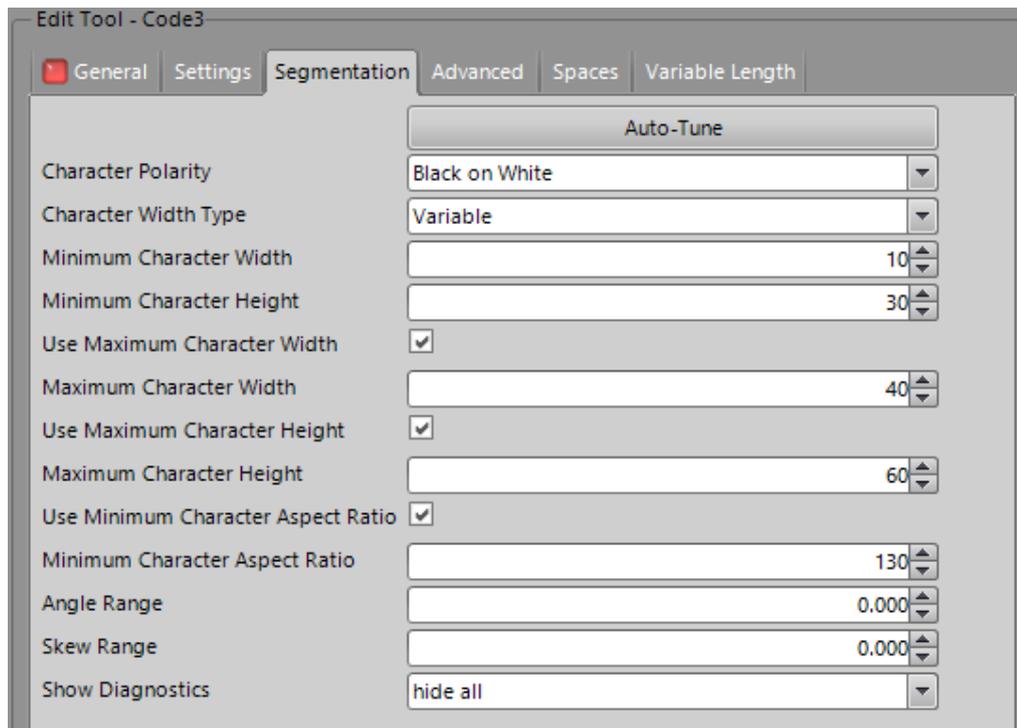


Рисунок 51 – Настройки сегментации Code3

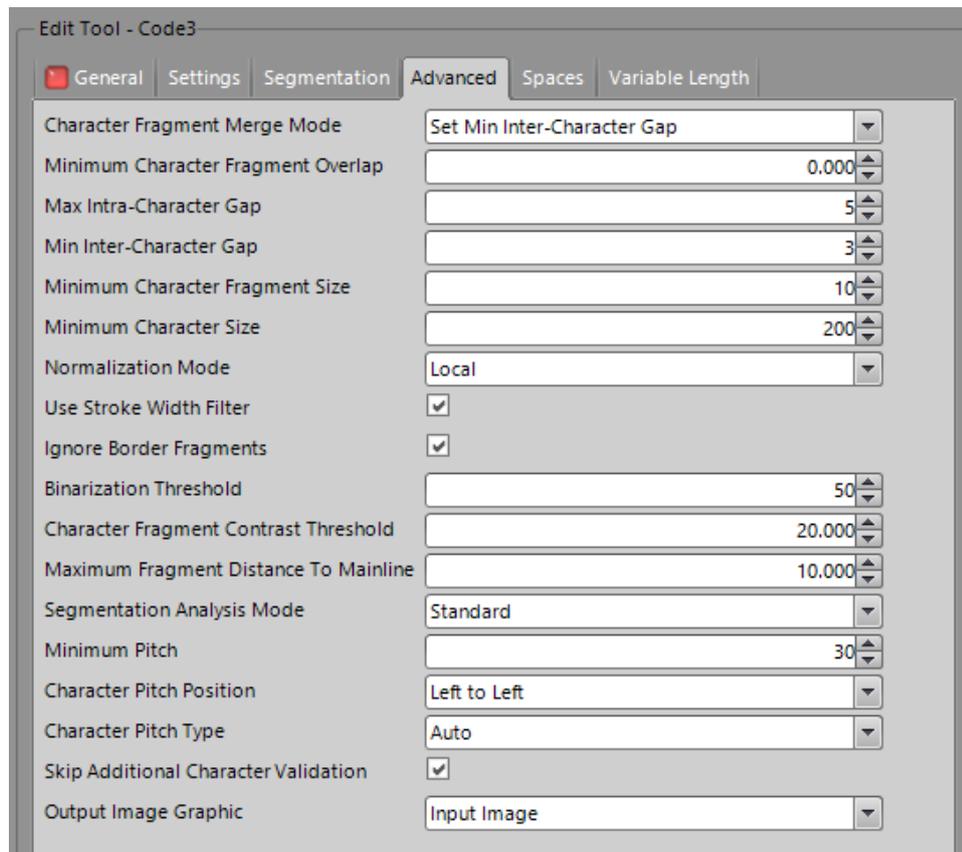


Рисунок 52 – Продвинутые настройки Code3

Десятый шаг проводит проверку успешного распознавания всех трех строк, подлежащих считыванию и распознаванию, при помощи логической операции И. В случае удовлетворения условий распознавания формируется служебная переменная Code_OK. Настройки, применяемые к данному шагу представлены на рисунке 53.

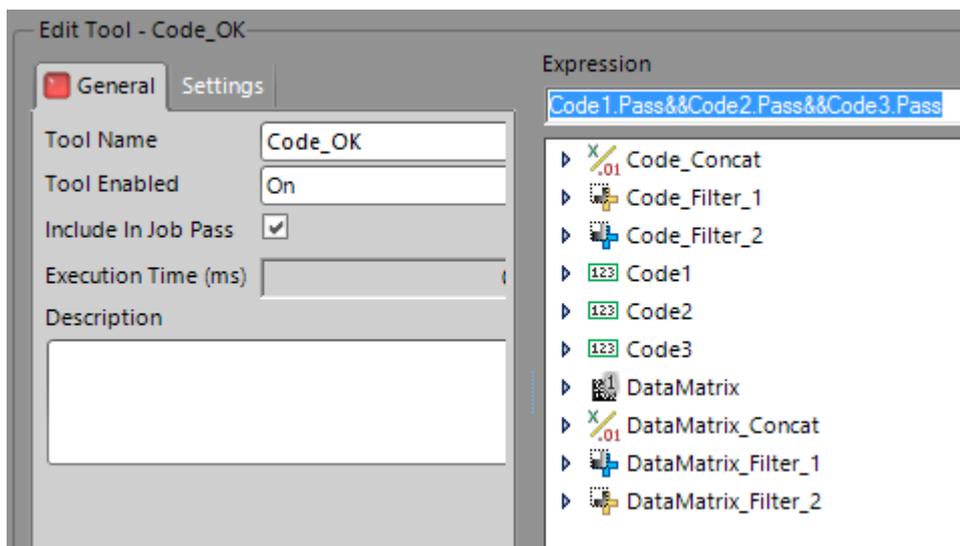


Рисунок 53 – Настройки Code_OK

Одиннадцатый шаг производит объединение трех успешно считанных строк буквенно-цифровой маркировки в единое информационное сообщение с идентификационным символом С в качестве первого байта телеграммы. Настройки, применяемые к данному шагу представлены на рисунке 54.

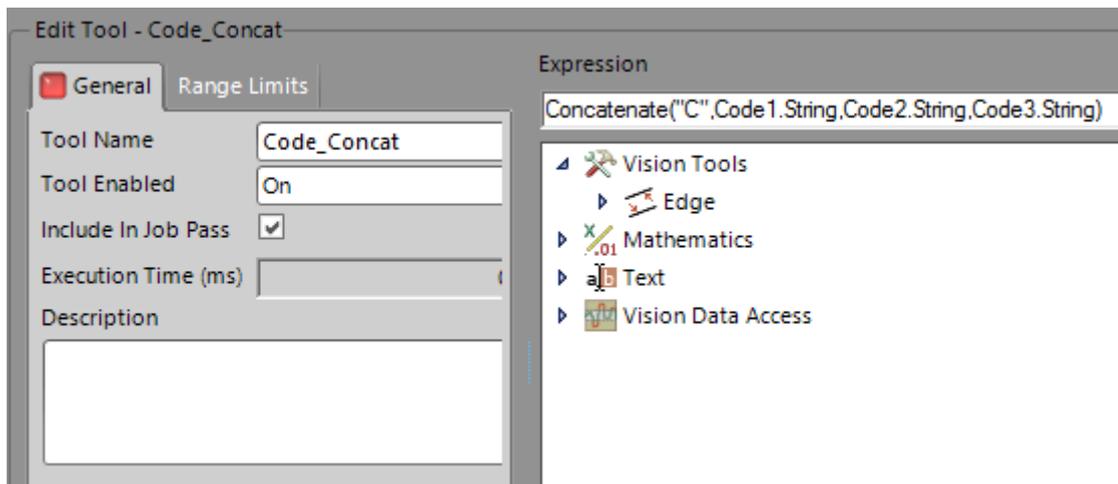


Рисунок 54 – Настройки Code_Concat

Двенадцатый шаг реализует формирование конечного информационного сообщения, текстовой строки toPLC. Она имеет вид D0012344 при условии успешного распознавания информации с DataMatrix или C0012344 при условии успешного считывания буквенно-цифровой маркировки и наличия взведенной служебной переменной Code_OK. В противном случае, при неудачном считывании 2D кода и маркировки, информационное сообщение будет состоять только из идентификатора F, что свидетельствует об ошибке чтения и распознавания. Настройки, применяемые к данному шагу представлены на рисунке 55.

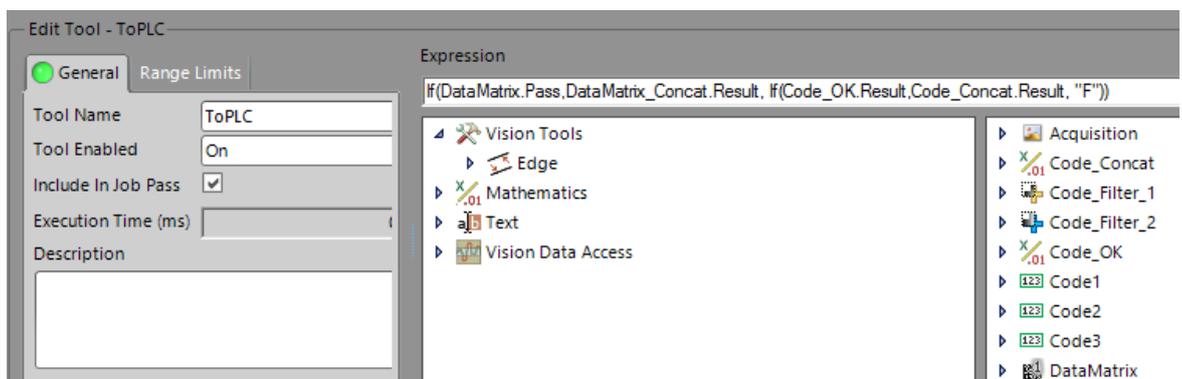


Рисунок 55 – Настройки ToPLC

Несмотря на обширный функционал промышленной камеры и среды программирования In-Sight в области автономного и ручного управления устройством и сбором данных при помощи персонального компьютера, без устройства управления, как правило программируемого логического контроллера, внедренного в состав линии, работа камеры по понятным причинам не может считаться удовлетворительной и отвечать требованиям, предъявляемым к автоматическим системам.

Для установки надежной двухсторонней связи между Cognex и ПЛК Siemens необходимо провести ряд настроек как в среде программирования In-Sight, так и в SIMATIC Step 7 Manager.

Со стороны Cognex в среде разработки In-Sight был выбран интерфейс связи PROFINET и необходимые для него настройки, как показано на рисунке 56.

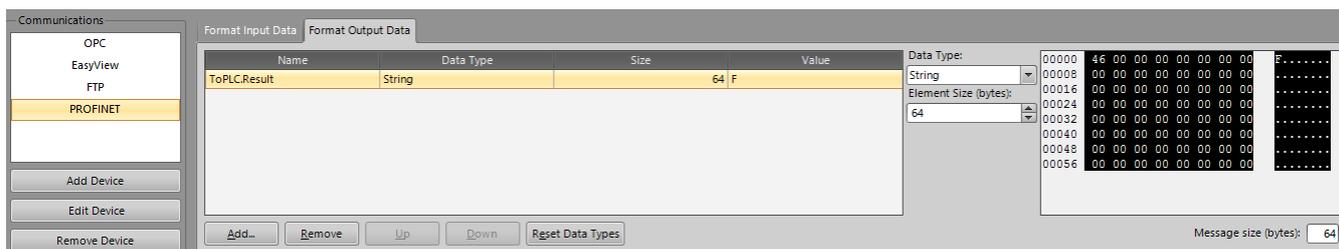


Рисунок 56 – Связь по PROFINET

Каждое сообщение от камеры к ПЛК имеет фиксированный размер в 64 байта и содержит информационный текст с DataMatrix, составляющий около 50 байт, при соотношении 1 байт равен одному символу. Сообщение состоит только из значения строковой переменной, содержащей информацию, подлежащую к передаче на ПЛК. Первый байт сообщения является идентификатором результата работы и имеет вариативное значение D, C или F в зависимости от результата работы и распознавания, далее следует вся считанная информация с 2D кода или буквенно-цифровых маркировок.

Первым байтом сообщения соответственно является идентификатор D, C или F в зависимости от результата распознавания, далее информация с матрицы 2D кода или текстовый код с двигателя.

Цикл работы камеры активируется при поступлении информационного сообщения (триггера) с ПЛК, по завершению цикла съемки камера отправляет соответствующее сообщение в ПЛК. Настройки камеры на работу при получении триггера с ПЛК представлены на рисунке 57.

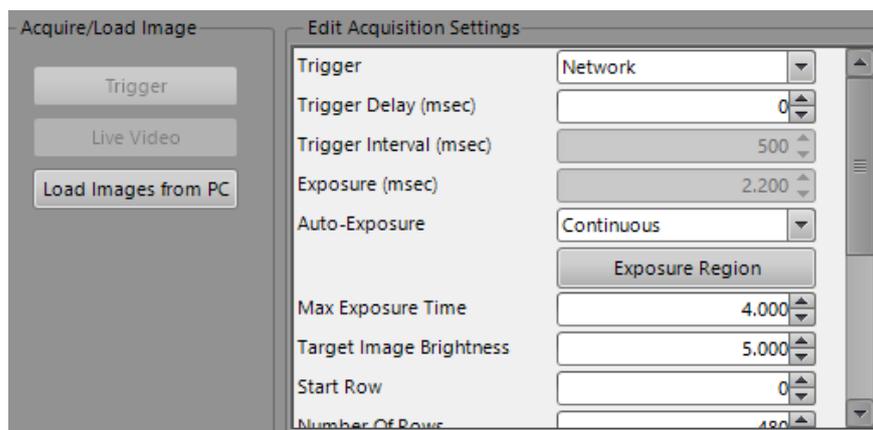


Рисунок 57 – Установка триггера

Со стороны ПЛК Siemens необходимо было обеспечить формирование триггера, считывание и отправку данных. Для реализации данной задачи были разработаны необходимые служебный блок данных DB, хранящий всю необходимую информацию с камеры, представленный на рисунке 58, и функция FC, реализующая связь с камерой, а также обработку и передачу данных.

+100.0	Trigger_ready	BOOL	FALSE	Acquisition status
+100.1	Trigger_ACK	BOOL	FALSE	Acquisition status
+100.2	Acquiring	BOOL	FALSE	Acquisition status
+100.3	Missed_ACK	BOOL	FALSE	Acquisition status
+100.4	Offline_cause_Bit_0	BOOL	FALSE	Acquisition status
+100.5	Offline_cause_Bit_1	BOOL	FALSE	Acquisition status
+100.6	Offline_cause_Bit_2	BOOL	FALSE	Acquisition status
+100.7	Online	BOOL	FALSE	Acquisition status
+101.0	Acquisition_ID_Byte_01	BYTE	B#16#0	Acquisition status
+102.0	Acquisition_ID_Byte_02	BYTE	B#16#0	Acquisition status
+103.0	Inspecting	BOOL	FALSE	Inspection status
+103.1	Inspection_completed	BOOL	FALSE	Inspection status
+103.2	Result_buffer_overrun	BOOL	FALSE	Inspection status
+103.3	Results_valid	BOOL	FALSE	Inspection status
+103.4	Job_loading	BOOL	FALSE	Inspection status
+103.5	Job_load_complete	BOOL	FALSE	Inspection status
+103.6	Job_load_failed	BOOL	FALSE	Inspection status
+103.7	Set_user_data_ACK	BOOL	FALSE	Inspection status
+104.0	Inspection_status	BYTE	B#16#0	Inspection status
+105.0	Job_control_Echo	BYTE	B#16#0	Job control echo
+106.0	Inspection_ID_01	BYTE	B#16#0	Inspection results
+107.0	Inspection_ID_02	BYTE	B#16#0	Inspection results
+108.0	Insp_results_Code_01	BYTE	B#16#0	Inspection results
+109.0	Insp_results_Code_02	BYTE	B#16#0	Inspection results
+110.0	Inspection_results_01	CHAR	' '	Inspection results
+111.0	Inspection_results_02	CHAR	' '	Inspection results
+112.0	Inspection_results_03	CHAR	' '	Inspection results

Рисунок 58 – Фрагмент DB камеры Cognex

На рисунке 59 представлен участок программного кода, формирующий триггер и запускающий цикл работы съемки камеры.

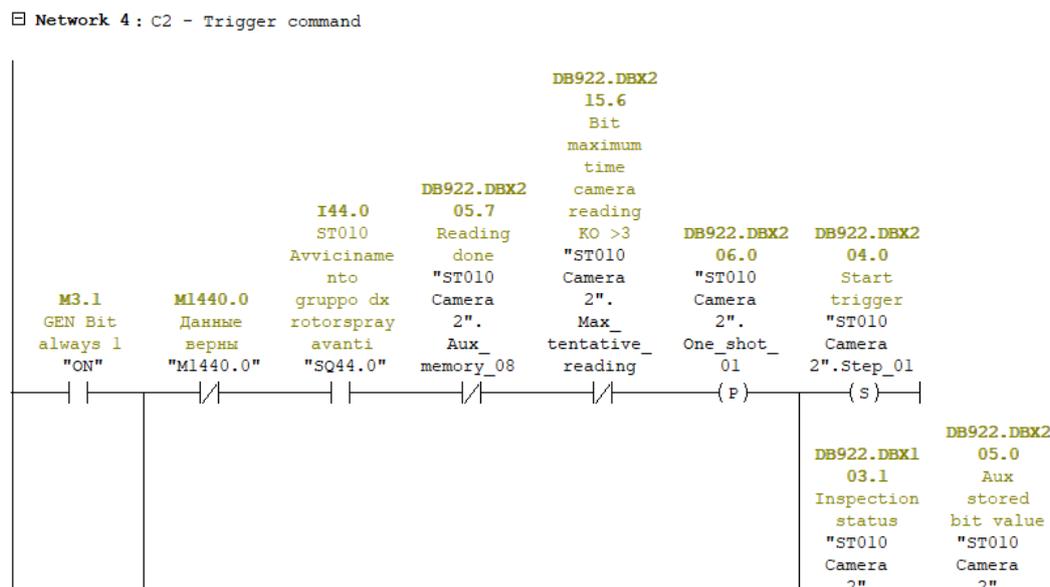


Рисунок 59 – Формирование триггера с последующим запуском работы камеры Cognex

Бит внутренней памяти (меркер) M1440.0 предотвращает повторную работу камеры при получении удовлетворительных результатов. Отслеживание концевика SQ44.0 сообщает системе, что камера находится в рабочем положении. Отслеживание переменной Reading done отслеживает находилась ли камера в цикле работы. Переменная maximum time camera reading подключена к программному счетчику импульсов и отслеживает количество сеансов съемки. Переменная One_shot_01 отслеживает передний фронт сигнала, приходящего в момент съемки камеры. Переменная Start trigger является тем самым необходимым информационным сообщением для запуска цикла съемки камеры Cognex.

После успешного выполнения распознавания элементов камера готова к отправке Ethernet посылки в ПЛК системы управления. Программируемый логический контроллер анализирует полученную информацию по адресам, соответствующим диапазону, объявленному для устройства в hardware configuration проекта и применяемому при обращении к камере в программном коде, как показано на рисунке 60.



Slot	Module	Order number	I Address	Q address	Diagnostic Address
0	M3483COGNEX2-G	157XXX-XX			8122*
X1	Interface				8121*
X1 P1	Port 1				8120*
1	Acquisition Control			400	
2	Acquisition Status		400...402		
3	Inspection Control			401	
4	Inspection Status		403...404		
5	Job Control		405	402	
6	SoftEvent Control			403	
7	User Data - 64 bytes			404...467	
8	Results - 64 bytes		406...473		

Рисунок 60 - Hardware configuration

После получения данных выполняется процесс их переноса в специально созданный Data block для последующей обработки и использования в ходе выполнения технологических операций. Участок программного кода, реализующий чтение информации результатов работы и состояния камеры представлены на рисунке 61.

```

Network 3: C2 - Read data from Camera
//=====
L    PIB 400
T    DB922.DBB 100
L    PIB 401
T    "ST010 Camera 2".Acquisition_ID_Byte_01  DB922.DBB101  -- Acquisition status
L    PIB 402
T    "ST010 Camera 2".Acquisition_ID_Byte_02  DB922.DBB102  -- Acquisition status
L    PIB 403
T    DB922.DBB 103
L    PIB 404
T    "ST010 Camera 2".Inspection_status      DB922.DBB104  -- Inspection status
L    PIB 405
T    "ST010 Camera 2".Job_control_Echo      DB922.DBB105  -- Job control echo
L    PIB 406
T    "ST010 Camera 2".Inspection_ID_01      DB922.DBB106  -- Inspection results
L    PIB 407
T    "ST010 Camera 2".Inspection_ID_02      DB922.DBB107  -- Inspection results
L    PIB 408
T    "ST010 Camera 2".Insp_results_Code_01  DB922.DBB108  -- Inspection results
L    PIB 409
T    "ST010 Camera 2".Insp_results_Code_02  DB922.DBB109  -- Inspection results
L    PIB 410
T    "ST010 Camera 2".Inspection_results_01 DB922.DBB110  -- Inspection results
L    PIB 411
T    "ST010 Camera 2".Inspection_results_02 DB922.DBB111  -- Inspection results
...

```

Рисунок 61 – Чтение данных с камеры

Работа камеры запускается по средствам отправки с ПЛК Ethernet посылки, содержащий триггер включения, в строго отведенный такт выполнения текущей производственной операции. Участок программного кода, реализующий отпарку данных в камеру представлен на рисунке 62.

```

Network 39: C2 - Write data to Camera
//=====
L    DB922.DBB 0
T    PQB 400
L    DB922.DBB 1
T    PQB 401
L    "ST010 Camera 2".Job_control  DB922.DBB2  -- Job control
T    PQB 402
//=====

```

Рисунок 62 – Передача данных с ПЛК

После выполнения всех необходимых вышеописанных процедур по настройке режимов работы камеры и связи с системой управления, на производственной операции был проведен ряд контрольных мероприятий, направленных на проверку корректной работоспособности функций считывания и распознавания в различных условиях. Было подготовлено несколько изображений для создания нового задания (job) по распознаванию текста и двумерного кода в программе In-Sight Explorer 6.5.0, как показано на рисунках 63-65. Первое изображение включает в себя текстовую маркировку крупным планом, на двух других показан текст и двумерный код под разными углами.

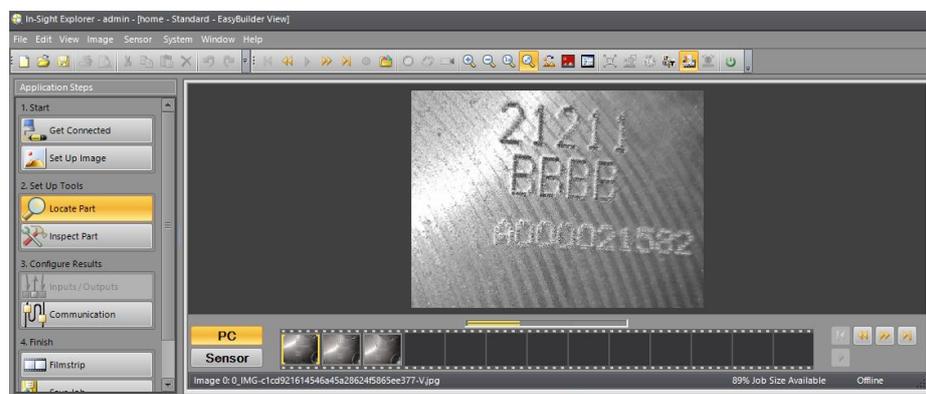


Рисунок 63 – Подготовленная буквенно-цифровая маркировка



Рисунок 64 – Подготовленная буквенно-цифровая маркировка с 2D КОДОМ



Рисунок 65 – Подготовленное изображение под углом

Дополнительно добавили и настроили инструмент Read Text (OCR Max) для распознавания текста. Результаты представлены на рисунке 66.

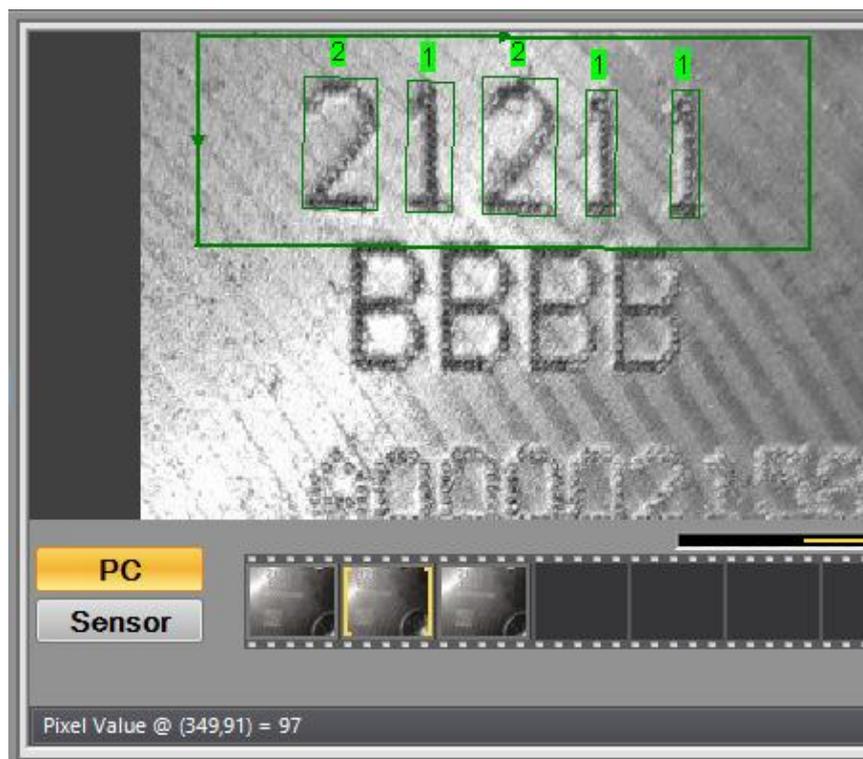


Рисунок 66 – Настройка распознавания текста

Как видно из рисунка выше попытка распознавания текстовой маркировки оказалась успешной, далее приступили к попытке распознавания информации с 2D кода. Результаты представлены на рисунке 67.



Рисунок 67 – Распознавание 2D кода

Как видно из рисунка выше, информацию, зашифрованную в 2D коде, не получилось распознать, было выяснено, что по умолчанию двумерный код не распознается. В следствии этого был добавлен инструмент Identification Tools – Read 2D Code и добавлен фильтр Low Pass для улучшения распознавания кода. Результаты представлены на рисунке 68.

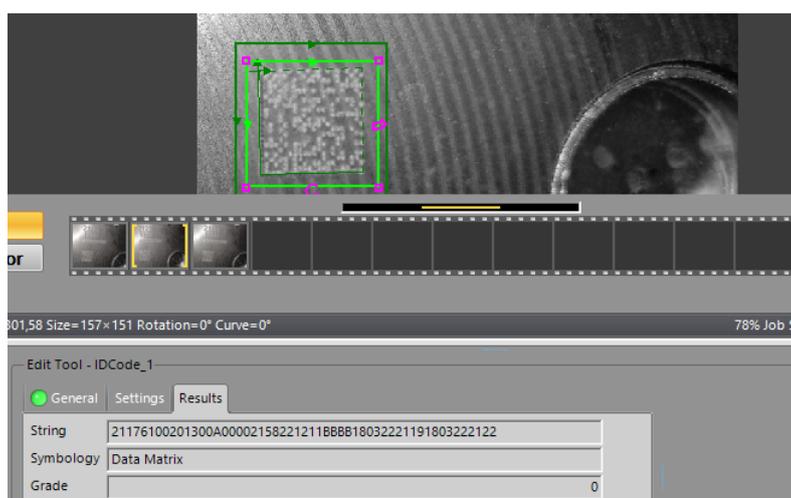


Рисунок 68 – Фильтрация участка фильтром Low Pass и успешное распознавание строки

Как видно из рисунка выше, 2D код был успешно распознан в полном объеме. Считанный код включает подстроки A000021562, 21211 и BBBB. Для кода A000021562 небольшого размера использован фильтр Close и изменен порядок цветов символов на White on Black. Итоговое рабочее задание для камеры (Job) представлено на рисунке 69.

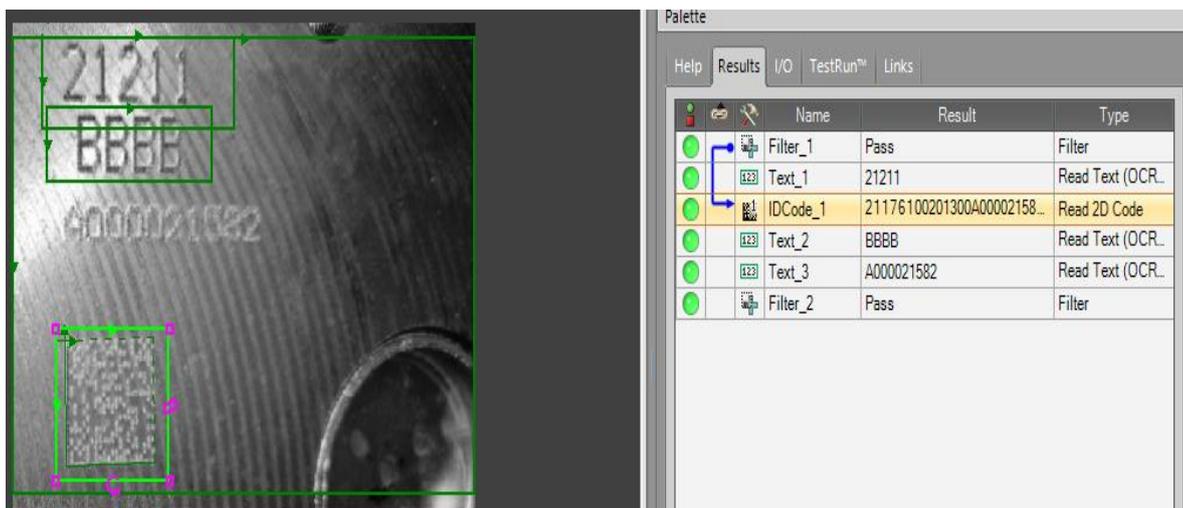


Рисунок 69 – Итоговое рабочее задание с обнаружением всех элементов

Одновременно с этим контролировалось корректная передача информации в блок данных камеры Cognex для дальнейшего использования системой управления. Зафиксированный результат передачи данных в DB камеры Cognex представлен на рисунке 70.

128.0	Inspection_results_19	CHAR	' '	'0'	Inspection results
129.0	Inspection_results_20	CHAR	' '	'2'	Inspection results
130.0	Inspection_results_21	CHAR	' '	'1'	Inspection results
131.0	Inspection_results_22	CHAR	' '	'6'	Inspection results
132.0	Inspection_results_23	CHAR	' '	'1'	Inspection results
133.0	Inspection_results_24	CHAR	' '	'8'	Inspection results
134.0	Inspection_results_25	CHAR	' '	'2'	Inspection results
135.0	Inspection_results_26	CHAR	' '	'2'	Inspection results
136.0	Inspection_results_27	CHAR	' '	'2'	Inspection results
137.0	Inspection_results_28	CHAR	' '	'2'	Inspection results
138.0	Inspection_results_29	CHAR	' '	'1'	Inspection results
139.0	Inspection_results_30	CHAR	' '	'B'	Inspection results
140.0	Inspection_results_31	CHAR	' '	'B'	Inspection results
141.0	Inspection_results_32	CHAR	' '	'B'	Inspection results
142.0	Inspection_results_33	CHAR	' '	'B'	Inspection results
143.0	Inspection_results_34	CHAR	' '	'1'	Inspection results
144.0	Inspection_results_35	CHAR	' '	'6'	Inspection results
145.0	Inspection_results_36	CHAR	' '	'0'	Inspection results
146.0	Inspection_results_37	CHAR	' '	'3'	Inspection results
147.0	Inspection_results_38	CHAR	' '	'2'	Inspection results
148.0	Inspection_results_39	CHAR	' '	'2'	Inspection results
149.0	Inspection_results_40	CHAR	' '	'2'	Inspection results
150.0	Inspection_results_41	CHAR	' '	'2'	Inspection results
151.0	Inspection_results_42	CHAR	' '	'0'	Inspection results
152.0	Inspection_results_43	CHAR	' '	'3'	Inspection results
153.0	Inspection_results_44	CHAR	' '	'1'	Inspection results
154.0	Inspection_results_45	CHAR	' '	'8'	Inspection results

Рисунок 70 – Фрагмент DB Cognex с успешно записанными данными

Информация, записанная в блок данных, хранящийся в памяти ПЛК полностью корректна и в каждой из проводимых проверок совпадает с информацией, физически выбитой на корпусе блока цилиндров.

Выводы по разделу

В данном разделе был рассмотрен процесс настройки промышленной камеры Cognex в среде разработки In-Sight. Рассмотрены все необходимые используемые фильтры и инструменты, а также представлена непосредственная подготовка камеры к использованию в составе разрабатываемых систем контроля линии сборки двигателей ВАЗ 21179 в соответствии с полученным техническим заданием. Была настроена связь промышленной камеры с ПЛК системы управления. Был рассмотрен процесс пуско-наладки камерного блока в непосредственном взаимодействии с системой управления сборочной линии, по окончании которого были предоставлены данные, свидетельствующие о работоспособности и правильной настройки системы.

5 Система Traceability

Прослеживаемость (Traceability) является одним из главных инструментов мониторинга качества на предприятии и представляет собой программно-аппаратный комплекс технических средств, отслеживающий и хранящий информацию обо всех производственных операциях и действиях, совершенных в ходе технологического цикла сборки устройства или производства продукции, для последующей их передачи на более высокий уровень [2,7]. Суть прослеживаемости заключается в том, что каждая партия сырья, деталей, полуфабриката и прочих изделий на производстве маркируется штрих-кодом или RFID меткой, и все связанные с ними производственные операции или перемещения фиксируются в удаленных базах данных или облачных хранилищах [14,33]. Это позволяет отследить правильность выполнения технологического процесса на всех его этапах и при необходимости выявить и локализовать участок с браком [8]. Обобщенная схема реализации прослеживаемости на производстве представлена на рисунке 71.

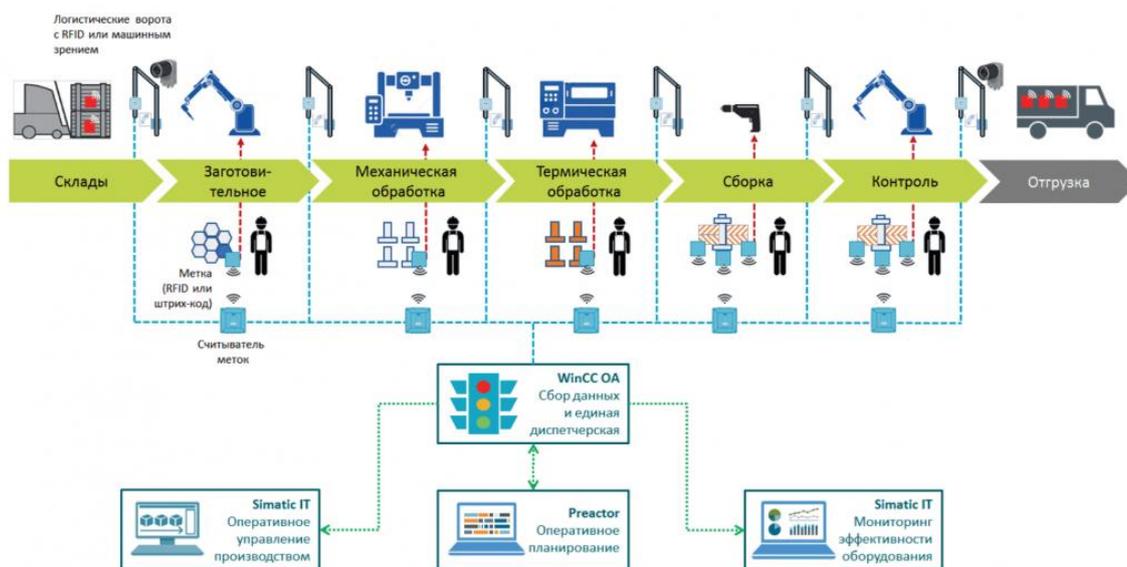


Рисунок 71 – Прослеживаемость на производстве

При выполнении работ в рамках магистерской диссертации необходимо было модернизировать развернутую на сборочной линии систему прослеживаемости и реализовать запись нововведенной информации, полученной с камеры Cognex. А именно данные о блоке цилиндров и данные о собираемом двигателе на RFID спутника, ожидающего завеску блока. На рисунке 72 схематично представлены данные, подлежащие записи на RFID спутника.

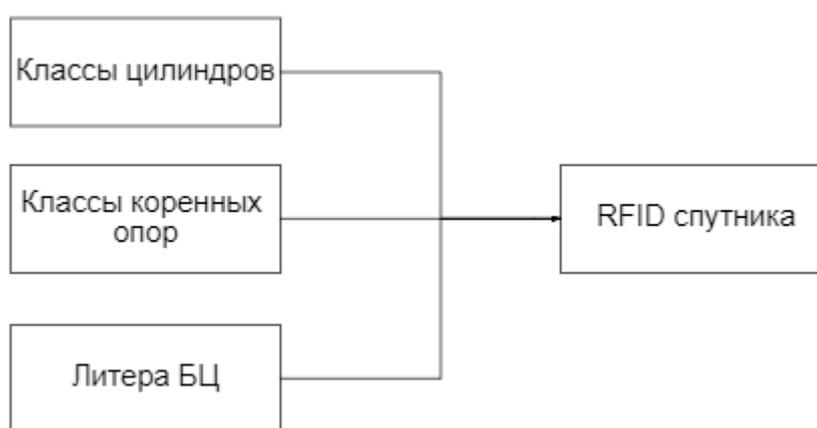


Рисунок 72 – Данные, подлежащие записи на RFID спутника

В качестве аппаратной составляющей системы прослеживаемости использовались RFID система от компании Siemens, представленная на рисунке 73.



Рисунок 73 – Устройство чтения/записи Siemens SIMATIC RF340R

SIMATIC RF340R представляет собой устройство чтения/записи со встроенной антенной для среднего диапазона производительности, которое благодаря своей компактной конструкции может быть очень удачно интегрировано в сборочные линии. Данное устройство особенно пригодно для динамических приложений, в которых носитель данных не останавливается во время процесса записи или чтения. RF340R имеет интерфейс RS 422 с процедурой передачи 3964R для связи с коммуникационными модулями ASM 452, 456, 473, 475 для систем высокочастотной идентификации RFID. Благодаря высокой степени защиты и использованию высококачественных материалов, SIMATIC RF340R гарантирует бесперебойную эксплуатацию даже в самых тяжелых промышленных условиях. Подключение устройства происходит посредством 8-контактного разъема M12. На рисунке 74 представлены некоторые технические характеристики SIMATIC RF340R, заявляемые заводом изготовителем.

Считывающее устройство SIMATIC RF340R	
Индуктивный интерфейс с ярлыком	
<ul style="list-style-type: none"> Частота передачи (энергия/данные) Расстояние чтения/записи до ярлыка 	13,56 МГц См. эксплуатационные данные Мобильных устройств хранения данных
Порт	RS 422 (протокол 3964R)
Скорости передачи	19200, 57600, 115200 бит/с
Длина кабеля между считывающим устройством и главным модулем	Макс. 1000 м (экранированный кабель)
Скорость передачи данных, считывающее устройство - ярлык	Чтение / запись: около 3 100 байт/с
Функции	Чтение/запись/инициализация ярлыка, информация о состоянии сканирования и диагностики, включение/выключение антенны, команда повторения, сканирование серийных номеров ярлыков (универсальных идентификаторов)
Работа с несколькими ярлыками	Скоро будет доступна
Блок питания	24 В пост. тока
Элементы отображения	2-цветный светодиод (рабочее напряжение, наличие, ошибка)
Штепсельный разъем	M12, 8-контактный
Корпус	
<ul style="list-style-type: none"> Размеры в мм Цвет Материал 	75 x 75 x 40 (без соединительного устройства) Антрацит PA 12
Степень защиты в соответствии с EN 60 529	IP65
Ударопрочность в соответствии с EN 60721-3-7, Class 7 M2	50 г
Полный спектр реакции на удар, тип II	1 g (9 ... 200 Гц)
Вибропрочность в соответствии с EN 60721-3-7, Class 7 M2	1,5 g (200 ... 500 Гц)
Способ монтажа	2 винта M5
Крутящий момент при затягивании (при комнатной температуре)	≤ 2 Нм
Температура окружающей среды	
<ul style="list-style-type: none"> Во время работы При транспортировке и хранении 	-25 ... + 70 °C -40 ... + 85 °C
Среднее время безотказной работы (при 40 °C)	1,2 x 10 ⁶ часов

Рисунок 74 – Технические характеристики SIMATIC RF340R

Для реализации требований, выдвигаемых в техническом задании, в первую очередь необходимо было видоизменить структуру существующего блока данных, отвечающего за хранение информации RFID на данной производственной операции и добавить ячейки для хранения необходимой нам информации. Измененная структура блока данных RFID на модернизируемой производственной операции представлена на рисунке 75.

Address	Name	Type	Initial value
0.0		STRUCT	
+0.0	Moby_Head	"Moby Head"	
+50.0	Moby_Recipe	"Moby Recipe"	
+100.0	MobyStationResults	"Moby Station Result"	
+530.0	MobyDress	"Moby Dress"	
+730.0	Moby_Values	"Moby Station Value"	
+3350.0	Moby_Coupling_Head	"Moby_Coupling_Head"	
+3750.0	MobyBoschLimit_Eng	"Moby Bosch Limit_Eng"	
+7774.0	Moby_Bosch_Values_OP130	"Moby_Bosch_Values_OP130"	
+8734.0	Moby_Bosch_Head_values	"Moby_Bosch_Head_values"	
+9574.0	Moby_Printer_data	"Moby_Printer_data"	
+9620.0	Moby_Litera_BC	"Moby Litera_BC"	
=9624.0		END_STRUCT	

Рисунок 75 – Обновленная структура блока данных

После обновления структуры блока данных и добавления ячеек хранения нужной нам информации необходимо было модернизировать управляющую программу, реализующую запись и чтение данных как для представленного DB внутри системы, так и для записи/чтения информации непосредственно с самой RFID метки. Для выполнения данных процедур был разработан алгоритм работы, представленный на рисунке 76.

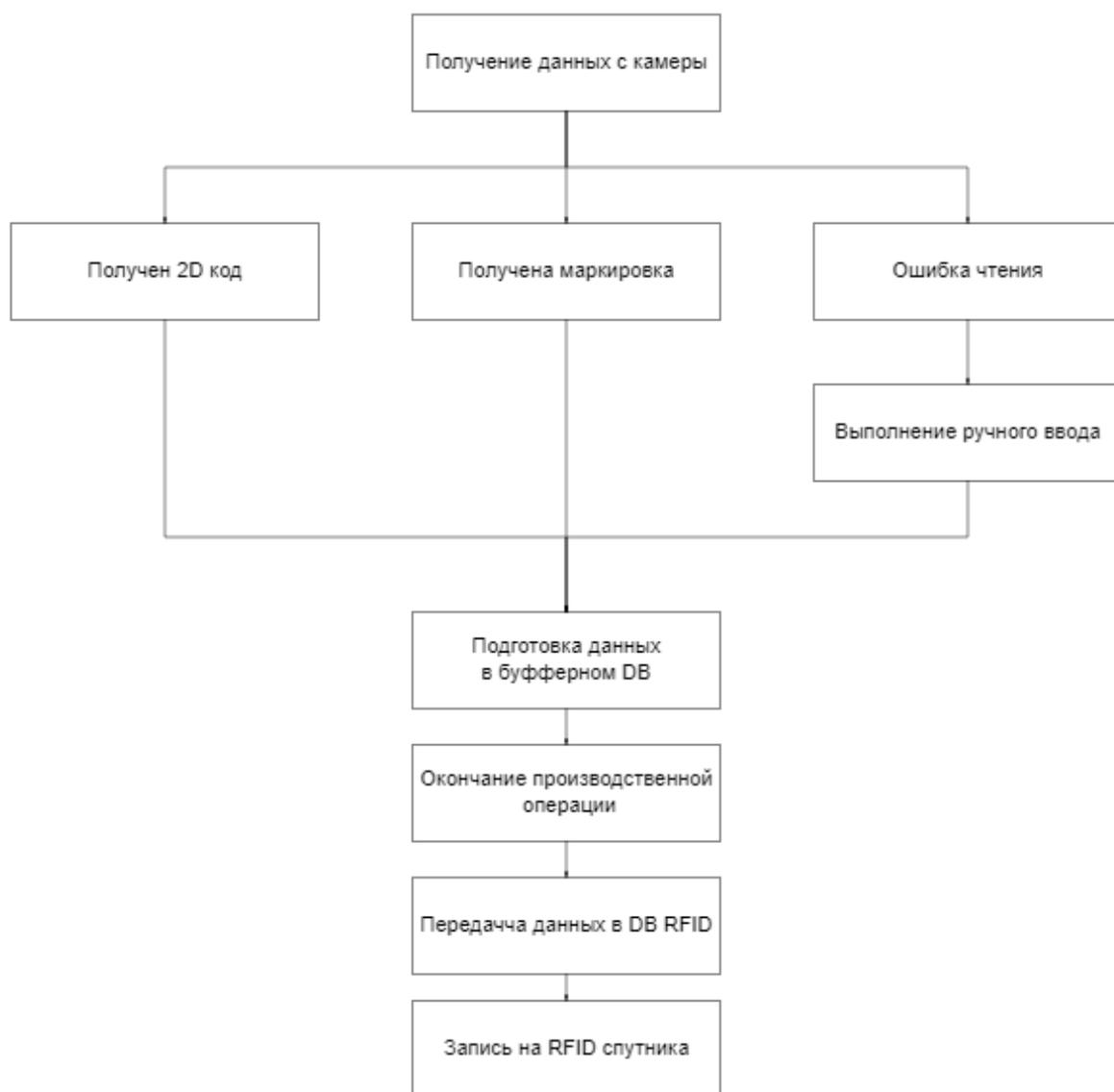


Рисунок 76 – Алгоритм передачи данных на RFID

Изменения, внесенные в управляющую программу, реализующую чтение и запись данных в RFID представлены на рисунках 77 и 78 соответственно.

```
//Manual reading
A      "M120.0"                                M120.0
A      "ST010 Aux TP Moby".PB_Read_pallet_number  DB230.DBX4.1
JCN    Rman
L      2
T      "ST010 Management Moby".BYTE_LEG_SCR_AREAL  DB500.DBW402
L      0
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_MDS_AREAL  DB500.DBW404
L      2
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_DB_AREAL  DB500.DBW406
L      230
T      "ST010 Management Moby".DB_DATI_MDS_AREAL  DB500.DBW408
Rman: NOP 0

//Reading
A      "M120.0"                                M120.0
AN     "ST010 Aux TP Moby".PB_Read_pallet_number  DB230.DBX4.1
JCN    M002
L      9620
T      "ST010 Management Moby".BYTE_LEG_SCR_AREAL  DB500.DBW402
L      0
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_MDS_AREAL  DB500.DBW404
L      0
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_DB_AREAL  DB500.DBW406
L      501
T      "ST010 Management Moby".DB_DATI_MDS_AREAL  DB500.DBW408
M002: NOP 0
```

Рисунок 77 – Чтение данных с RFID спутника

```

//Manual writing
A      "M120.1"                                M120.1
A      "ST010 Aux TP Moby".PB_Write_pallet_number  DB230.DBX4.0
JCN    Wman

L      2
T      "ST010 Management Moby".BYTE_LEG_SCR_AREA1  DB500.DBW402
L      0
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_MDS_AREA1  DB500.DBW404
L      0
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_DB_AREA1  DB500.DBW406
L      230
T      "ST010 Management Moby".DB_DATI_MDS_AREA1  DB500.DBW408

Wman: NOP  0

//Writing
A      "M120.1"                                M120.1
AN     "ST010 Aux TP Moby".PB_Write_pallet_number  DB230.DBX4.0
JCN    M001
L      9622
T      "ST010 Management Moby".BYTE_LEG_SCR_AREA1  DB500.DBW402
L      2
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_MDS_AREA1  DB500.DBW404
L      2
T      "ST010 Management Moby".BYTE_INIZIO_DB_AREA1  DB500.DBW406
L      501
T      "ST010 Management Moby".DB_DATI_MDS_AREA1  DB500.DBW408

M001: NOP  0

```

Рисунок 78 – Запись данных в RFID спутника

Более подробно рассмотрим процесс передачи данных с камеры в буферный DB и RFID DB на примере ситуации успешного считывания 2D кода. На рисунке 79 представлен участок программного кода, реализующий перенос данных с камеры в буферный блок данных о классах коренных опор при успешном считывании 2D кода.

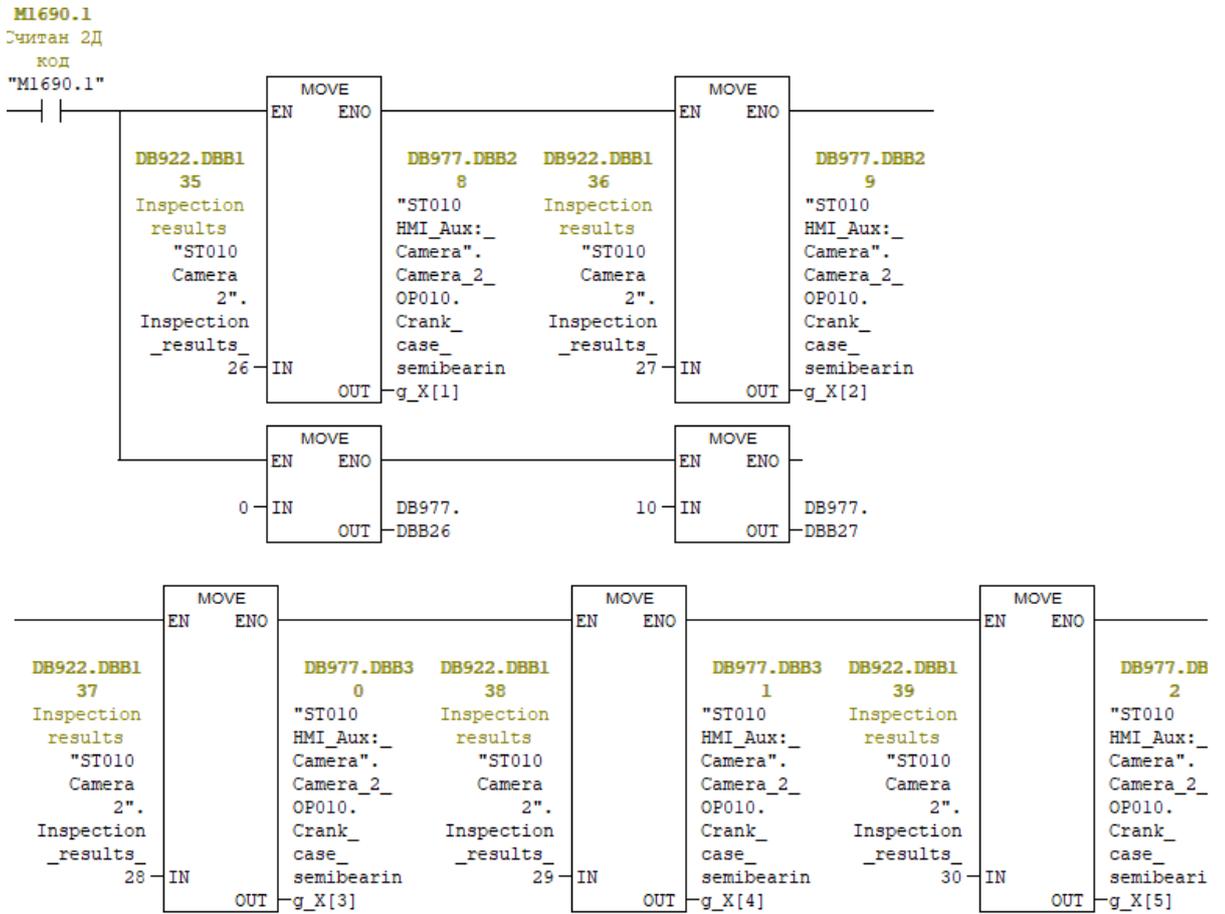


Рисунок 79 – Перенос данных в буферный DB при считывании 2D кода

Буферный блок данных используется для корректного формирования объекта данных типа String, иными словами единую текстовую строку из отдельных символов и элементов типа Char, приходящих с камеры. На рисунке 80 представлен участок программного кода, реализующий перенос данных о классах коренных опор из буферного DB в RFID DB при успешном считывании и распознавании.

6 Система соответствий

При выполнении работ в рамках магистерской диссертации была разработана система соответствий для линии сборки двигателей ВАЗ 21179. Разработанная система, внедренная в систему управления сборочной линии, производит сравнение данных о деталях и устройстве операции, поступающих через заказ с высокого уровня автоматизированной системы, с находящимися непосредственно в работе на линии. Тем самым система информирует оператора автоматизированной линии о том, какой двигатель в данный момент находится в работе и какое навесное оборудование должно быть на него установлено в текущем цикле выполнения производственной операции, что исключает вероятность неправильного выполнения технологической операции и создания некомплектных или некорректно укомплектованных двигателей, а также значительно снижает влияние человеческого фактора. На рисунке 81 представлена упрощенная схема функционирования системы соответствий.

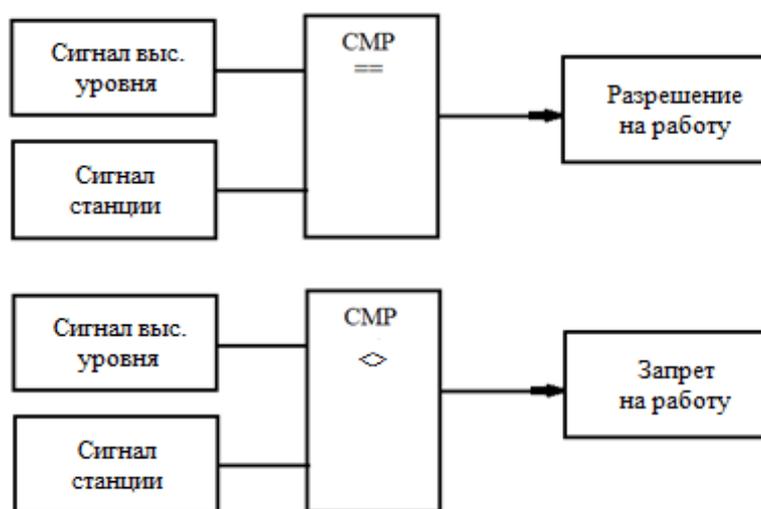


Рисунок 81 – Упрощенная схема функционирования системы соответствий

Система соответствий анализирует информацию с заказа исключительно на стартовой производственной операции сборочной линии ОП1, после выполнения данной операции вся необходимая для дальнейшей сборки информация записывается на RFID метку транспорта двигателя. На последующих производственных операциях система соответствий анализирует информацию, записанную на транспорте, для каждого конкретного двигателя, находящегося в работе, как показано на рисунке 82.

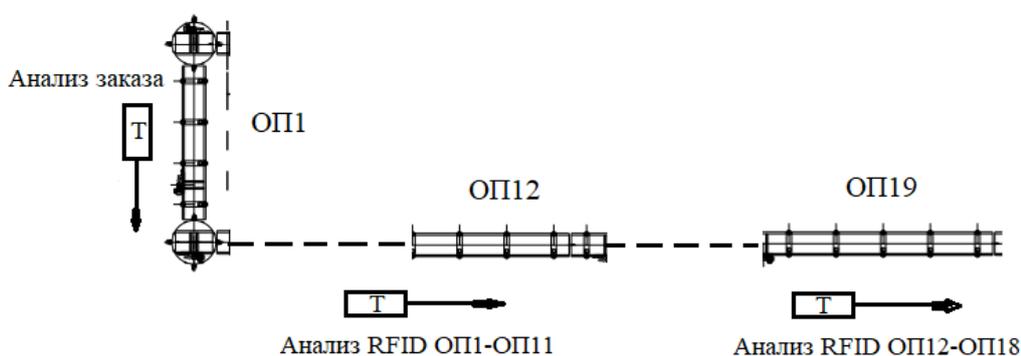


Рисунок 82 – Передача информации для системы соответствий

Разработанная система реализована в двух вариациях, таким образом на одних производственных операциях контроль осуществляется только за счет анализа и сравнения данных, а на других производится дополнительная проверка соответствия датчиками и системами машинного зрения. Различия в реализациях обусловлены индивидуальными особенностями выполнения технологического процесса на каждой из модернизированных операций.

В совокупности разработанная система соответствий является сложным функциональным программно-аппаратным комплексом работающим параллельно основному циклу выполнения программного кода системы управления сборочной линии, и обеспечивающим корректность выполнения операций. На рисунке 83 представлена упрощенная структура системы соответствий.



Рисунок 83 – Упрощенная структура системы соответствий

Функция FC обрабатывает информацию с функциональных клавиш и элементов таблицы соответствий, производит сравнение и регулирует работу таблицы соответствий. Функциональный блок FB и приложенный DFB хранят и обрабатывают информацию о заложенных экземплярах двигателя. Блок данных DB хранит обработанную информацию для двигателя, находящегося в работе и подлежащей выводу на панель оператора для регулирования корректности выполнения процесса и подсказок работнику линии. Более подробно рассмотрим реализованную систему на примере на примере двух производственных операций, а именно, позиции запрессовки заглушек блока цилиндров и позиции установки маховика/приводного диска.

6.1 Позиция запрессовки заглушек блока цилиндров

Данная производственная операция является начальной в цикле сборки двигателя 21179 и именно на ней происходит анализ поступающего заказа с более высокого уровня системы управления, завеса блока цилиндров на стенд для запрессовки заглушек, а также получение и обработка первых данных о конкретном блоке цилиндров, запускаемом в работу, при помощи внедренной системы машинного зрения и передача данных в системы соответствия и

прослеживаемости. На рисунке 84 представлена рабочая область производственной операции по запрессовке заглушек БЦ.

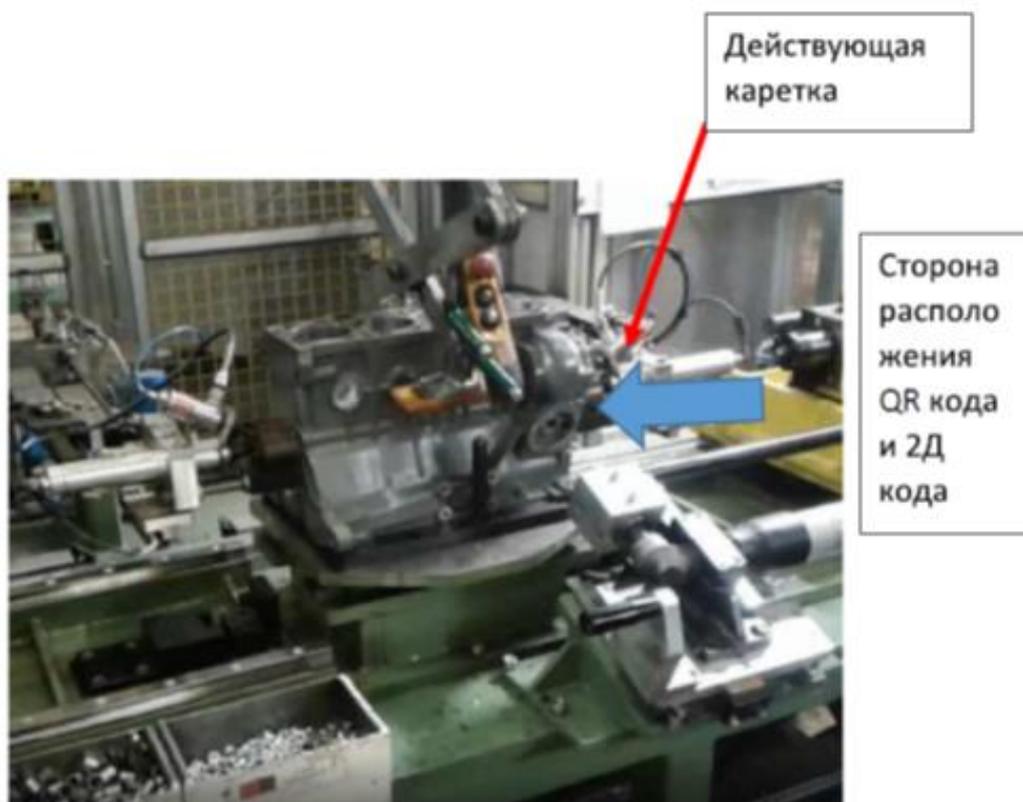


Рисунок 84 – Позиция запрессовки заглушек БЦ

Согласно предъявляемому техническому заданию на модернизацию данной производственной операции должен реализовываться следующий алгоритм работы. После получения заказа, на НМІ-панели отображается референс блока цилиндров и его цветовой фон, после чего начинается мигание изображения референса. Оператор наблюдает изображения на НМІ, в случае соответствия референса требуемой партии нажимает на экранную кнопку НМІ, после чего мигание референса прекращается, и он начинает светиться заданным цветом. В случае, если камера и система соответствий определяет, что загружен неправильный блок, на НМІ панели загорается ошибка, а работа станда блокируется до момента установки нужного блока и запуска цикла вновь. В таблице 1 представлен полный цикл работы станции.

Таблица 1 – Порядок работы на станции

№ Эл-та	Содержание элемента Двигатель 21179 (AR18DE)	Время эл-та (мин)	Вид элемента (Руч-й, Авт- й,)
1	Станция по привязкам в памяти контроллера определяет номер блока цилиндров для загрузки и отображает его номер, цветовой фон и количество загруженных и незагруженных блоков цилиндров из всей партии на НМІ панели	0,01	А
2	Перемещение спутника с предстопора на рабочий пост	0,12	А
3	Подтверждение оператором соответствия партии согласно заданному референсу блока цилиндров высвеченному на НМІ панели (нажатие кнопки на НМІ)	0,07	Р
4	Установка блока цилиндров на ложементы стенда согласно данным высвеченным на FIMІ панели	0,49	Р
5	Установка 2-х втулок блока цилиндров в пуансоны стенда	0,05	Р
6	Установка 2-х заглушек масляного канала пуансоны стенда	0,05	Р
7	Запуск цикла запрессовки	0,02	Р
8	Подвод каретки с форсункой и с камерой в зону считывания, считывание номера блока цилиндров и сопоставление его с номером согласно привязкам в контроллере. Считывание классов коренных опор и цилиндров блока с записью на RFID спутника	0,02	А
9	Довод каретки с форсункой и камерой в положение нанесения герметика.	0,13	А
10	Нанесение герметика в масляные каналы блока	0,13	А
11	Запрессовка	0,23	А
12	Нанесение герметика	0,08	Р
13	Наживление штуцера масляного фильтра	0,08	Р
XX	Далее порядок работы не изменяется		

После модернизации и разработки всего необходимого программного обеспечения на данной производственной операции и его согласования с заказчиком и наладчиком автоматизированной линии алгоритм работы станции приобрел вид, представленный на рисунке 85.

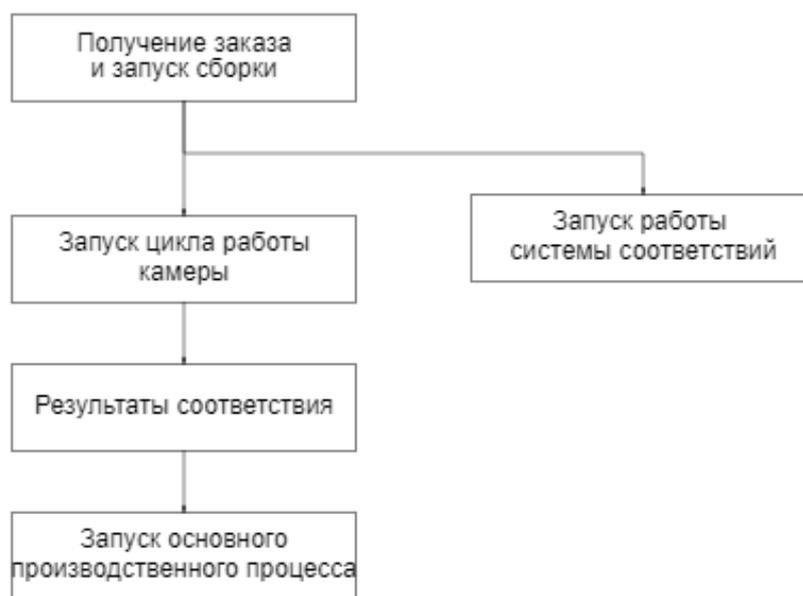


Рисунок 85 – Упрощенная схема функционирования производственной операции

Из рисунка выше видно. Что разработанная система соответствий работает параллельно основному циклу выполнения технологических операций и контролирует правильность их выполнения и установки необходимого навесного оборудования, при необходимости выдавая информационные сообщения о степени корректности совершенных оператором действий.

В ходе разработки программного обеспечения также было решено выделить работу камеры в отдельный, изолированный от основного технологического цикла процесс, для обеспечения корректности и

безопасности его выполнения. На рисунке 86 представлен участок программного кода, описывающий цикл работы камеры.

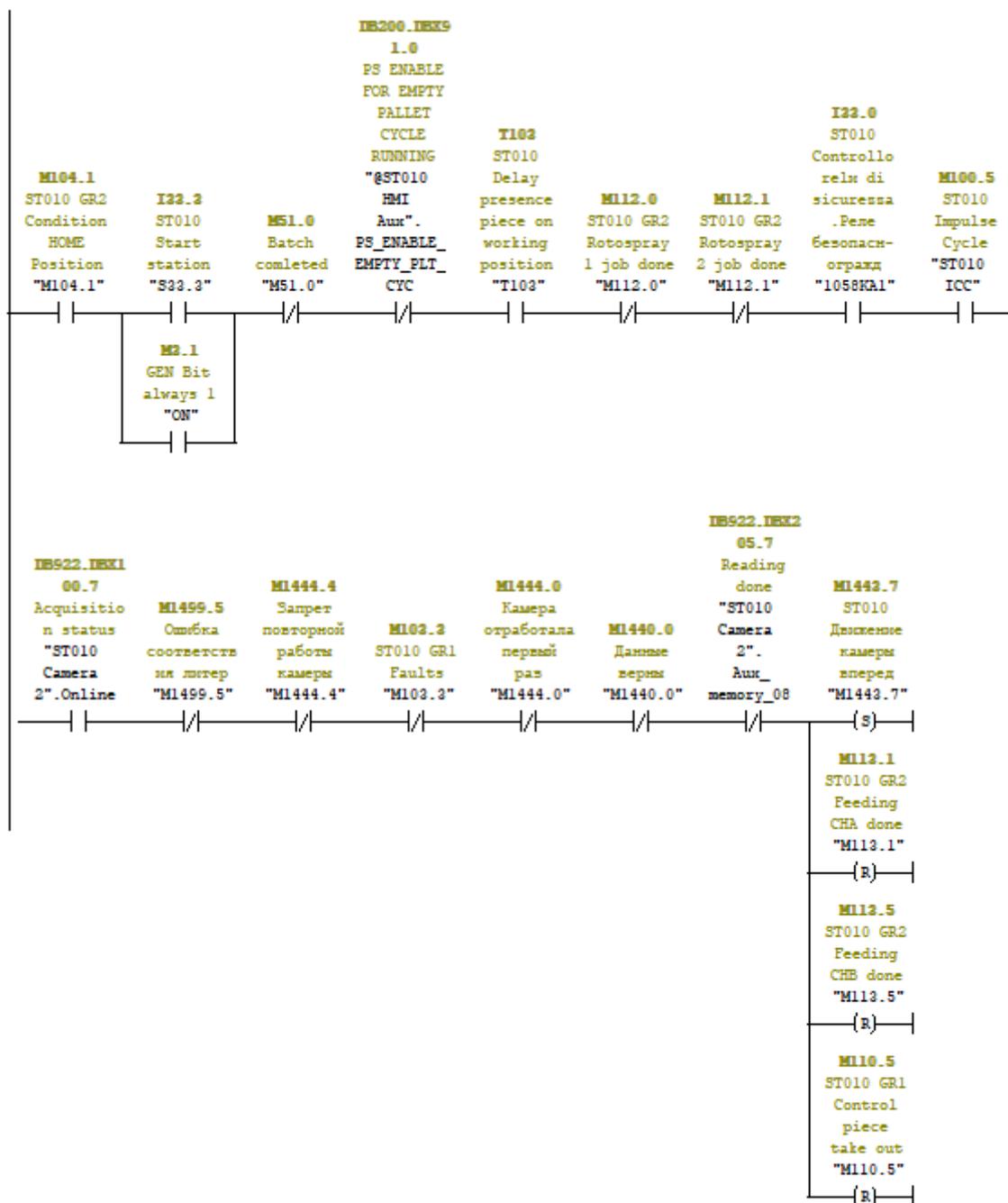


Рисунок 86 – Цикл работы камеры

Релейно-контактная цепочка запускает работу камеры в автоматическом режиме только при условии, что производственная операция находится на начальном этапе, все исполнительные механизмы находятся на стартовой

позиции и до момента запуска не фиксировалась работа камеры или результаты, полученные с нее.

Далее необходимо было обеспечить запуск выдвигания каретки нанесения герметика, на которой установлена камера, и разделять сигналы, управляющие ее движением при запуске работы камерного цикла и основного технологического цикла. На рисунках 87 и 88 представлены участки программного кода, устанавливающие меркеры для выдвигания и возвращения каретки в стартовую позицию соответственно.

□ Network 66 : ST010 CMD Rotospray approaching to work

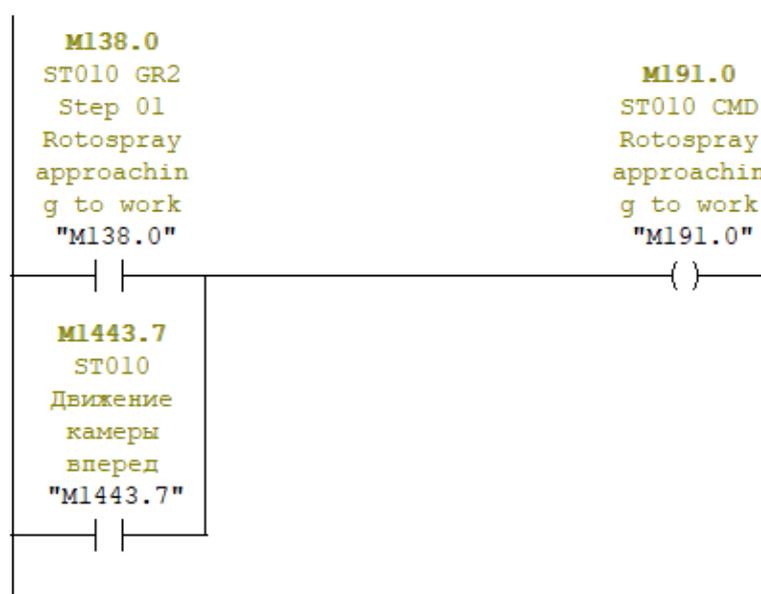


Рисунок 87 – Формирование меркера на выдвигание каретки

☐ Network 67 : ST010 CMD Rotospray approaching to rest

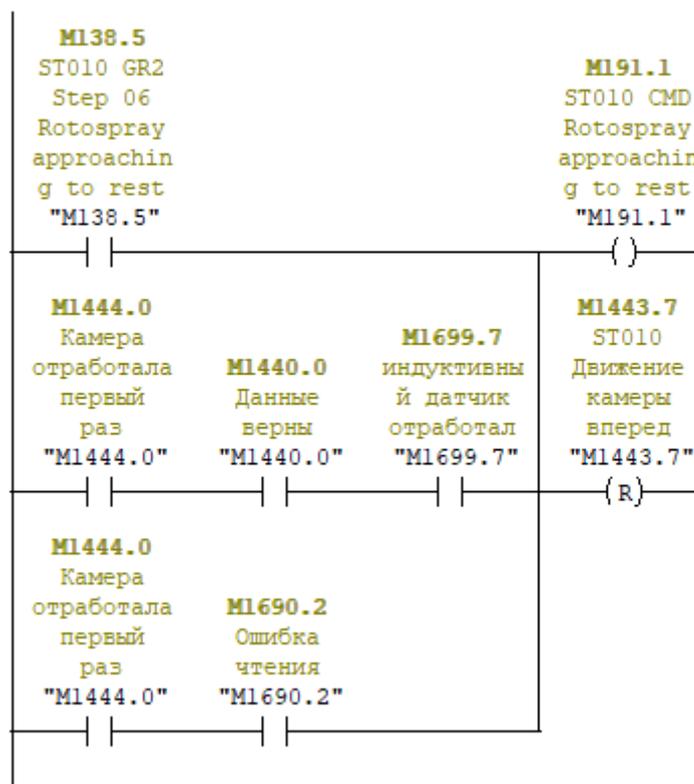


Рисунок 88 – Формирование меркера возвращения каретки в стартовую позицию

Передача сигнала на физические выходы, обеспечивающие поступательные движения каретки, располагаются в другом блоке FC, описывающим сигналы физических входов и выходов данной производственной операции. Участки программного кода, реализующие поступательные движения каретки нанесения герметика через коммутацию физических выходов представлены на рисунках 89 и 90.

□ Network 12 : ST010 Command rotospray approaching to work

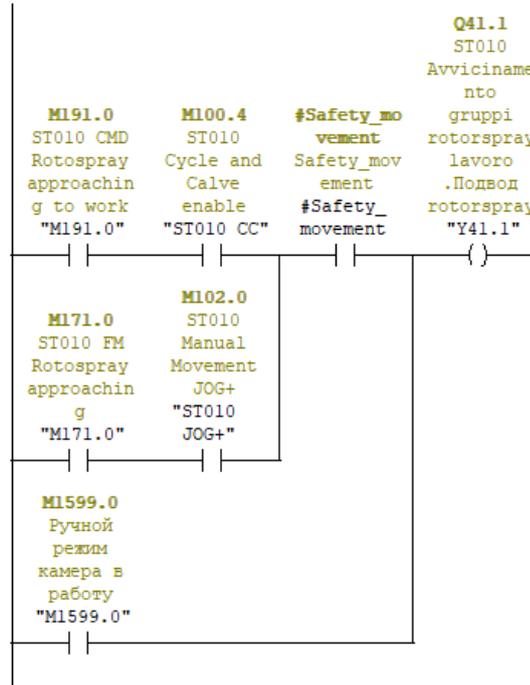


Рисунок 89 – Движение каретки вперед

□ Network 14 : ST010 Command rotospray approaching to rest

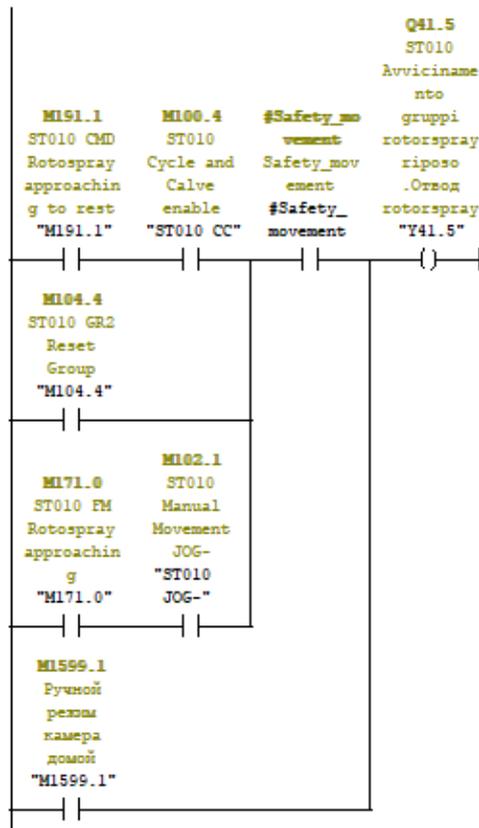


Рисунок 90 – Движение каретки в стартовую позицию

После установки блока цилиндров на стенд для запрессовки и его фиксации на стопорных штырях оператор запускает производственный цикл путем нажатия на физическую грибковую кнопку на станции. Грибковая кнопка, активирующая работу станции представлена на рисунке 91.



Рисунок 91 – Кнопка активации

Система фиксирует факт нажатия кнопки и снимает подготовленный спутник с престопа станции, останавливая его движение на стопоре, находящимся непосредственно в зоне выполнения технологической операции, для последующей загрузки блока цилиндров. Помимо этого, система проверяет фактическое наличие блока цилиндров и его корректную установку на запрессовочный стенд при помощи оптических датчиков и проверяет целостность светового барьера безопасности, ограждающего рабочую область запрессовочного стенда от рабочей зоны оператора. На рисунке 92 представлена схематичная компоновка рабочего пространства.

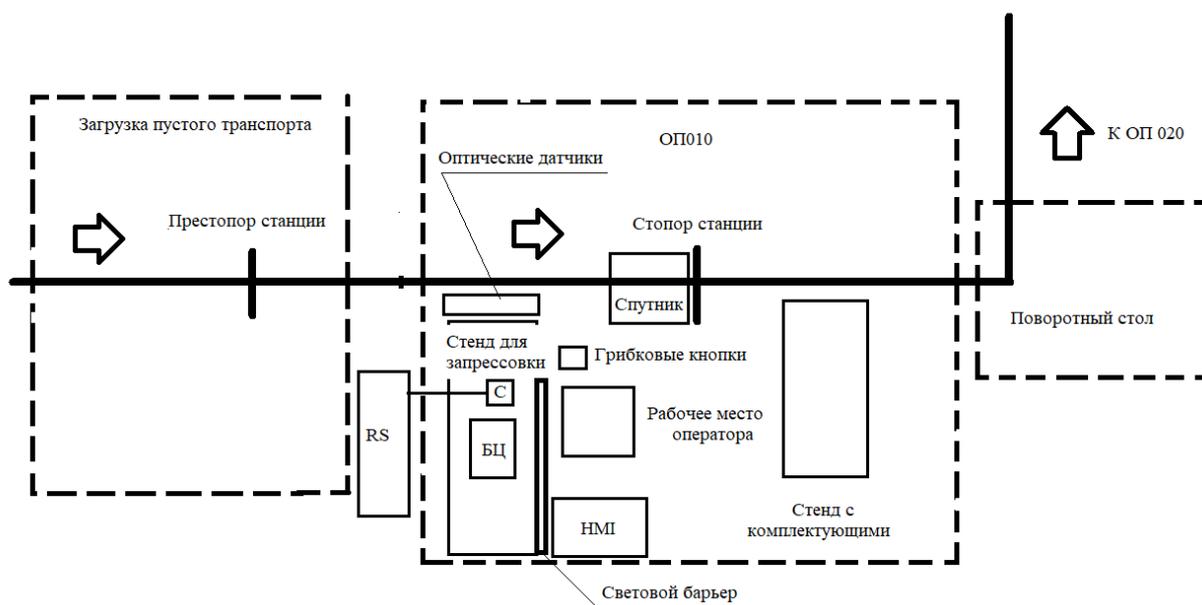


Рисунок 92 – Схематичная компоновка рабочего пространства

Как было сказано выше, сборка двигателя начинается с запуска цикла работы камеры. Салазки нанесения герметика, с установленной на них камерой, выдвигаются, после чего камера делает три попытки захвата изображения. После окончания цикла съемки салазки возвращаются в стартовую позицию, а система управления анализирует полученные данные. В случае, если данные верны, основной производственный процесс запускается и каретки снова выдвигаются в рабочее положение для нанесения герметика. Если же данные, полученные с камеры ошибочны или некорректны то станция переходит в режим ошибки, выполнение последующих операций блокируется, а оператор станции информируется о возникших неполадках через специализированное окно для вывода информационных сообщений на панели оператора.

Помимо информации с камеры на данной производственной операции в цикле контроля выбора блока цилиндров участвует и индуктивный датчик, проверяющий форм-фактор блока цилиндров и наличие необходимых технологических отверстий, разделяющих разные типы блоков. Данный датчик также располагается на каретке нанесения герметика. На рисунке 93

представлен используемый индуктивный датчик контроля наличия технологических отверстий и его расположение над блоком цилиндров в рабочем положении.



Рисунок 93 – Индуктивный датчик контроля

Каретка нанесения герметика имеет пневматический привод с характерной для данного типа приводов большой инерцией системы. Поэтому при отладке и запуске данного контура проверки блока цилиндров возникала проблема, связанная с физическим дребезгом датчика в момент фиксации каретки в рабочем положении. В следствии чего система управления нередко получала некорректные данные о форм-факторе установленного блока. Проблема была решена при помощи введения в программный цикл обработки результатов с датчика таймера задержки для нивелирования физических

колебаний. Участок программного кода, обрабатывающий данные с датчика и камеры на предмет соответствия заказу представлен на рисунке 94.

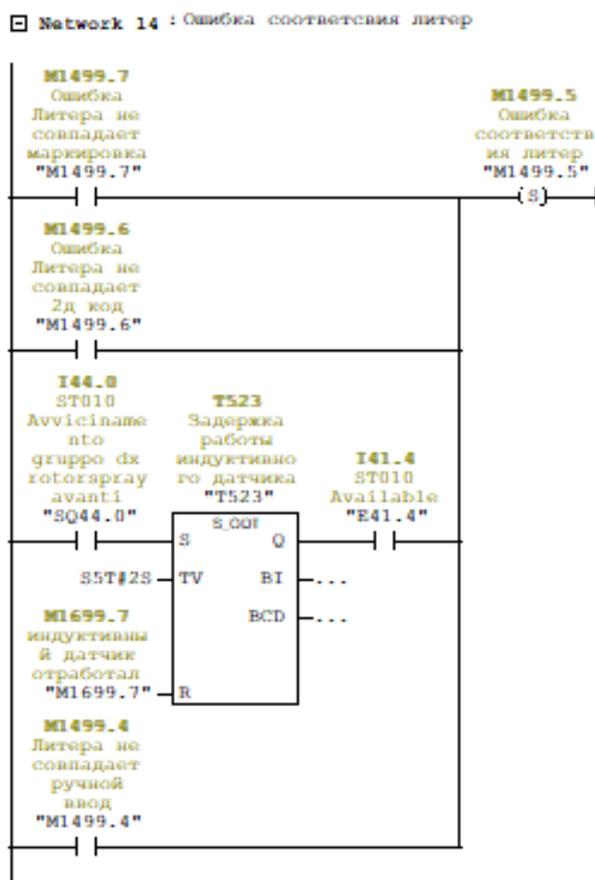


Рисунок 94 – Проверка соответствия данных

Рассмотрим более подробно цикл работы камеры и процессы, проходящие в системе управления и разработанной системе соответствий. Для системы управления и встроенной в нее системы соответствий результаты работы камеры подразделяются на удовлетворительные и неудовлетворительные. Результаты работы камеры дополнительно сверяются с результатами работы датчика и только при положительном сигнале от каждой из систем контроля блок цилиндров запускается в работу. На рисунках 95 и 96 представлены схемы всех возможных ситуаций, возникающих в цикле работы системы соответствий на рассматриваемой производственной операции при получении верных и некорректных данных соответственно.

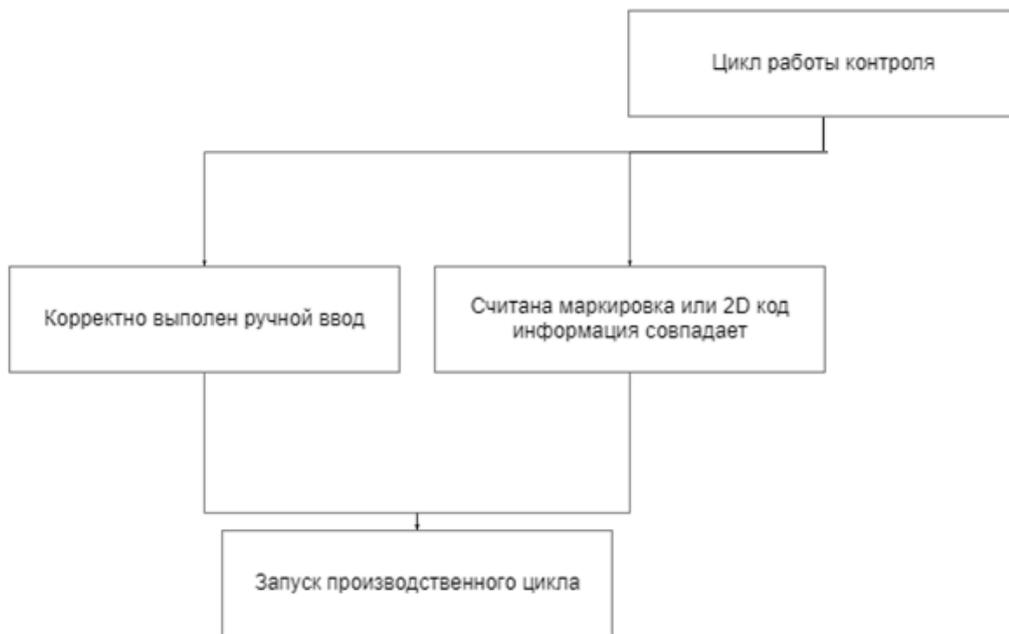


Рисунок 95 – Данные верны

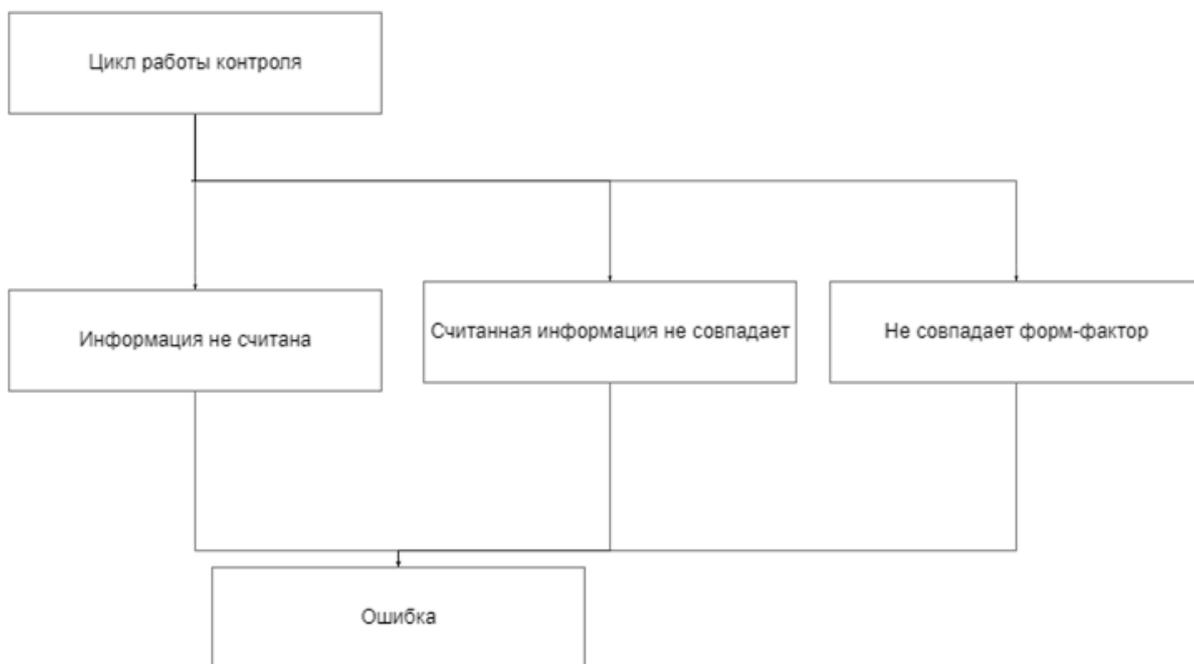


Рисунок 96 – Данные не верны

После завершения цикла съемки камеры система управления выполняет анализ полученных данных, сохраненных в DB Cognex, помимо того, полученные данные выводятся на специально разработанный экран HMI для информирования оператора автоматизированной линии о полученных результатах. На рисунке 97 представлен главный экран производственной операции с полями вывода данных.



1 – значение литеры блока цилиндров, полученное из задания; 2 – классы коренных опор, считанный камерой из обозначения на блоке цилиндров; 3 – класс цилиндров, считанный камерой из обозначения на блоке цилиндров; 4 – литера блока цилиндров, считанная камерой из обозначения на блоке цилиндров.

Рисунок 97 – Экран вывода результатов работы камеры

Анализ результатов системой соответствия начинается с проверки идентификатора полученного информационного сообщения, информирующего систему о результатах считывания. Участки программного кода, проверяющие идентификатор представлены на рисунках 98 и 99.

☐ Network 8 : Считался буквенный код (считалась буква С)

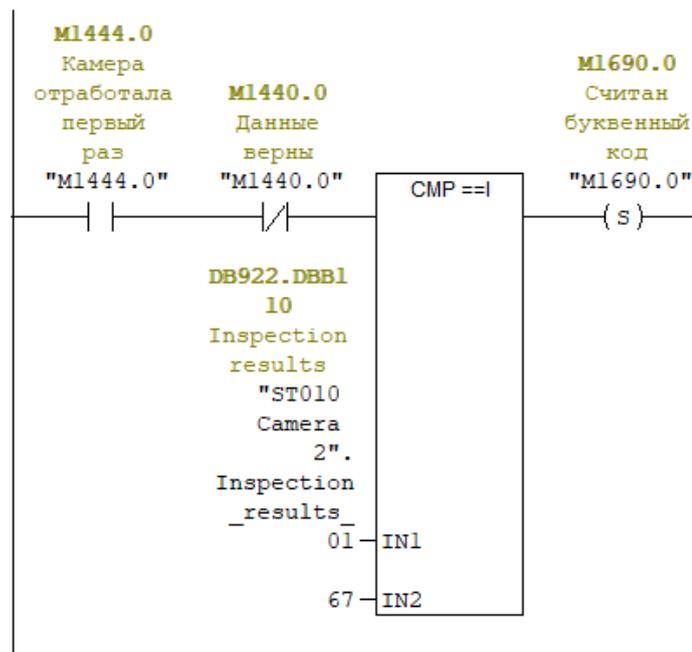


Рисунок 98 – Считана буквенно-цифровая маркировка

☐ Network 10 : Ошибка чтения (из камеры передан символ F)

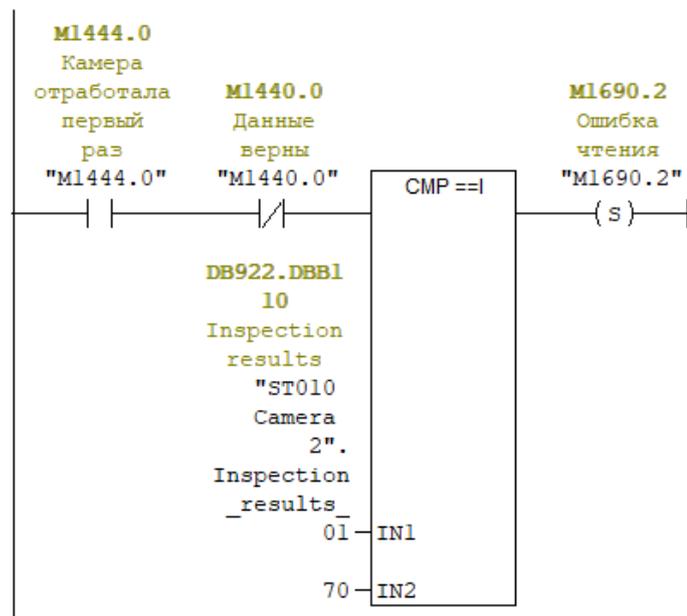


Рисунок 99 – Ошибка чтения

После анализа идентификатора полученного информационного сообщения, записанного в блок данных, система устанавливает меркер о соответствии или несоответствии информации. Условия формирования меркера данные верны представлено на рисунке 100.

☐ Network 16 : Данные верны

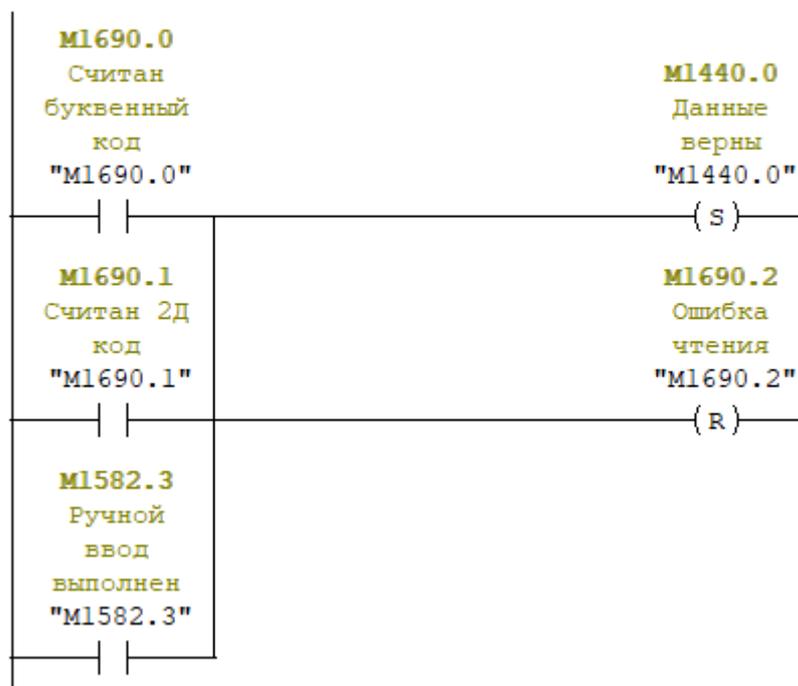


Рисунок 100 – Данные верны

При формировании вышеописанного меркера запускается пересылка данных из блока данных камеры в буферный блок данных, используемый при дальнейшей работе системы соответствий. На рисунке 101 представлен пример пересылки информации о литере блока цилиндров при считывании буквенно-цифровой маркировки.

□ Network 48 : Передача данных о литере при считывании маркировки

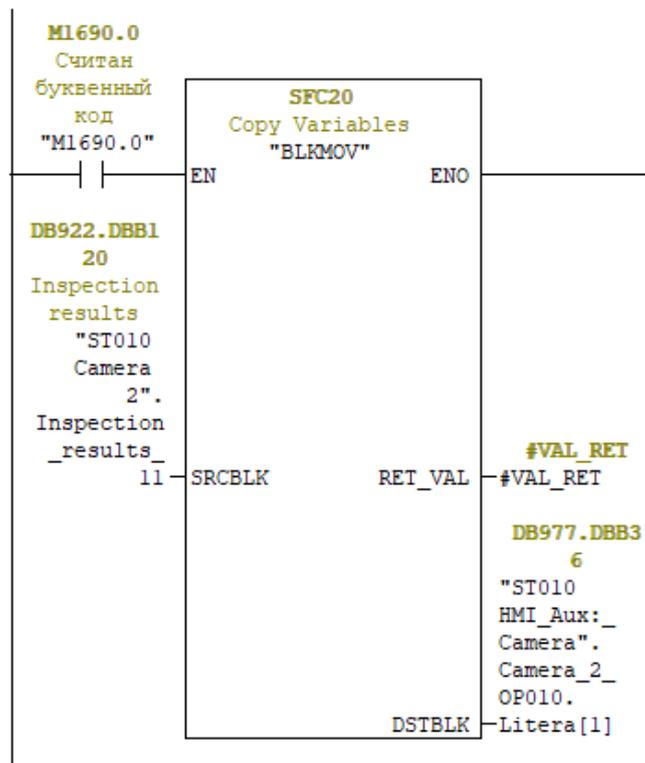


Рисунок 101 – Пересылка данных о литере БЦ при считывании буквенно-цифровой маркировки

Параллельно с этими процессами запускается разработанная система соответствий, контролирующая соответствие между полученными данными и данными с заказа. Алгоритм проверки для одного из референсов двигателя представлен на рисунках 102-104.

Network 4: Таблица соответствий ОП100-вывод информации для оператора 1 стр.

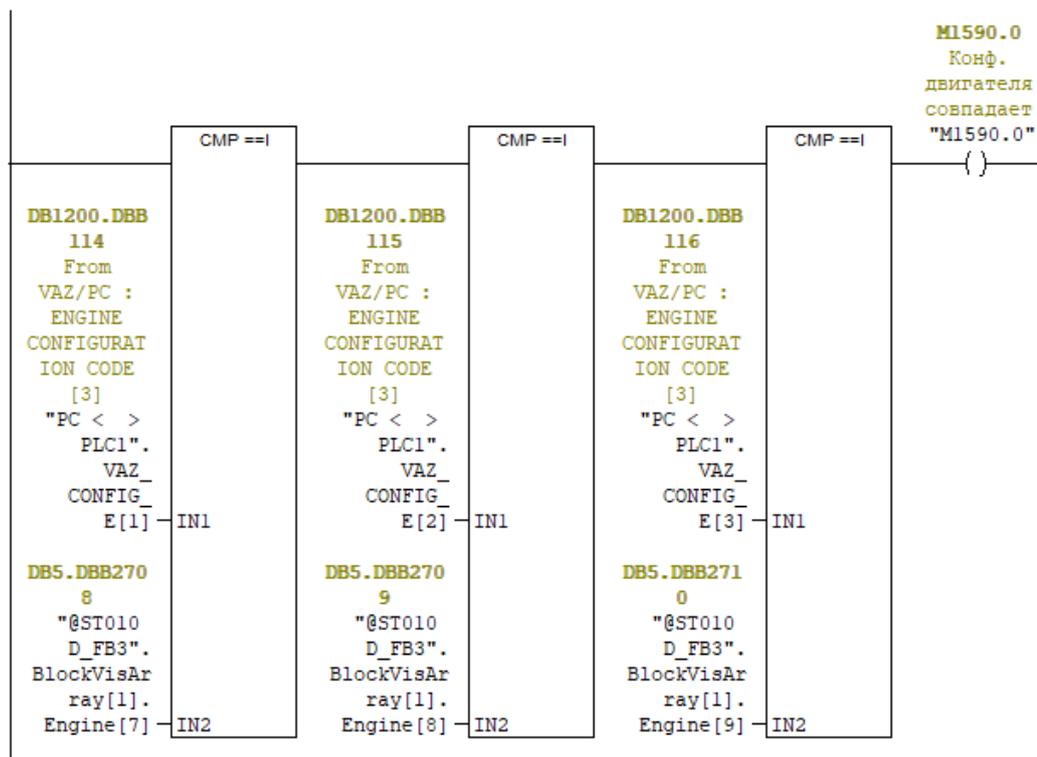


Рисунок 102 – Проверка соответствия конфигурации двигателя

Network 5: Картер стр.1 в работу

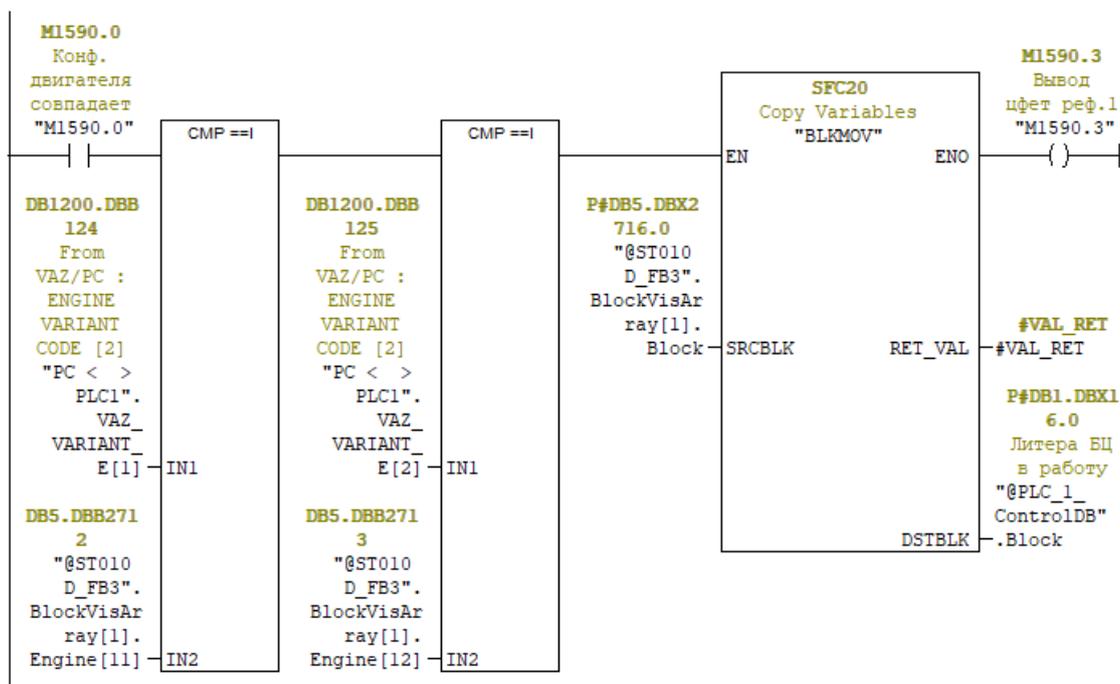


Рисунок 103 – Проверка варианта двигателя

□ Network 6 : Цвет реф.1 в работу

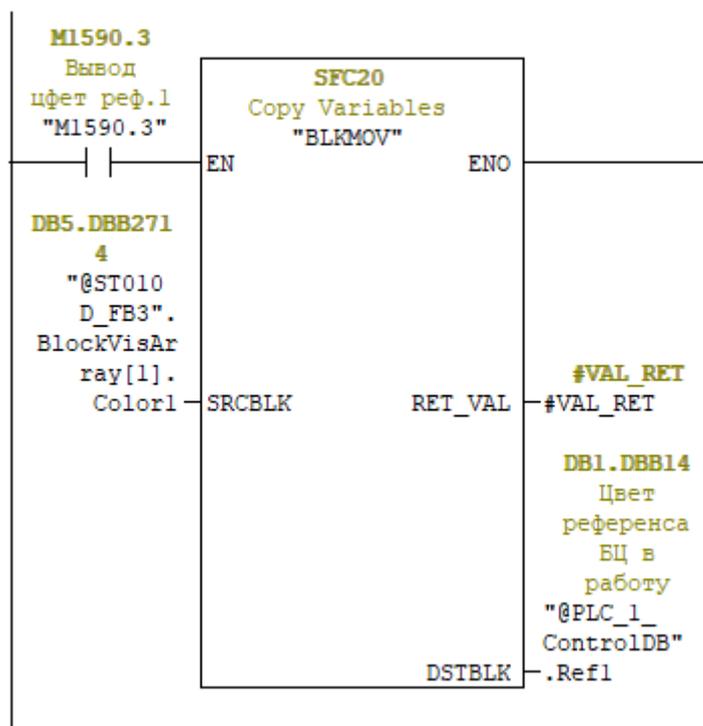
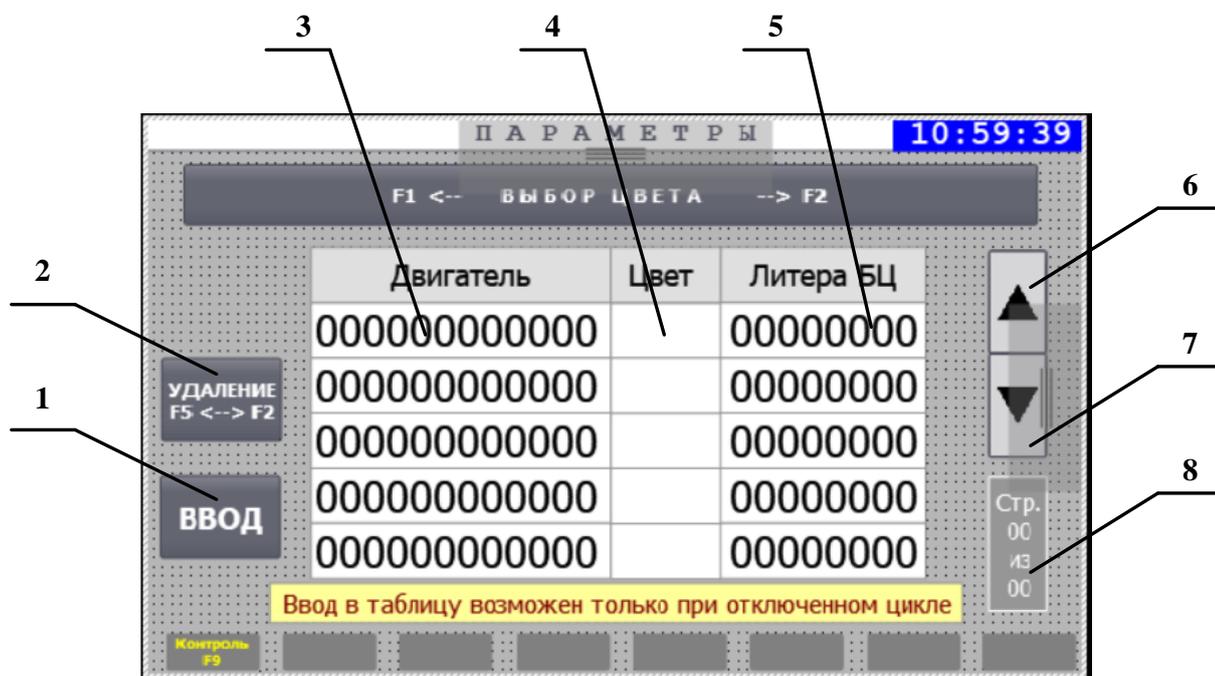


Рисунок 104 – Вывод цветовой маркировки референса двигателя

Для удобства взаимодействия с программной частью системы соответствий, возможности ее редактирования и добавления новых элементов для сравнения силами наладчика автоматизированной линии без изменения программного кода был разработан функциональный экран человеко-машинного интерфейса, отображающий все данные и соответствия, занесенные в систему. Разработанный экран таблицы соответствий представлен на рисунке 105.

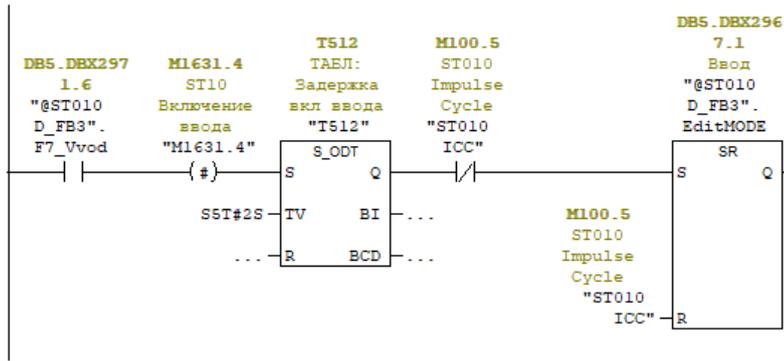


1 – обозначение клавиши F7 вхождения в режим корректировки значений; 2 – обозначение операции удаления значения в активной ячейке таблицы с помощью клавиш F5 и F2; 3 – поле ввода наладчиком модели двигателя; 4 – поле ввода наладчиком цветовой маркировки литеры блока цилиндров; 5 – поле ввода наладчиком литеры блока цилиндров; 6 – обозначение клавиши пролистывания таблицы вверх F4; 7 – обозначение клавиши пролистывания таблицы вниз F6; 8 – обозначение номера текущей страницы таблицы и полного количества страниц.

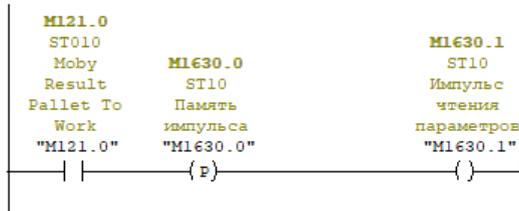
Рисунок 105 – Таблица соответствий ОП10

Для редактирования таблицы необходимо удерживать клавишу F7 «Ввод» в течении 2 секунд, пока соответствующее ей обозначение на экране не изменит цвет на зеленый, после чего таблица станет доступной для редактирования. Редактирование выполняется с помощью клавиш F1 и F2 для выбора цвета, F2 и F5 для удаления выбранной строки соответствия. Перемещение между ячейками таблицы осуществляется с помощью курсорных клавиш панели, ввод символов осуществляется с помощью символно-цифровых клавиш встроенной клавиатуры или манипулятором из выпадающих вариантов выбора. На рисунке 106 представлен участок программного кода, обрабатывающий некоторые функции таблицы соответствий.

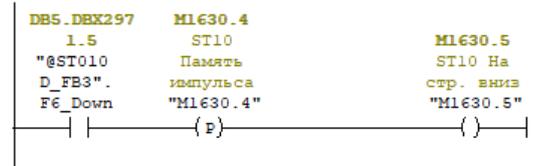
Network 64 : ST10 ТАБЛ: Задержка вкл ввода



Network 65 : ST10 Импульс чтения параметров



Network 67 : ST10 На страницу вниз



Network 68 : ST10 На стр. 1

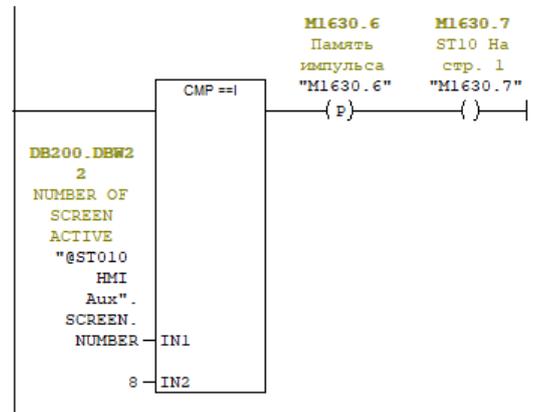


Рисунок 106 – Обработка функциональных кнопок и редактирования

Редактирование таблицы соответствий возможно только в период времени, когда основной производственный приостановлен. Участок программного кода, представленный на рисунке 107, отслеживает возможность редактирования программного кода был добавлен в функцию, описывающую все неисправности и ошибки общего цикла.

☐ Network 21 : Ввод в таблицу возможен только при отключенном цикле

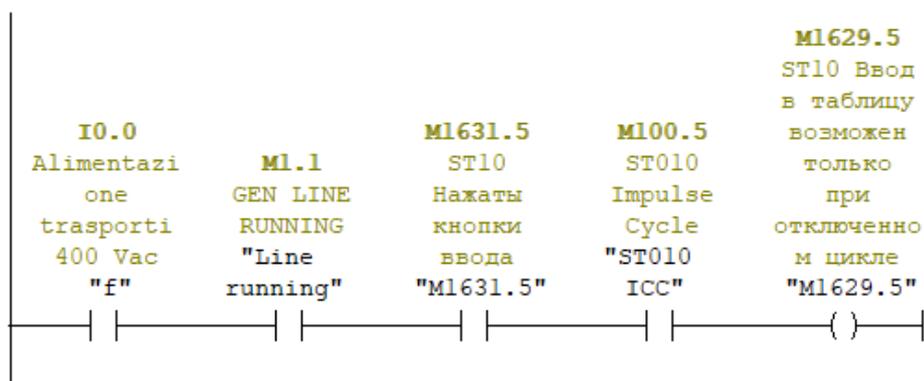


Рисунок 107 – Отслеживание попытки редактирования

Как было описано ранее, в случае получения некорректных данных с контролирующих систем или несоответствия в ходе проверки работа линии и дальнейшее выполнение технологического процесса блокируется. В информационное окно вывода текстовых подсказок на панели оператора выводятся информационные сообщения о текущем состоянии системы, полученных ошибках и рекомендациях по их устранению. Фрагмент заложенных текстовых сообщений, а также пример их программного вывода представлены на рисунках 108 и 109 соответственно.

Text list entries			
	Default	Value ▲	Text
	<input type="radio"/>	125	РАБОТА ПРЕССА 3 НОК
	<input type="radio"/>	126	РАБОТА ПРЕССА 4 ОК
	<input type="radio"/>	127	РАБОТА ПРЕССА 4 НОК
	<input type="radio"/>	139	Ошибка работы камеры<<<< F7 СБРОС F8 РУЧНОЙ ВВОД
	<input type="radio"/>	140	Литера БЦ не соответствует заказу<>Поменяй блок, нажми СБР
	<input type="radio"/>	210	ВЗЯТЬ ШТУЦЕР<и> НАНЕСТИ ГЕРМЕТИК
	<input type="radio"/>	310	ЗАВЕРНУТЬ ШТУЦЕР<и> МАСЛЯН. ФИЛЬТРА
	<input type="radio"/>	311	ЗАВИНЧИВ. ОК
	<input type="radio"/>	312	ЗАВИНЧИВ. НОК
	<input type="radio"/>	350	Камера Cognex не в сети<и> Оператор, введи маркировку вручну
	<input type="radio"/>	360	Данные верны
	<input type="radio"/>	1000	ВЗЯТЬ БЛОК<и> ЗАКРЕПИТЬ НА СПУТНИКЕ
	<input type="radio"/>	1020	ПОВОРОТ СПУТНИКА<и> НА 0°
	<input type="radio"/>	1030	НАЖАТЬ КНОПКУ ПУСК<и> ЧТОБЫ ОТПРАВИТЬ СПУТНИК
	<input type="radio"/>	2000	ЗАЩИТНЫЙ ФОТОЭЛЕМЕНТ<и> НЕ ВОССТАНОВЛЕН
	<input type="radio"/>	3000	"НОВАЯ МОДЕЛЬ" НАЖАТЬ<и> КНОПКУ ДЛЯ ПОДТВЕРЖД.
		<Add new>	

Рисунок 108 – Заготовленные текстовые сообщения

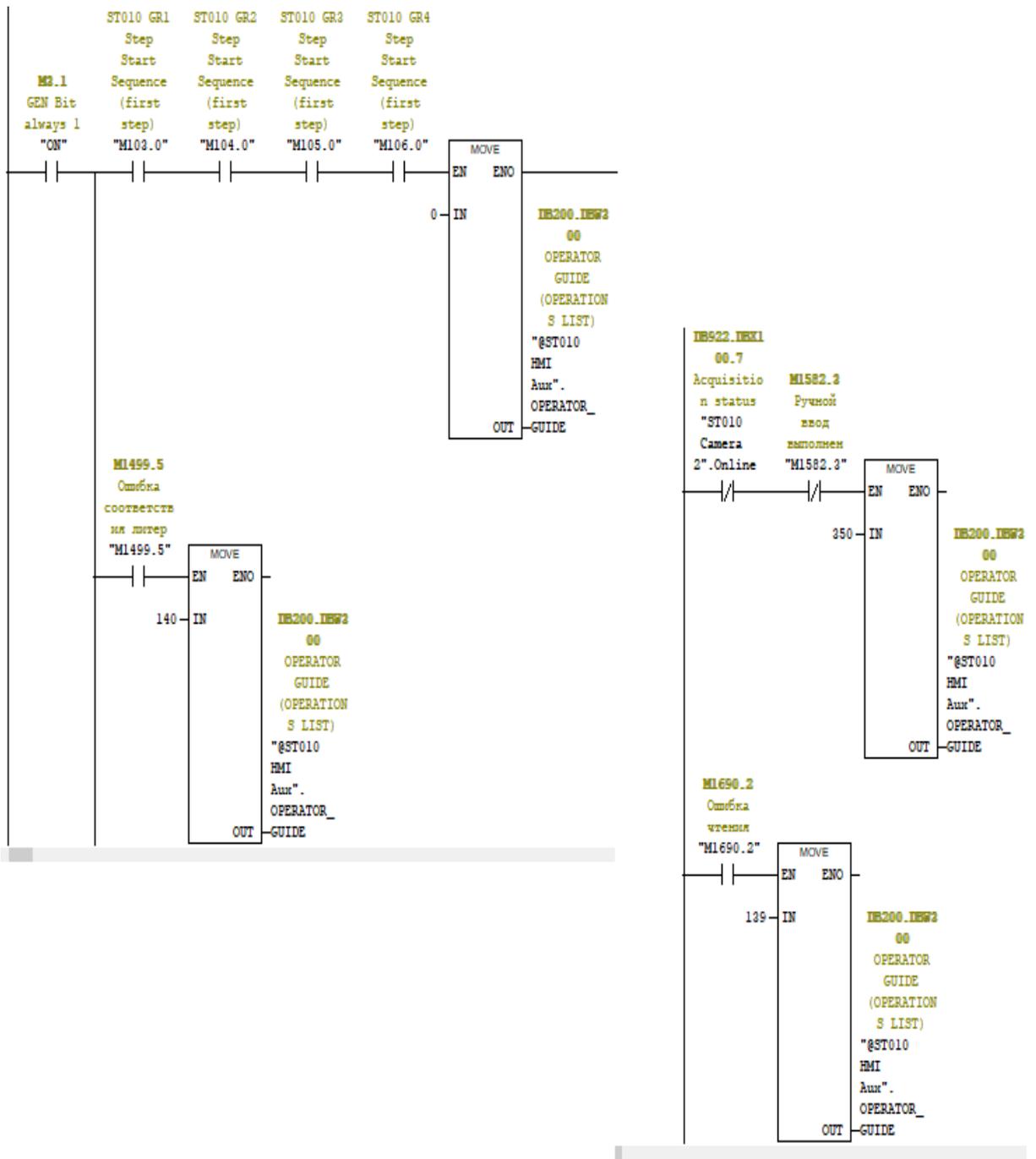


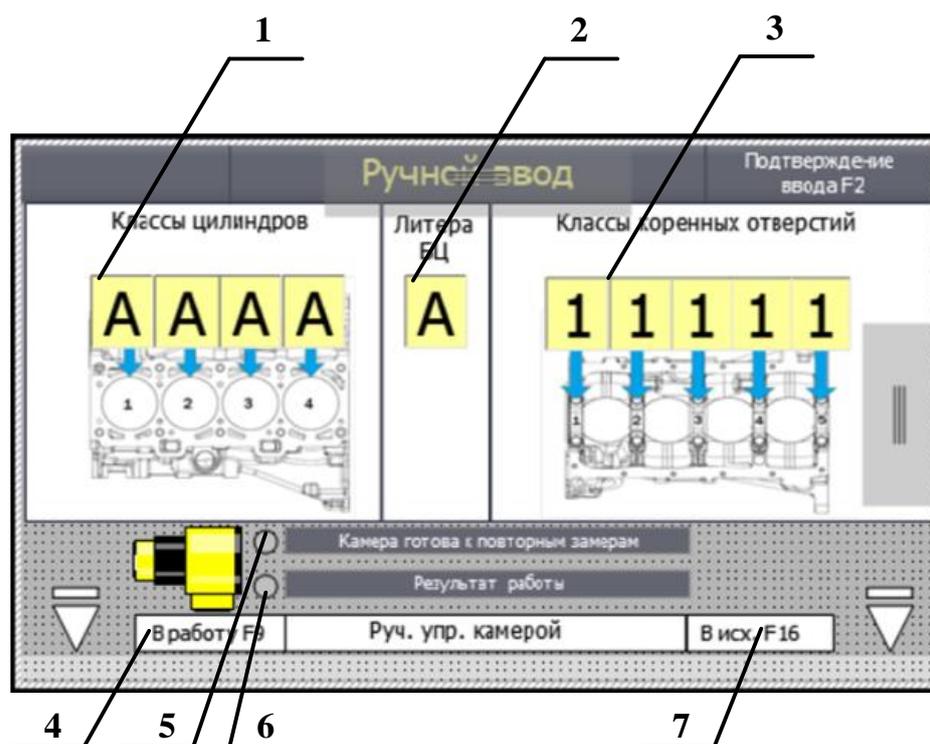
Рисунок 109 – программный вывод текстовых сообщений

После получения информационного сообщения о возникших неисправностях оператору автоматизированной линии необходимо строго следовать приложенным инструкциям для корректного запуска производственного процесса. Пример выводимого информационного сообщения об ошибке работы на станции представлен на рисунке 110.



Рисунок 110 – Ошибка работы камеры

При возникновении ошибок, связанных с распознаванием информации камерой, оператору автоматизированной линии предлагается перейти на экран ручного ввода и продолжить работу по одному из двух алгоритмов. Разработанный экран НМІ, отвечающий за ручной режим работы представлен на рисунке 111.



1 – поля ввода оператором классов цилиндров; 2 – поле ввода оператором литеры блока цилиндров; 3 – поле ввода оператором классов коренных опор; 4 – обозначение кнопки F9 для ввода блока ротоспрея (консоли камеры) в работу; 5 – индикатор готовности камеры к повторным считываниям; 6 – индикатор успешности считывания камерой обозначений на блоке цилиндров; 7 – обозначение кнопки F16 возвращения блока ротоспрея (консоли камеры) в исходное положение.

Рисунок 111 – Экран ручного ввода

На данном экране расположено схематическое изображение блока цилиндров с указанием разрядов классов коренных опор и классов цилиндров для каждого цилиндра и схематичное изображение камеры с индикаторами готовности камеры к повторным замерам и результатами работы. Для повторного запуска камеры в ручном режиме, оператору необходимо нажать клавишу F9 "в работу". После считывания камерой (красная вспышка), оператору необходимо вернуть камеру в исходное положение, нажав кнопку F16. В случае удачного считывания, информация будет выведена в соответствующие поля над изображением блока цилиндров. Данная функция

реализована для случая, когда маркировка, выбитая на блоке цилиндров, была загрязнена и именно это стало причиной неудачного распознавания захваченного изображения. Пользуясь данной функцией оператор может в спокойном темпе удалить загрязнения и повторно запустить считывание камерой в ручном режиме.

Если в ручном режиме камере не удалось считать и распознать информацию, оператору необходимо ввести все символы вручную. С помощью встроенной алфавитно-цифровой клавиатуры панели, или манипулятора «мышь», оператор вводит необходимые символы. После этого оператор нажимает клавишу F2 "Подтверждение ввода" и панель возвращается на главный экран. Оператор переключает станцию в автоматический режим и запускает цикл нажатием на грибовидную кнопку "Начало цикла" и станция продолжает работать в штатном режиме, пропуская цикл работы камеры. Каждый символ ручного ввода данных проверяется на корректность автоматической системой и передается в буферный блок данных, тем самым разрешая дальнейшую работу на станции, только при условии полноты и корректности введенных данных. В качестве примера приведем участки программного кода, реализующие проверку корректности данных о введенной литере и ее передачу в буферный блок данных, представленные на рисунках 112 и 113 соответственно.

Network 22: Проверка корректности введенных данных

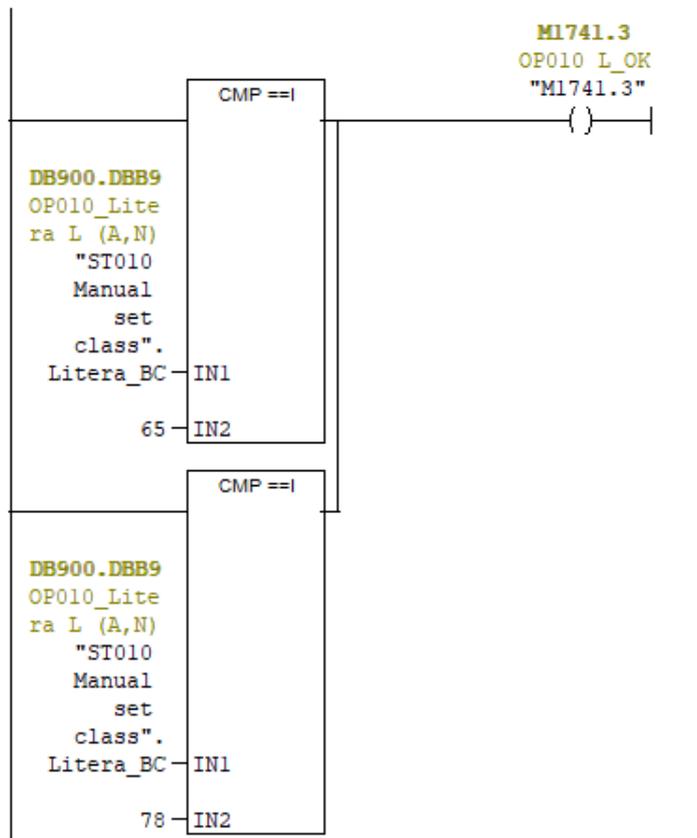


Рисунок 112 – Проверка корректности введенных данных

Network 21: Передача данных о литере при ручном вводе

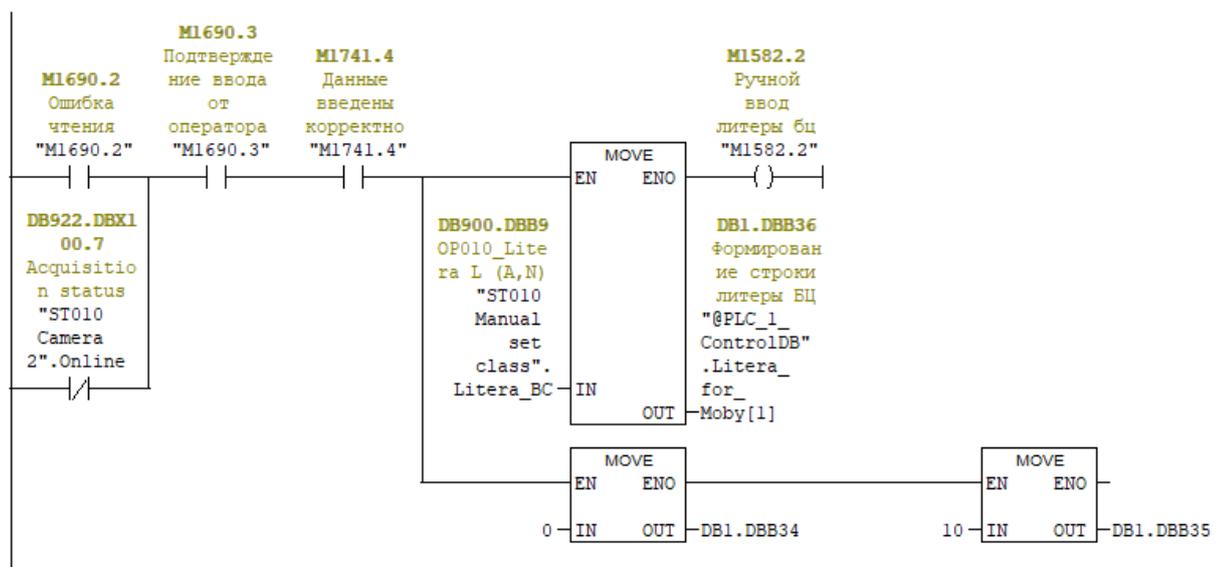


Рисунок 113 – Отправка данных в буферный блок данных

Для обеспечения удобства ввода данных оператором и исключения лишних ошибок и влияния человеческого фактора ячейки ввода информации были выполнены в качестве всплывающего списка с заранее заложенными вариантами, как показано на рисунке 114.

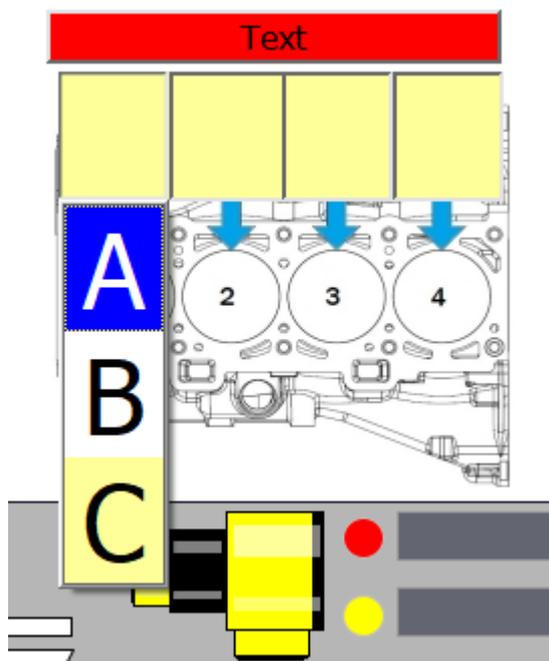


Рисунок 114 – Выбор класса цилиндров в ручном режиме

Помимо всего вышеперечисленного в программное обеспечение был заложен вариант выхода из строя камеры или потери соединения с ней. Система управления постоянно опрашивает камеру на предмет ее статуса и нахождения в сети. Если связь с камерой исчезнет, то на панели оператора возникнет соответствующее информационное сообщение и оператору будет предложено воспользоваться ручным вводом информации о блоке цилиндров, запускаемом в работу. Это позволяет не прерывать сборку двигателей при поломке камеры и продолжать штатную работу до выяснения причин неисправности. Поле вывода информационных подсказок для оператора при возникновении проблем с соединением камеры представлено на рисунке 115.



Рисунок 115 – Камера Cognex не в сети

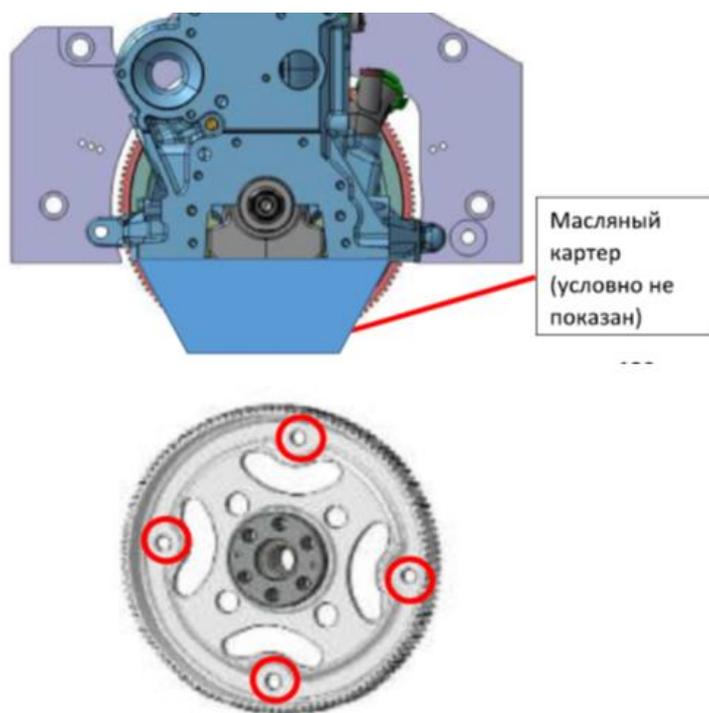
После выполнения всех необходимых работ и их согласования с заказчиком и наладчиками автоматизированной линии порядок работы на данной производственной операции стал следующим. При поступлении заказа на панели высвечивается литера блока цилиндров и мигает соответствующим цветом. Выводится полученная из заказа модель, конфигурация и вариант двигателя. Оператор смотрит на экране литеру блока цилиндров. Берет блок с необходимой литерой и устанавливает на запрессовочный стенд, после чего нажимает на посту грибовидную кнопку "начало цикла". Начинается рабочий цикл камеры. Камера подводится на консоли ротоспрея к надписи на блоке цилиндров, считывает изображение и распознает его. После считывания камера возвращается в исходное положение. На главном экране в поле "Результаты Cognex" отображаются классы коренных опор, классы цилиндров и литера блока цилиндров. Оператор смотрит на панель НМІ. В случае если литера из заказа не совпадает с литерой, распознанной камерой, на панели, в окне подсказок оператору, высвечивается сообщение об ошибке. Станция блокируется. Оператору необходимо заменить блок цилиндров на запрессовочном стенде и нажать кнопку "Брак". После чего необходимо начать цикл заново, нажав грибовидную кнопку на посту. В случае, если камере удалось считать и распознать изображения на блоке цилиндров, станция автоматически продолжает работу в штатном режиме и считанная информация в конце цикла передается в RFID метку.

6.2 Позиция установки маховика/приводного диска

Согласно предъявляемому техническому заданию алгоритм работы на данной производственной операции должен быть следующим. Оператор устанавливает центрирующий палец на коленчатый вал, ставит маховик/приводной диск, наживляет 5-ть болтов крепления. Далее оператор снимает центрирующий палец, наживляет 6-ой болт крепления. Затем оператор берёт гайковёрт и начинает затяжку, в период затяжки 1-2-го болта крепления, срабатывает оптический датчик и определяет корректность установленного маховика. Если всё «ОК», оператор продолжает затяжку остальных 4-х болтов крепления.

В случае, если датчик определил, что установлен некорректный маховик, на НМІ панели загорается ошибка, а на гайковёрте включается реверсное кручение патрона. Оператор должен открутить ранее затянутые болты и заменить маховик/приводной диск.

После вышеописанных действий оператор устанавливает нужный маховик (в случае необходимости меняет телегу с маховиками/приводными дисками), нажимает кнопку подтверждения референса маховика/приводного диска (партии) и продолжает работу в обычном цикле. На рисунке 116 представлена концепция приводного диска двигателей ВАЗ 21179 для автомобилей с автоматической трансмиссией и его расположение на адаптере.



Масляный картер (условно не показан)

Рисунок 116 – Концепция приводного диска и его расположение на адаптере

На данной производственной операции в качестве исполнительного устройства системы машинного зрения выступает программируемый оптический датчик SICK DS25-B15521. На рисунке 117 представлены основные технические характеристики данного датчика.

Механика/электроника

Напряжение питания U_V	Пост. ток 18 V ... 24 V, $\pm 10\%$, включая остаточную пульсацию ¹⁾
Потребляемая мощность	1,5 W, при 24 В DC ²⁾
Время прогрева	< 30 min
Материал корпуса	Пластик (PBT)
Материал переднего окна	Пластик (PMMA)
Вид подключения	Кабель с разъемом, M12, 5-контактный, A-кодированный, 30 см
Индикация	OLED дисплей, Светодиоды состояния
Элементы управления	4 кнопки
Вес	90 g
Размеры (Ш x В x Г)	27 mm x 60 mm x 50 mm
Тип защиты	IP67
Класс защиты	III (EN 50178)
Электробезопасность	IEC 61010-1 AMD 1:2016-12



Рисунок 117 – Технические характеристики DS25-B15521

Данный оптический датчик является датчиком PNP типа с порогом срабатывания более 13.5 В для высокого уровня и менее 8 В для низкого уровня сигнала. Триггером срабатывания для активации сигнала является низкий уровень на управляющем входе. На рисунке 118 представлен доступный набор интерфейсов оптического датчика DS25-B15521.

IO-Link	✓ IO-Link V1.1
Функция	Параметры процесса, Настройка, Диагностика, Хранение данных:
Скорость передачи данных	230,4 kbit/s (COM3), Длина данных процесса 6 байт, мин. время цикла 0,7 мс
Цифровой вход	In ₁ Используется как выключенный излучатель, триггер для функций удержания или деактивирован
Цифровой выход	Количество 2 ²⁾ Вид PNP/NPN, переключаемый
Аналоговый выход	Количество 1 Вид Токвый выход / Выход напряжения Функция По выбору Ток 4 mA ... 20 mA, ≤ 300 Ω Напряжение 0 V ... 10 V, > 10.000 Ω Разрешение 16 bit

Схема соединений

① Коричневый
② Белый
③ Синий
④ Черный
⑤ Серый

Рисунок 118 – Набор интерфейсов SICK DS25-B15521

На рисунке 119 представлена оптимальная позиция установки оптического датчика на производственной операции.



Рисунок 119 – Позиция установки датчика

После физической установки оптического датчика расстояния была переработана схемы электрическая принципиальная и подключения поста установки маховика/приводного диска. Одним из внесенных изменений является непосредственное подключение датчика ко всем необходимым системам сборочной линии, как показано на рисунке 120.

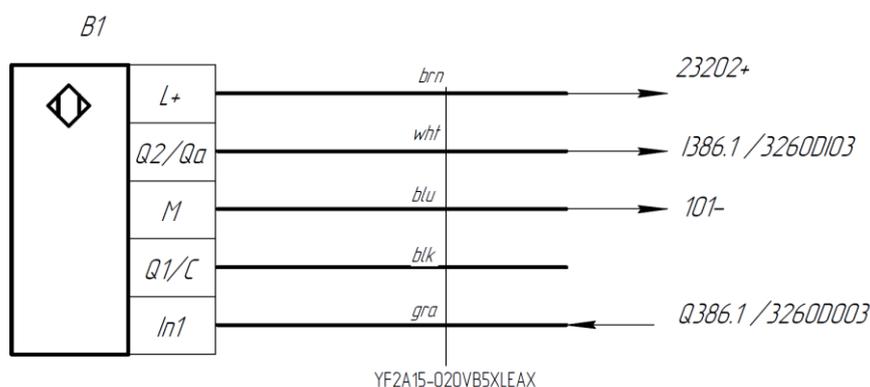


Рисунок 120 – Схема подключения оптического датчика

Ввиду использования оптического датчика расстояния и конструктивных различий маховика и приводного диска, а именно различия в расположении технологических отверстий, работа датчика была настроена в соответствии со схемой, представленной на рисунке 121.

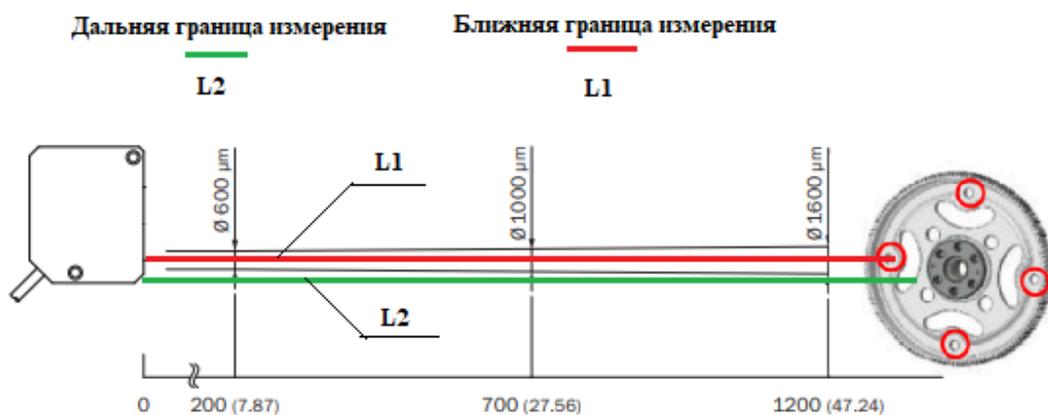


Рисунок 121 – Работа оптического датчика

□ Network 8 : ST120 Запуск работы датчика

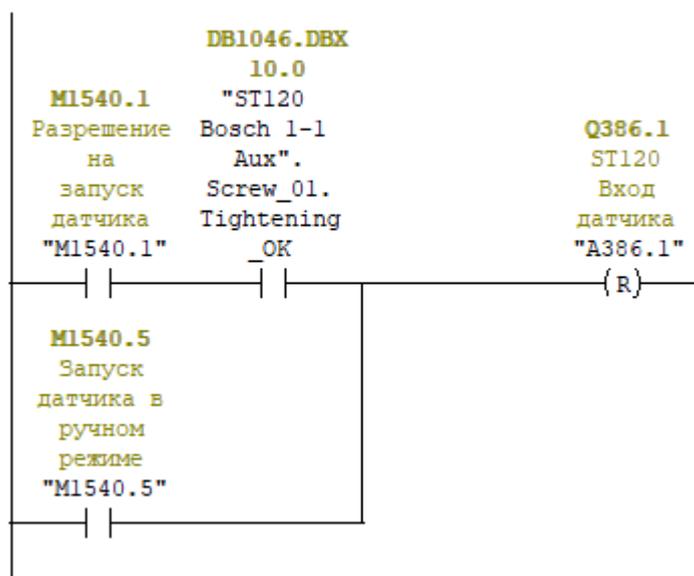


Рисунок 123 – Запуск работы датчика

Запуск работы датчика напрямую завязан с системой контроля гайковерта Bosch. Данная система отслеживает процесс закручивания каждого болта, статус текущей работы, все необходимые параметры и позиционирование гайковерта в пространстве. Таким образом, как только оператором будет закручен первый болт крепления маховика/приводного диска, автоматизированная система запустит в работу датчик и начнет измерения, блокируя все остальные операции до получения результата.

Для системы управления выделено три варианта результатов работы датчика, а именно обнаружение маховика, обнаружение приводного диска и ошибка работы, связанная с неоднозначными результатами измерения, к примеру, наличием посторонних предметов и преград в рабочей зоне. На рисунке 124 представлен участок программного кода, обрабатывающий результаты работы датчика.

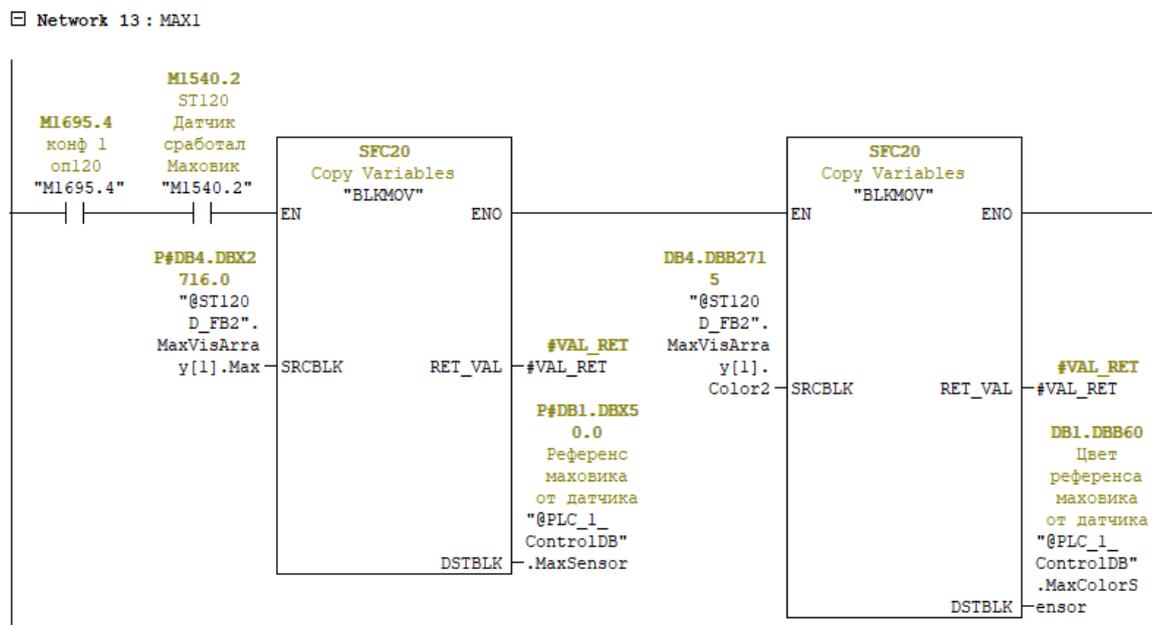


Рисунок 125 – Вывод информации о референсе маховика/приводного диска

В случае, если оператор установил неправильный навесной элемент, система управления при помощи информации с датчика и системы соответствий определяет несоответствие на панель выводятся необходимые информационные сообщения о причинах ошибки и способах их решения и работа на станции блокируется. Для исправления ошибки оператору необходимо перевести станцию в ручной режим, сбросить ошибку через специально введенную функциональную кнопку и открутить болт крепления некорректного навесного элемента, после чего установить правильный и начать работу на станции заново.

До момента завершения процесса работы системы соответствий на данной производственной операции, на панель оператора предварительно выводится референс навесного элемента, подлежащего установке в соответствии с привязками, введенными в систему и анализом информации о референсе двигателя, находящегося в работе, получаемой с RFID метки. Участки программного кода, реализующие функцию предварительного вывода информации представлены на рисунках 126-128.

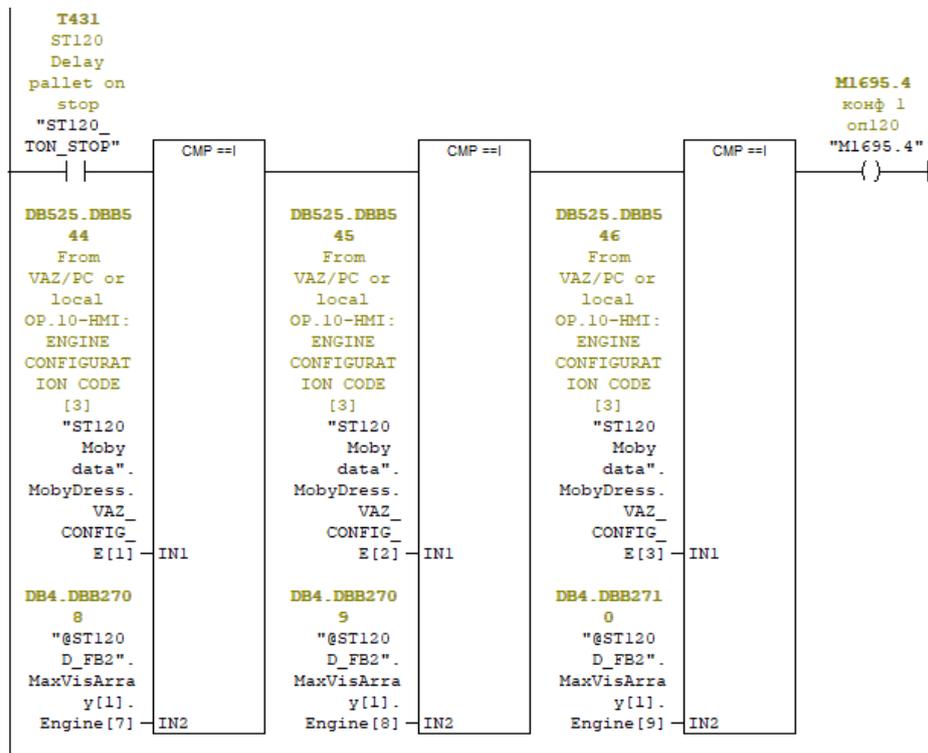


Рисунок 126 – Анализ конфигурации двигателя с RFID

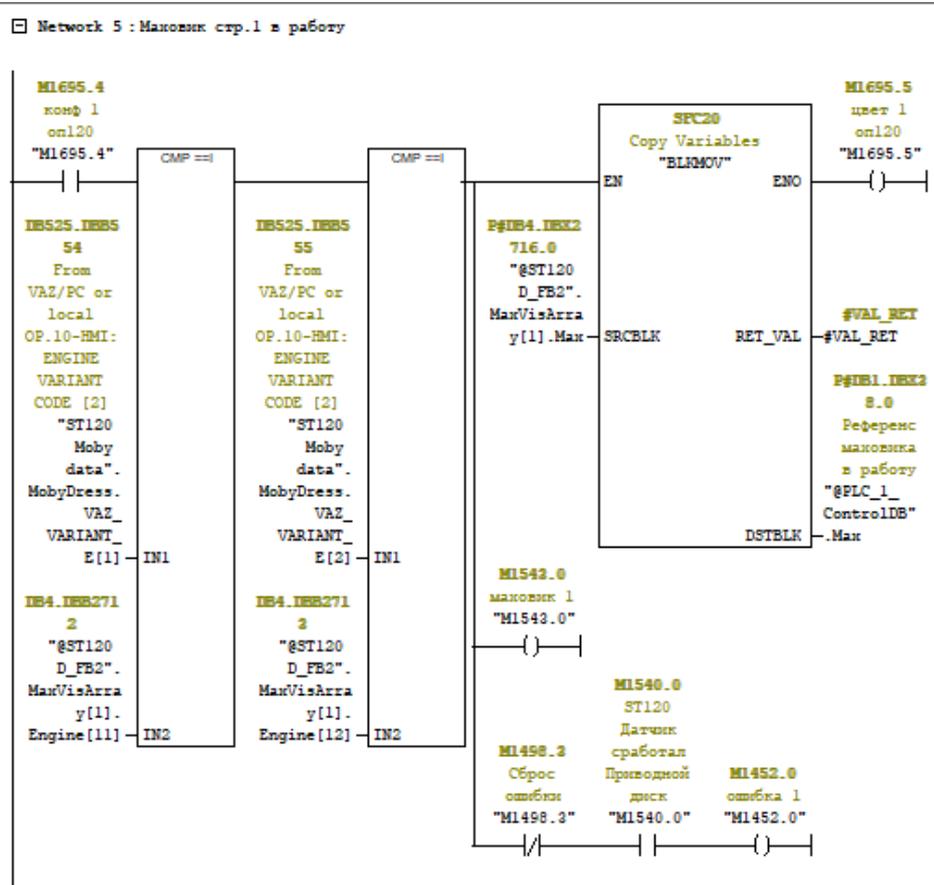


Рисунок 127 – Анализ варианта и вывод референса маховика

□ Network 6 : Цвет реф.1 в работу

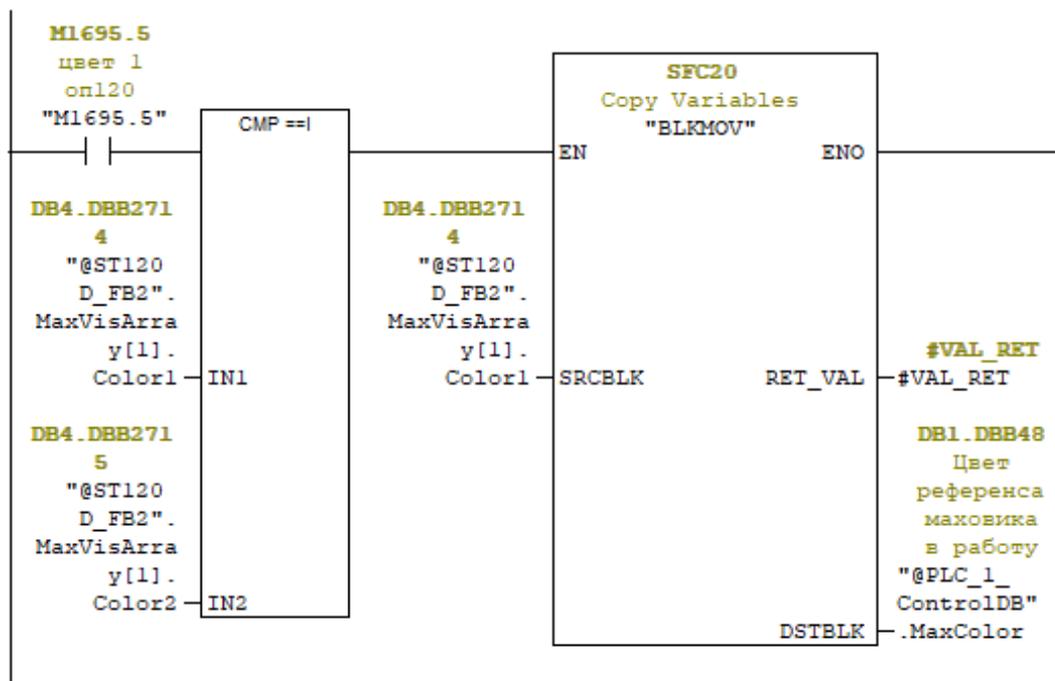


Рисунок 128 – Вывод информации о цветовом фоне референса

Помимо этого, в управляющую программу введен контроль смены партии двигателей, поступающих на производственную операцию. Таким образом, при фиксации факта смены партии двигателя, зашедшего в работу на производственную операцию, работнику необходимо проверить актуальную информацию о референсе маховика/приводного диска, подлежащего установке на текущий двигатель, и нажать грибковую кнопку активации работы станции на посту. Пока система не зафиксирует подтверждение оператора об ознакомлении с фактом смены партии, работа на производственной операции будет заблокирована. Участок программного кода, отслеживающий факт смены партии двигателя представлен на рисунке 129.

□ Network 2 : OP120 Смена партии маховика

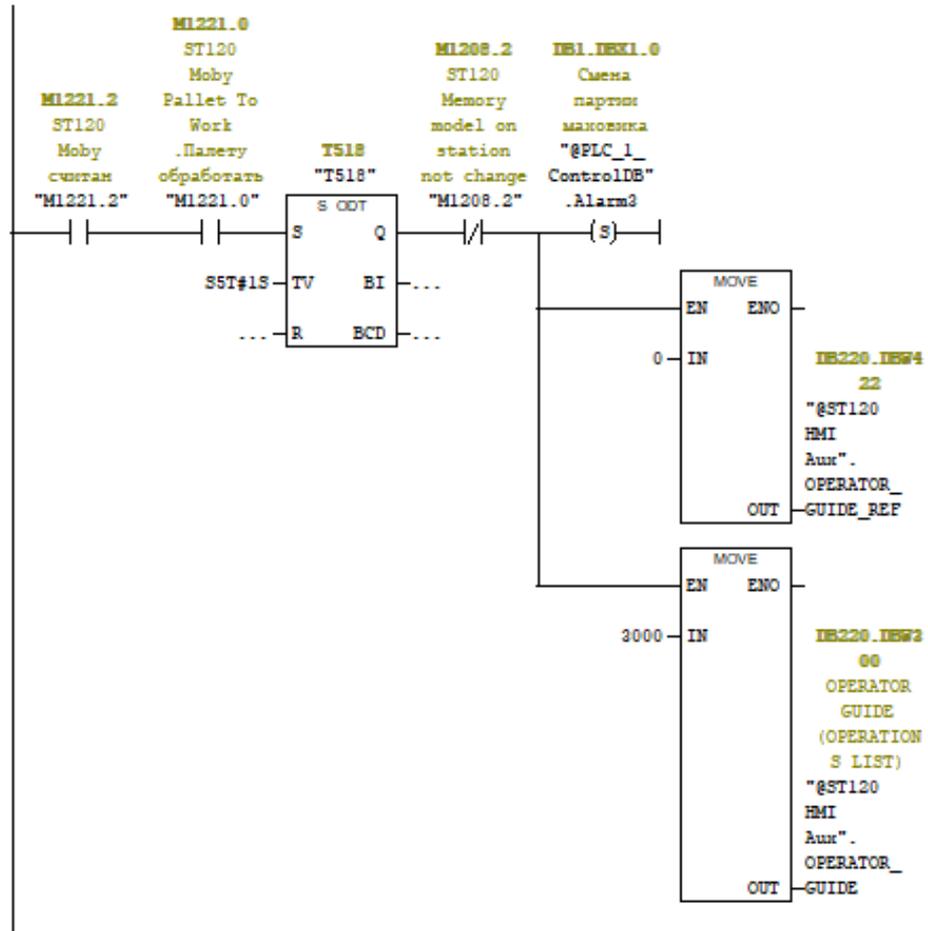


Рисунок 129 – Контроль смены партии двигателей

Помимо этого, для данной производственной операции были разработаны все необходимые функциональные экраны HMI. На рисунке 130 представлен главный экран производственной операции по установке маховика/приводного диска.

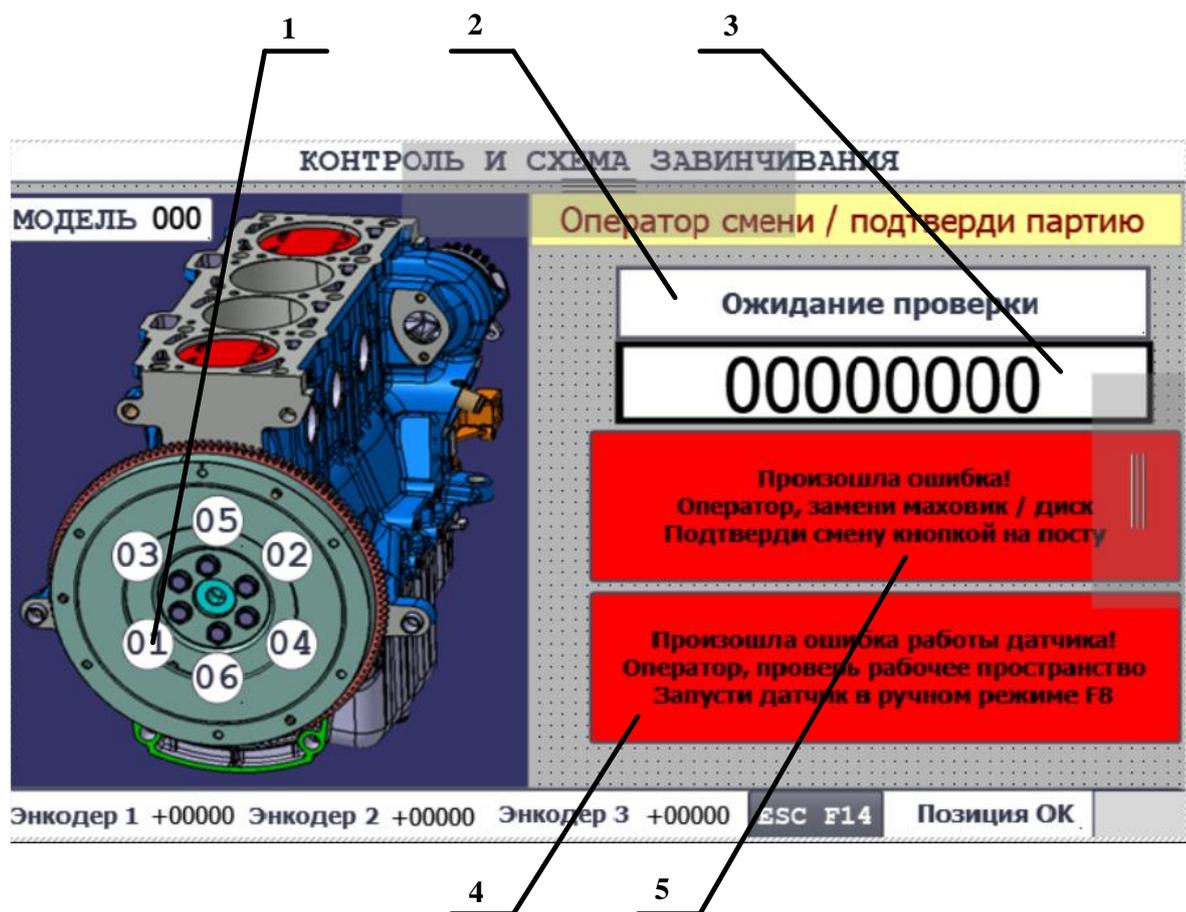


1 – поле модели, конфигурации и варианта двигателя; 2 – поле наименования устанавливаемой детали (маховика/приводного диска); 3 – поле референса устанавливаемой детали (маховика/приводного диска).

Рисунок 130 – Главный экран производственной операции

На данный экран выводится вся необходимая информация о двигателе, находящемся в работе на производственной операции и маховике/приводном диске, подлежащим установке на данный двигатель до цикла проверки корректности установки датчиком.

После того, как оператор установит требуемый элемент и закрутит первый болт крепления, главный экран НМІ в автоматическом режиме сменится на экран контроля и схемы закручивания, представленный на рисунке 131.



1 – обозначение расположения и номера закручиваемого болта; 2 – поле вывода фактического наименования детали по результатам замеров детали; 3 – поле вывода референса фактически устанавливаемой детали (приводного диска/маховика); 4 – сообщение об ошибке, вызванной нахождением в пространстве между датчиком и палетой посторонних предметов; 5 – сообщение об ошибке установки детали (приводного диска/маховика).

Рисунок 131 – Контроль и схема закручивания

На данном экране выводится вся необходимая информация и подсказки по результатам работы датчика, системы соответствий и системы контроля результатов закручивания.

После введения всех необходимых изменений и их согласования с заказчиком и наладчиком автоматизированной линии, алгоритм работы на данной производственной операции стал следующим. При заходе спутника на станцию, на главном экране выводится референс, цветовой фон и сообщение о необходимой для установки детали (маховика или приводного диска). В

случае смены заказа или отличия зашедшего двигателя от предыдущего, активируется мигание референса маховика/приводного диска, а также модели, конфигурации и варианта двигателя. На панель выводится информационное сообщение о необходимости смены партии. Для подтверждения партии необходимо нажать грибовидную кнопку "Активация палета" на посту. До тех пор, пока смена партии не будет подтверждена, гайковерт остается заблокированным. При работе оператору необходимо установить требуемую деталь (маховик/приводной диск), сверившись с информацией на экране. После закручивания первого болта крепления маховика/приводного диска активируется работа датчика расстояния, определяющего установленную деталь. В случае, если деталь установлена верно, на экран "Контроль и схема завинчивания" выводятся результаты работы датчика в виде типа установленной детали, ее референса и соответствующего цветового фона и оператор может закрутить остальные болты в штатном режиме работы операции. В случае, если система определила ошибочно установленную деталь, гайковерт блокируется, все результаты по закручиванию сбрасываются, а на главный экран выводится информационное сообщение об ошибке установки детали (приводного диска/маховика). Для продолжения работы и сброса ошибки, оператору необходимо перевести станцию в ручной режим, открутить закрученный ранее болт крепления, установить корректную деталь и запустить цикл заново в автоматическом режиме.

Выводы по разделу

В данном разделе представлена программная реализация разработанной системы соответствий на примере операций запрессовки заглушек БЦ и установки маховика/приводного диска, а также алгоритмы и принципы ее функционирования. Представлены разработанные функциональные экраны НМІ для рассмотренных технологических операций.

7 Изменение алгоритма работы других производственных операций, входящих в состав линии сборки двигателей ВАЗ 21179 и подлежащих модернизации

Помимо описанных выше производственных операций разработанная система соответствий вошла в технологический цикл и других производственных операций, изменив функционал и порядок работы на соответствующих постах и участках линии сборки двигателей ВАЗ 21179. Обобщенный список изменений, внесенных в систему управления модернизируемой линией сборки в рамках выполнения данной магистерской диссертации представлен в приложении А.

7.1 Позиция установки масляного картера

После введения всех необходимых изменений и их согласования с заказчиком и наладчиком автоматизированной линии, алгоритм работы на данной производственной операции стал следующим. На главный экран панели выводится референс масляного картера и его цветовой фон в соответствии с типом двигателя, находящегося на операции. При смене заказа или поступлении на пост палеты с двигателем, отличающимся от предыдущего, записанного в памяти станции, активируется мигание строки модели, конфигурации, варианта двигателя и референса масляного картера. Выводится информационное сообщение о необходимости смены партии. Пока смена партии не будет подтверждена гайковерт остается заблокированным. Подтверждение смены партии происходит нажатием грибовидной кнопки "Активация палета" на посту. Экран панели «Параметры» с таблицей соответствия на рассматриваемой производственной операции представлен на рисунке 132.



1 – обозначение клавиши F7 вхождения в режим корректировки значений; 2 – обозначение операции удаления значения в активной ячейке таблицы с помощью клавиш F5 и F2; 3 – поле ввода наладчиком модели двигателя; 4 – поле ввода наладчиком цветовой маркировки референса масляного картера; 5 – поле ввода наладчиком референса масляного картера; 6 – обозначение клавиши пролистывания таблицы вверх F4; 7 – обозначение клавиши пролистывания таблицы вниз F6; 8 – обозначение номера текущей страницы таблицы и полного количества страниц.

Рисунок 132 – Таблица соответствий позиции установки масляного картера

Действия с таблицей осуществляются таким же образом, как и на рассмотренных в 5 разделе магистерской диссертации производственных операциях.

Переход к разработанным функциональным экранам НМІ на всех модернизируемых производственных операциях осуществляется с экрана специальных функций, представленный на рисунке 133.



Рисунок 133 – Экран выбора специальных функций

7.2 Позиция установки крышки ГБЦ

После введения всех необходимых изменений и их согласования с заказчиком и наладчиком автоматизированной линии, алгоритм работы на данной производственной операции стал следующим. На главный экран панели выводится референс крышки головки блока цилиндров и его цветовой фон в соответствии с типом двигателя, находящегося на операции. При смене заказа или поступлении на пост палеты с двигателем, отличающимся от предыдущего, записанного в памяти станции, активируется мигание строки модели, конфигурации, варианта двигателя и референса крышки головки цилиндров. Выводится информационное сообщение о необходимости смены партии. Пока смена партии не будет подтверждена, гайковерт остается заблокированным. Подтверждение смены партии происходит нажатием грибовидной кнопки "Активация палета" на посту. Экран «Параметры» с таблицей соответствия и действия с ним на операции данной производственной операции аналогичны рассмотренным ранее.

7.3 Позиция установки катколлектора

После введения всех необходимых изменений и их согласования с заказчиком и наладчиком автоматизированной линии, алгоритм работы на данной производственной операции стал следующим. На главный экран панели выводится референс трубы катколлектора и его цветовой фон в соответствии с типом двигателя, находящегося на операции. При смене заказа или поступлении на пост палеты с двигателем, отличающимся от предыдущего, записанного в памяти станции, активируется мигание строки модели, конфигурации, варианта двигателя и референса трубы катколлектора. Выводится информационное сообщение о необходимости смены партии. Пока смена партии не будет подтверждена, гайковерт остается заблокированным. Подтверждение смены партии происходит нажатием грибовидной кнопки "Активация палета" на посту. Экран «Параметры» с таблицей соответствия и действия с ним на операции данной производственной операции аналогичны рассмотренным ранее.

Выводы по разделу

В данном разделе был произведен краткий обзор модернизированного алгоритма работы производственных операций, не рассматриваемых ранее, после изменения управляющей программы в рамках выполнения данной магистерской диссертации.

Заключение

В рамках выполнения магистерской диссертации были получены следующие основные научные и практические результаты:

1) Предложена структура и алгоритмы работы систем контроля корректности выполнения производственных операций и установки навесного оборудования с применением систем машинного зрения, подлежащих внедрению в состав управляющей программы линии сборки двигателей ВАЗ 21179.

2) Представлен алгоритм настройки и функционирования камерного блока с перечнем оптимальных для выдвигаемых задач и условий инструментов распознавания In-Sight.

3) Представлены результаты работы камерного блока в составе системы управления сборочной линии.

4) Представлен модернизированный алгоритм работы системы traceability, с учетом введения новых данных, подлежащих контролю.

5) Предложена концепция, алгоритм и принцип работы системы соответствий, входящей в состав систем контроля корректности выполнения технологических процессов.

6) Представлена программная реализация разработанной системы соответствий на всех производственных операциях, подлежащих модернизации.

7) Предложена обновленная методика и программа испытаний, а также модернизированный алгоритм работы на станциях с учетом изменений, внесенных в управляющую программу.

8) Представлены разработанные функциональные экраны HMI.

9) Произведена пуско-наладка и проверка работоспособности всех разработанных систем.

Список используемых источников

1. Арсеньев К. Ю. Промышленная автоматика: теория и практика. — М.: Наука, 2014. — 368 с.
2. Гребенников А. В., Беляков В. А. Основы машинного зрения в системах прослеживаемости производства. Журнал "Технологии в машиностроении". 2015. № 10. С. 45-50.
3. Гусев Е. И., Иванов Д. В. Промышленные автоматические системы на базе контроллеров SIMATIC S7-300. — М.: БХВ-Петербург, 2019. — 288 с.
4. Золотов И.И., Золотов А.И. Комплексы средств промышленной автоматизации. С. 14-20. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3AfL3j> (дата обращения: 17.01.2024).
5. Золотов И.И., Золотов А.И. Комплексы средств промышленной автоматизации. С. 21-27. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3AfL3j> (дата обращения: 18.01.2024).
6. Золотов И.И., Золотов А.И. Комплексы средств промышленной автоматизации. С. 28-34. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3AfL3j> (дата обращения: 19.01.2024).
7. Иванов А. А., Петров В. В. Автоматизация производственных процессов с использованием программного обеспечения ПИА Portal. — М.: Наука, 2018. — 224 с.
8. Иванов С. Н. Интеграция систем прослеживаемости в машиностроительном производстве. Москва: Издательство "Бизнес-Книга", 2016. 150 с.
9. Ковалев А. П., Степанов В. И. Автоматизация технологических процессов с использованием машинного зрения. Санкт-Петербург: Издательский дом "Политехника", 2019. 180 с.

10. Корнилов А. В. Системы соответствий и прослеживаемости в машиностроительстве: опыт внедрения и перспективы развития. Сборник научных трудов конференции "Инновации в машиностроении". 2019. С. 112-118. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.conferenceproceedings.com/zh/unknown/unknown/8/> (дата обращения: 09.02.2024).
11. Лукина Е. А., Попов А. Г. Роль систем соответствия и прослеживаемости в повышении эффективности машиностроительных кластеров. Журнал "Экономика и управление". 2018. № 3. С. 56-62.
12. «Машинное зрение» // Википедия [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Машинное_зрение (дата обращения: 19.01.2024).
13. Промышленные контроллеры Siemens SIMATIC: каталог продукции. Siemens AG, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/publications/catalogs.html> (дата обращения: 07.02.2024).
14. Петров И. Д., Сидоров К. В. Применение систем прослеживаемости для оптимизации логистики машиностроительных предприятий. Журнал "Логистика и управление цепями поставок". 2017. № 4. С. 28-35.
15. Пьянков А. В., Аксенов И. В., Моренец Г. В. Машинное зрение и его применение. Интернет-журнал "Научная мысль". 2017. [Электронный ресурс]. URL: <http://journals.ru/library/files/rnm/sborniki/2017/20-28.pdf> (дата обращения: 11.01.2024).
16. «Разные типы систем машинного зрения» // Cognex Ru [Электронный ресурс]. URL: https://www.cognex.com/ru-ru/what-is/machine-vision/system-types?cm_campaign=7014w000000ub9uqaq (дата обращения: 11.02.2024).
17. «Системы автоматизации S7-300» [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3AayA4> (дата обращения: 07.02.2024).
18. Степаненко С. А., Лиховид В. Ф. Программирование контроллеров SIMATIC. — СПб.: Питер, 2017. — 320 с.

19. Смирнов Н. И. Машинное зрение и его применение в автоматизированных системах. Москва: Издательство "Техника", 2018. 230 с.
20. Схиртладзе, А.Г. «Оборудование машиностроительных предприятий» [Электронный ресурс] / А.Г. Схиртладзе, В.И. Выходец, Н.И. Никифоров. — Электрон. текстовые дан. — Волгоград: РПК «Политехник», 2021. URL: доступа: <http://bookre.org/reader?file=807789> (дата обращения 15.02.2024).
21. Шипицын А. М., Алексеев Д. Б. Применение технологий компьютерного зрения для повышения эффективности производства. Журнал "Промышленная техника". 2016. № 5. С. 34-39.
22. «Cognex Ru» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cognex.com/ru-ru> (дата обращения: 01.03.2024).
23. «Cognex In-Sight 700 Vision System» // Cognex [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-7000-series> (дата обращения: 22.11.2023).
24. IEC 61131-3. «Programmable controllers – Part 3: Programming languages», - 2013 у.
25. «Industry Support Siemens» [Электронный ресурс]. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=en-WW> (дата обращения: 23.02.2024).
26. «In-Sight 7000 GII: новое поколение систем машинного зрения Cognex» // CONTROL ENGINEERING [Электронный ресурс]. URL: <https://controleng.ru/tehlichesкое-zrenie/in-sight-7000-gii/?link=1> (дата обращения: 27.02.2024).
27. «SICK Ru» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sickrussia.ru/> (дата обращения: 03.03.2024).

28. «SICK» [Электронный ресурс]. URL: <https://cdn.sickcn.com/de/en/> (дата обращения: 04.03.2024).

29. «SIMATIC S7-300» // Siemens [Электронный ресурс]. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-300.html> (дата обращения: 15.01.2024).

30. SIMATIC S7. Комплексная автоматизация – программирование для начинающих. Курс ST-PRO1 / SIEMENS AG, 2004.

31. SIMATIC S7. Комплексная автоматизация – программирование для специалистов. Курс ST-PRO2 / SIEMENS AG, 2004.

32. SIMATIC S7. Контактный план (КОР) для S7-300 и S7-400. Программирование. Справочное руководство - Редакция 01/2004 / SIEMENS AG, 2004.

33. «Traceability system for logistics efficiency» // MECALUX [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mecalux.com/blog/traceability-system> (дата обращения: 13.03.2024).

Приложение А

Список внесенных изменений

- 1) Добавлен функциональный блок FB 3, реализующий функцию выбора типа БЦ (литеры блока цилиндров).
- 2) Добавлена функция FC 2, реализующая работу системы соответствий и вывод информации для оператора.
- 3) Добавлена функция FC 4, реализующая работу камеры, подготовку данных по результатам работы к записи на RFID и контроль правильности установки БЦ на стенд для запрессовки.
- 4) В функцию FC12 добавлен NW21 реализующий контроль и вывод информации о невозможности редактирования таблицы соответствий при запущенном цикле.
- 5) Внесены изменения в функцию FC 13
 - NW 32, NW 33 добавлен контакт, отслеживающий нажатие функциональной кнопки “Сброс” F7 на панели оператора.
 - NW 33 добавлен сброс результатов рабочего цикла камеры
 - Добавлен NW54 – запуск рабочего цикла камеры.
 - Добавлен NW55 – вызов функции FC4.
 - NW 56 добавлены контакты, блокирующие работу группы Rotospray при отсутствии информации об успешно считанных/введенных данных БЦ, а также при ситуации несоответствия заказа и установленного блока.
 - NW 57 добавлены контакты блокирующие работу Rotospray при возникновении ошибок соответствия.
 - NW 66 добавлен подвод камеры на рабочую позицию.
 - NW 67 добавлены случаи отвода камеры в домашнюю позицию.
 - NW 79 добавлено отслеживание нажатия функциональной кнопки “Сброс”.
 - NW 158 добавлен вывод информации для оператора.
- 6) Внесены изменения в функцию FC 14
 - NW 12 добавлен подвод камеры в ручном режиме.
 - NW 14 добавлен отвод камеры в ручном режиме.
- 7) Внесены изменения в функцию FC 16
 - NW 14 добавлена запись классов коренных опор по результатам работы камеры.

Продолжение Приложения А

- NW 15 добавлена запись классов цилиндров по результатам работы камеры.
 - NW 16 добавлена запись литеры блока цилиндров по результатам работы камеры.
 - NW 17 добавлена передача данных с ручного ввода.
 - NW 30 изменен объем информации, подлежащий записи в RFID.
 - NW 2 добавлен вызов функции FC 2.
 - NW 4 изменен объем памяти, подлежащий очистке.
- 8) Добавлен DB977 содержащий обработанные результаты работы камеры.
 - 9) Добавлен DB922 содержащий результаты и статусы работы камеры.
 - 10) Добавлен DB1 содержащий служебную информацию для модернизированных операций OP010.
 - 11) Внесены изменения в DB501 – добавлена литера БЦ.
 - 12) Добавлен DB900 содержащий информацию о ручном вводе информации и результатах отработки OP010 для последующей реализации в окне ручного режима.
 - 13) Добавлен DB5 содержащий информацию для работы системы привязки.

Из цикла работы станции удалена камера Cognex 2 OP020A и все взаимосвязи с ней, изменены блоки FC23, FC24, FC26, FC28.

Внесены изменения в блок FC39 NW 3, NW 12 – удалена взаимосвязь с камерой Cognex 2 OP020A.

- 1) Добавлен функциональный блок FB1 реализующий функцию выбора типа масляного картера.
- 2) Добавлена функция FC17, реализующая работу системы соответствий и вывод информации для оператора.
- 3) Внесены изменения в функцию FC102 добавлен NW20 реализующий контроль и вывод информации о невозможности редактирования таблицы соответствий при запущенном цикле.
- 4) Внесены изменения в функцию FC108 NW4 – блокировка работы гайковерта.
- 5) Добавлен DB3 содержащий информацию для работы системы привязки.

Продолжение Приложения А

- 1) Внесены изменения в функцию FC128
 - NW 4 добавлен вызов функции FC47.
 - NW 5 добавлена блокировка гайковерта.
 - NW 7-NW 27 в алгоритм работы станции введен рабочий цикл оптического датчика с выводом и обработкой информации.
 - NW 28 добавлен сброс результатов работы гайковерта при появлении ошибки соответствия.
- 2) Внесены изменения в функцию FC123
 - NW 77 - NW 84 добавлен сброс результатов работы при появлении ошибки соответствий.
 - NW 108 добавлен вывод информации для оператора.
- 3) Добавлена функция FC47 реализующая работу системы соответствий и вывод информации для оператора.
- 4) Добавлен функциональный блок FB 2 реализующий функцию выбора типа маховика/приводного диска.
- 5) Внесены изменения в функцию FC122 – добавлен NW 20 реализующий контроль и вывод информации о невозможности редактирования таблицы соответствий при запущенном цикле.
- 6) Добавлен DB4 содержащий информацию для работы системы привязки.
 - 1) Добавлен функциональный блок FB 1 реализующий функцию выбора типа крышки ГБЦ.
 - 2) Добавлена функция FC2 реализующая работу системы соответствий и вывод информации для оператора.
 - 3) Внесены изменения в функцию FC32 – добавлен NW 20 реализующий контроль и вывод информации о невозможности редактирования таблицы соответствий при запущенном цикле.
 - 4) Добавлен DB1 содержащий информацию для работы системы привязки.
 - 5) Внесены изменения в функцию FC38 NW4 – блокировка работы гайковерта.
- 1) Внесены изменения в функцию FC47 NW 1 – NW 63 – вывод и контроль информации, подлежащей выводу для оператора.
- 2) Внесены изменения в функцию FC48 NW4 – блокировка работы гайковерта.