

Энергетические системы и комплексы

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КОНВЕЙЕРНАЯ СИСТЕМА СОРТИРОВКИ

- **Брылина О.Г.**, канд. техн. наук, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия
- **Исанбеков Р.Р.**, ООО «Биянковский щебёночный завод», г. Миньяр, Челябинская область, Россия

THE AUTOMATED CONVEYOR BOX SORTING SYSTEM

- **Brylina O.G.**, Ph.D., South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
- **Isanbekov R.R.**, Biyanovsky Sckebenochniy zavod LLC, Minyar, Chelyabinsk Region, Russia

В статье рассматривается автоматизированная конвейерная система сортировки коробок, реализованная в виртуальной среде Factory IO v2.4.3 под управлением программируемого логического контроллера Siemens S7-1200 (CPU 1211C DC/DC/DC), запрограммированного в среде TIA Portal V17. Система осуществляет двухуровневую сортировку. На первом уровне изделия проходят через Vision Sensor и сортируются по цвету на три категории (Blue, Green, Grey) с применением Pivot Arm Sorter. На втором уровне изделия взвешиваются и распределяются по весовым категориям (лёгкие менее 5,2 кг, средние, тяжёлые более 9,8 кг) с отклонением на соответствующие конвейеры. Разработана структурная схема, панель управления и I/O маппинг системы в TIA Portal. Предложен алгоритм сортировки на языке LAD (Ladder Diagram). Протестирована и выполнена верификация разработанной системы. Материалы статьи могут быть полезны при проектировании систем топливоподачи на ТЭС, при модернизации автоматизированных конвейерных систем используемых при производстве элементов и устройств возобновляемой энергетики, в пищевой, фармацевтической и логистической промышленности.

Ключевые слова: автоматизированная конвейерная система сортировки, программируемый логический контроллер, Factory IO, TIA Portal, Vision Systems, система топливоподачи, элементы и устройства возобновляемой энергетики.

This article discusses the automated conveyor box sorting system implemented in the Factory IO v2.4.3 virtual environment and controlled by a Siemens S7-1200 programmable logic controller (CPU 1211C DC/DC/DC) programmed in TIA Portal V17. The system performs two-level sorting. On the first level, items pass through a Vision Sensor and are sorted by color into three categories (Blue, Green, Gray) using a Pivot Arm Sorter. On the second level, items are weighed and sorted into weight categories (light under 5.2 kg, medium, and heavy over 9.8 kg) and sent to the appropriate conveyors. A structural diagram, control panel, and I/O mapping for the system were developed in the TIA Portal. A sorting algorithm using the Ladder Diagram (LAD) language was proposed. The developed system was tested and verified. The article's materials can be useful for designing of fuel supply systems at thermal power plants, in the upgrading of automated

conveyor systems used in the production of renewable energy components and devices, and in the food, pharmaceutical, and logistics industries.

Key words: automated conveyor box sorting system, programmable logic controller, Factory IO, TIA Portal, Vision Systems, fuel supply system, renewable energy components and devices.

Введение

В современном промышленном производстве задачи автоматизации сортировки и классификации изделий занимают одно из ключевых мест. Они широко применяются в различных отраслях промышленности: пищевой, фармацевтической, машиностроительной, логистической и позволяют с высокой скоростью и точностью классифицировать продукцию по различным параметрам, например, массе, размеру, цвету, форме [1, 2].

В то же время конвейерные системы с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) позволяют значительно повысить производительность, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить стабильное качество продукции [3, 4].

ПЛК представляет собой промышленный компьютер, предназначенный для управления технологическими процессами в режиме реального времени. Среди ведущих производителей ПЛК выделяются Siemens, Omron, Delta Electronics [5, 6, 7, 8].

Анализ литературных источников показал, что задача двухуровневой сортировки по весовому и цветовому признакам является актуальной и практически значимой [9]. Реализация подобной системы требует корректного построения алгоритма управления с применением последовательной логики, таймеров, счётчиков и блоков сравнения [10].

Целью данной работы является разработка и исследование алгоритма управления автоматизированной конвейерной системой сортировки коробок по весовым и цветовым категориям на базе ПЛК Siemens S7-1200 с использованием TIA Portal V17 и Factory IO v2.4.3.

Семейство Siemens SIMATIC S7-1200 является одним из наиболее востребованных в классе компактных ПЛК. Контроллер CPU 1211C DC/DC/DC обеспечивает высокое быстродействие, встроенный веб-сервер, поддержку протоколов PROFINET/Industrial Ethernet и широкие возможности расширения [5]. Программирование осуществляется в среде TIA Portal, поддержива-

ющей языки стандарта МЭК 61131-3: LAD, FBD, STL, SCL и GRAPH [11].

Для задач классификации по цвету применяются системы машинного зрения (Vision Systems).

Датчик видения (Vision Sensor) формирует цифровой идентификатор объекта, который передаётся в ПЛК для принятия решений о маршруте сортировки [12]. В данной работе Vision Sensor возвращает значение типа DINT: 1 для синих объектов, 4 — для зелёных, 7 — для прочих объектов типа Other.

Виртуальное моделирование производственных процессов с применением Factory IO позволяет отрабатывать алгоритмы управления без использования реального оборудования, что существенно сокращает затраты на разработку и позволяет проводить тестирование в безопасной среде [2]. Factory IO поддерживает прямую интеграцию с TIA Portal по протоколу S7.

Таким образом, для достижения поставленной цели планируется изучить теоретических основы автоматизированных систем сортировки и решить следующие задачи:

- выполнить обзор программных средств Factory IO и TIA Portal;
- разработать структурную схему и I/O маппинга системы;
- разработать алгоритм сортировки на языке LAD (Ladder Diagram);
- протестировать и выполнить верификацию разработанной системы.

Программное обеспечение

Siemens TIA Portal V17

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) - интегрированная инженерная среда компании Siemens, предназначенная для конфигурирования, программирования и диагностики всех компонентов системы автоматизации: ПЛК, панелей оператора, преобразователей частоты и промышленных сетей [5, 11].

Ключевые особенности TIA Portal V17:

- единая среда для программирования всех устройств Siemens;
- поддержка языков программирования по МЭК 61131-3 (LAD, FBD, STL, SCL, GRAPH);
- встроенный онлайн-мониторинг с отображением состояния переменных в режиме реального времени;
- удобный редактор тегов (Tag Table) с поддержкой различных типов данных;
- интегрированная система диагностики и отладки, а также среда SIMATIC WinCC [13] для разработки SCADA-панелей.

В данной работе использован язык LAD (Ladder Diagram - релейно-контактная схема), который является наиболее распространённым при разработке систем управления конвейерным оборудованием благодаря наглядности и соответствию принципам электрических схем.

Factory IO v2.4.3

Factory IO - программный симулятор производственных сцен, разработанный компанией Real Games. Приложение предоставляет библиотеку из более чем 100 компонентов промышленного оборудования: конвейеров, датчиков, приводов, манипуляторов, визуальных датчиков и панелей управления [2].

Достоинства Factory IO:

- трёхмерная визуализация производственного процесса в реальном времени;
- прямая интеграция с ПЛК Siemens через протокол S7 (порт 102);
- поддержка Modbus TCP, OPC UA и других протоколов;
- широкий набор датчиков: фотоэлектрические, весы, Vision Sensor.

Структурная схема и описание системы

Общий вид модели в Factory IO

На рисунке 1 представлен общий вид разработанной сцены в Factory IO v2.4.3. Система включает входной конвейер, цветовую секцию с Vision Sensor и тремя Pivot Arm Sorter (первый уровень сортировки), а также весовую секцию с развилкой на три направления (второй уровень сортировки).

На рисунке 2 показана цветовая секция крупным планом:

- основной конвейер (Color Conveyor 6m);
- три Pivot Arm Sorter (Other/Blue/Green);
- датчики цвета;
- короткие ленты выгрузки.

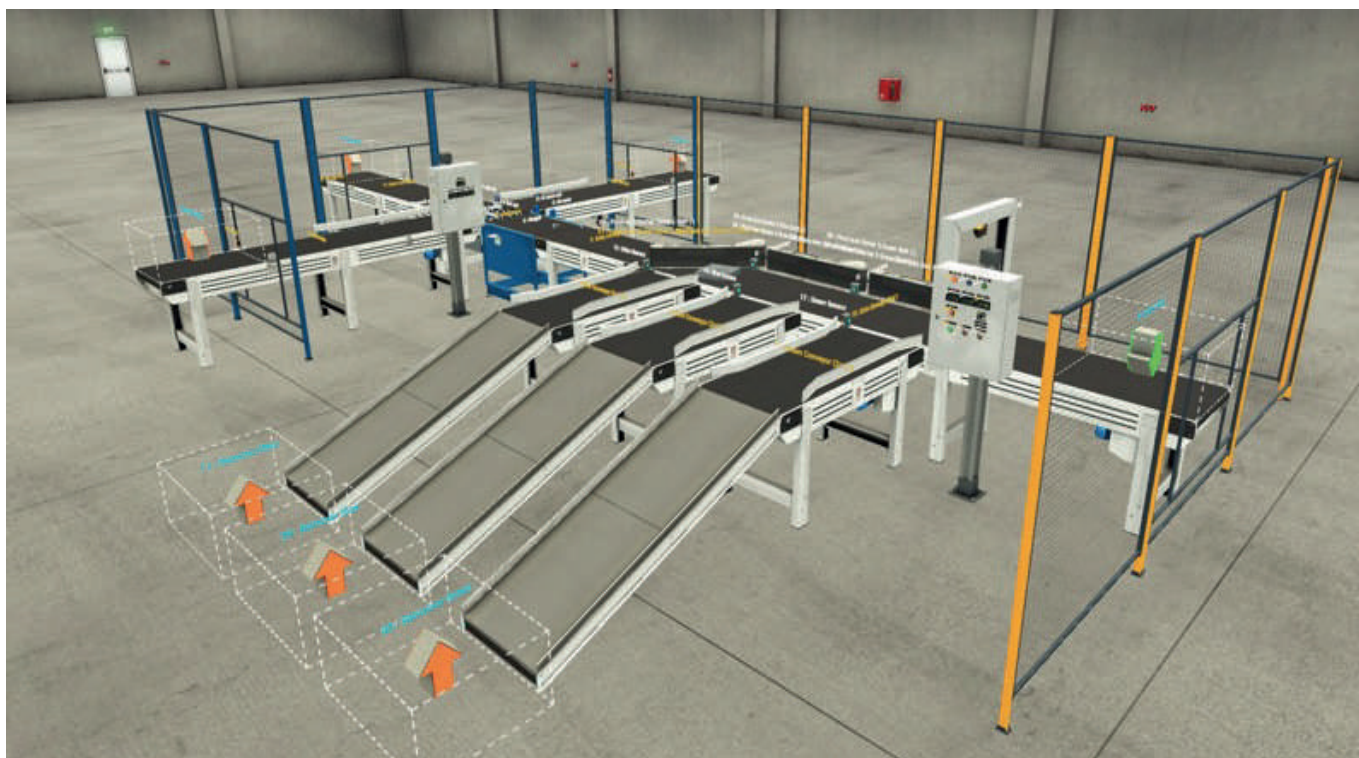


Рис. 1. Общий вид конвейерной системы в Factory IO



Рис. 2. Цветовая секция: Pivot Arm Sorter и датчики

Панель управления

Панель управления Factory IO (рисунок 3) отображает счётчики весовой сортировки:

- вес текущего изделия на весах
- количество изделий по каждому направлению (Left/Forward/Right).

На рисунке 4 представлена панель управления с индикаторами цветовой сортировки и счётчиками Other/Blue/Green.

Видны кнопки Start/Stop/Reset, переключатель Auto/Manual и аварийная кнопка Emergency Stop.



Рис. 3. Панель управления: счётчики весовой секции



Рис. 4. Панель управления: индикаторы и счётчики цветовой секции

Таблица 1 – I/O маппинг системы

Адрес	Наименование сигнала	Назначение
%I0.0	At scale entry	Датчик входа на весы
%I0.1	At scale	Датчик на весах
%I0.2	At scale exit	Датчик выхода с весов
%I1.1	Start	Кнопка «Пуск»
%I1.2	Reset	Кнопка «Сброс»
%I1.3	Stop	Кнопка «Стоп»
%I1.5	Emergency stop	Аварийный останов
%I1.6	Other Sensor 1	Датчик прочих изделий
%I1.7	Blue Sensor 2	Датчик синих изделий
%I2.0	Green Sensor 3	Датчик зелёных изделий
%ID30 (REAL)	Weight	Значение веса с весов
%ID34 (DINT)	Vision Sensor 1 (ID)	Идентификатор цвета
%Q0.0	Entry conveyor	Входной конвейер
%Q0.2	Send left	Отклонение влево (лёгкие)
%Q0.4	Send right	Отклонение вправо (тяжёлые)
%Q0.6	Send forward	Пропуск вперёд (средние)
%Q1.3	Color Conveyor (6m)	Конвейер цветовой секции
%Q2.2 / %Q2.3	Pivot Arm Sorter 1 Other	Поворот и лента для прочих
%Q2.5 / %Q2.6	Pivot Arm Sorter 2 Blue	Поворот и лента для синих
%Q3.0 / %Q3.1	Pivot Arm Sorter 3 Green	Поворот и лента для зелёных
%QD46	Other Count	Счётчик серых изделий
%QD50	Blue Count	Счётчик синих изделий
%QD54	Green Count	Счётчик зелёных изделий

I/O маппинг системы

На рисунке 5 представлена таблица соответствия сигналов Factory IO и адресов ПЛК, настроенная в интерфейсе симулятора.

В таблице 1 представлено полное соответствие физических адресов ПЛК и сигналов системы.

Алгоритм и программа управления

Цветовая сортировка (Networks 15–25)

Программа управления реализована в организационном блоке OB1 на языке LAD. Первый функциональный блок по логике исполнения (Networks 15–25) реализует цветовую сортировку — изделие сначала проходит через Vision Sensor и направляется на нужный Pivot Arm Sorter.

Network 15: при активном Work значение

At scale entry	%I0.0	%Q0.0	Entry conveyor
At scale	%I0.1	%Q0.1	Load scale
At scale exit	%I0.2	%Q0.2	Send left
At left entry	%I0.3	%Q0.3	Left conveyor
At exit left	%I0.4	%Q0.4	Send right
At forward entry	%I0.5	%Q0.5	Right conveyor
At exit front	%I0.6	%Q0.6	Send forward
At right entry	%I0.7	%Q0.7	Front conveyor
At exit right	%I1.0	%Q1.0	Start light
Start	%I1.1	%Q1.1	Reset light
Reset	%I1.2	%Q1.2	Stop light
Stop	%I1.3	%Q1.3	Color Conveyor (6m) 1
Auto	%I1.4	%Q1.4	Other Conveyor (2m) 2
Emergency stop	%I1.5	%Q1.5	Blue Conveyor (2m) 3
Other Sensor	%I1.6	%Q1.6	Green Conveyor (2m) 4
Blue Sensor	%I1.7	%Q1.7	Other indicator
Green Sensor	%I2.0	%Q2.0	Blue indicator
Blue sensor front	%I2.1	%Q2.1	Green indicator
Green sensor front	%I2.2	%Q2.2	Pivot Arm Sorter 1 Other Turn
Other sensor front	%I2.3	%Q2.3	Pivot Arm Sorter Other 1 Belt (+)
Weight	%ID30 (REAL)	%Q2.4	Pivot Arm Sorter Other 1 Belt (-)
Vision Sensor 1 (Value)	%ID34 (DINT)	%Q2.5	Pivot Arm Sorter 2 Blue Turn
		%Q2.6	Pivot Arm Sorter 2 Blue Belt (+)
		%Q2.7	Pivot Arm Sorter 2 Blue Belt (-)
		%Q3.0	Pivot Arm Sorter 3 Green Turn
		%Q3.1	Pivot Arm Sorter 3 Green Belt (+)
		%Q3.2	Pivot Arm Sorter 2 Blue Belt (-)
		(DINT) %QD30	Left count
		(DINT) %QD34	Forward count
		(DINT) %QD38	Right count
		(DINT) %QD42	Weight
		(DINT) %QD46	Other count
		(DINT) %QD50	Blue Count
		(DINT) %QD54	Green Count

Рис. 5. Таблица I/O маппинга в TIA Portal

Vision Sensor (%ID34, DINT) копируется в буферный регистр %MD200 («ColorMem») блоком MOVE. Network 16 (рисунок 6) выполняет определение цвета. Для каждой категории используется блок TP (таймер импульса, PT = T#7s) совместно с CMP == DWord:

- %MD200 == DWord 1 → TP (7c) → Blue sensor front (%I2.1) → SET %M0.0 (Mem_Blue);
- %MD200 == DWord 4 → Green indicator (%Q2.1) → SET %M0.1 (Mem_Green);
- %MD200 == DWord 7 → TP (7c) → Other sensor front (%I2.3) → SET %M0.2 (Mem_Other).

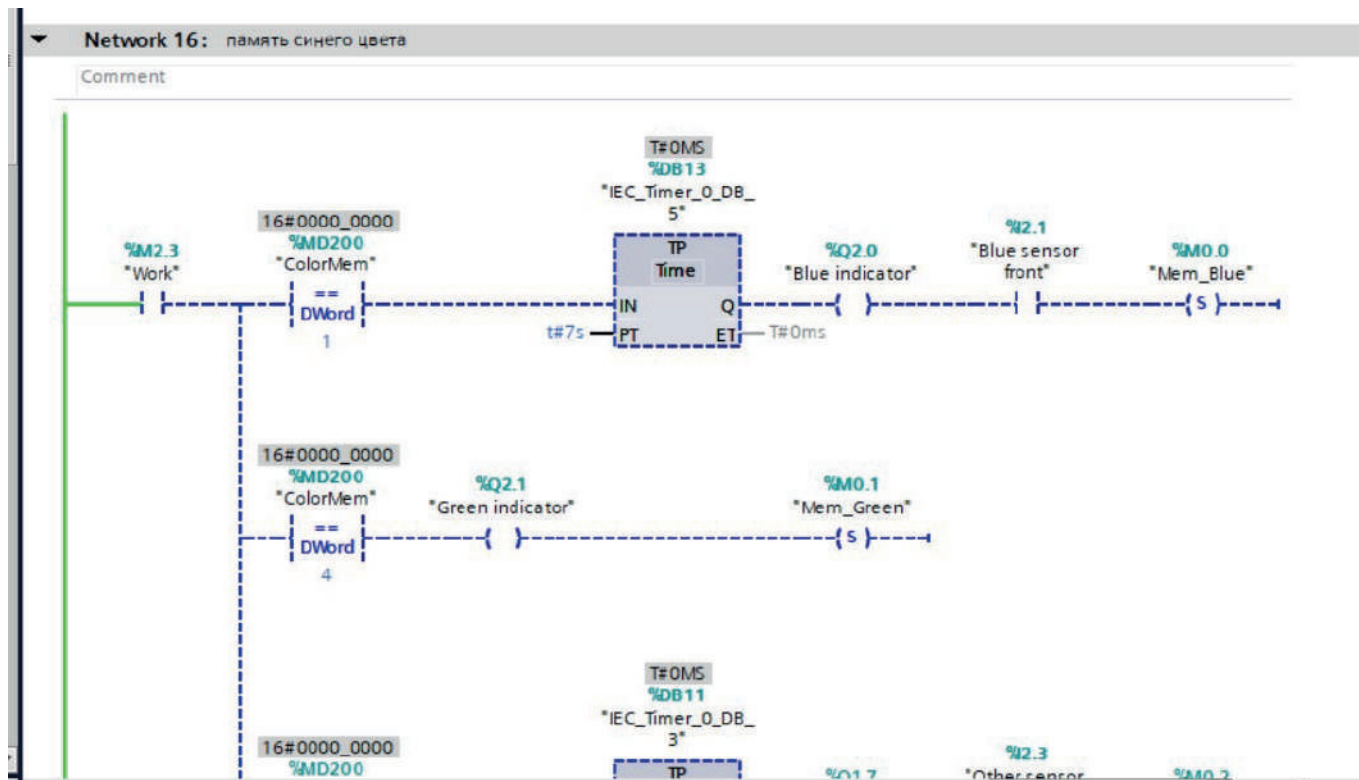


Рис. 6. Network 16: определение цвета, TP-таймеры

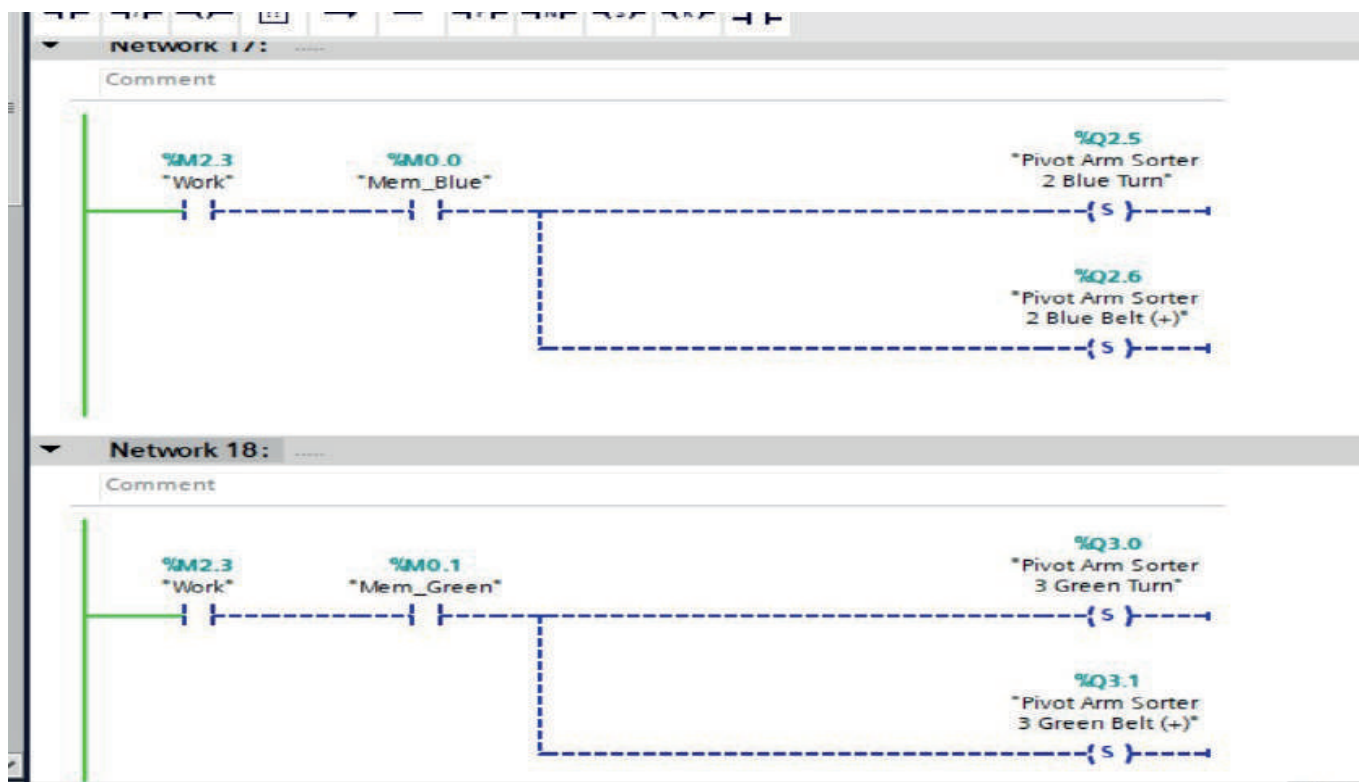


Рис. 7. N17/N18: SET Pivot Blue и Green

Networks 17–19 (рисунок 7) реализуют активацию Pivot Arm Sorter. При Work + маркер памяти цвета формируются команды SET для поворота (Turn) и ленты (Belt+): N17 — Blue (Q2.5, Q2.6), N18 — Green (Q3.0, Q3.1), N19 — Other (Q2.2, Q2.3). Networks 20–22 выполняют RESET марке-

ров и выходов при прохождении изделия через датчик или при нажатии Reset (%I1.2).

Networks 23–25 (рисунок 9) реализуют счётчики CTU DInt для цветовой секции. Подсчёт выполняется по переднему фронту сигналов датчиков. Результаты записываются в %QD50 (Blue),

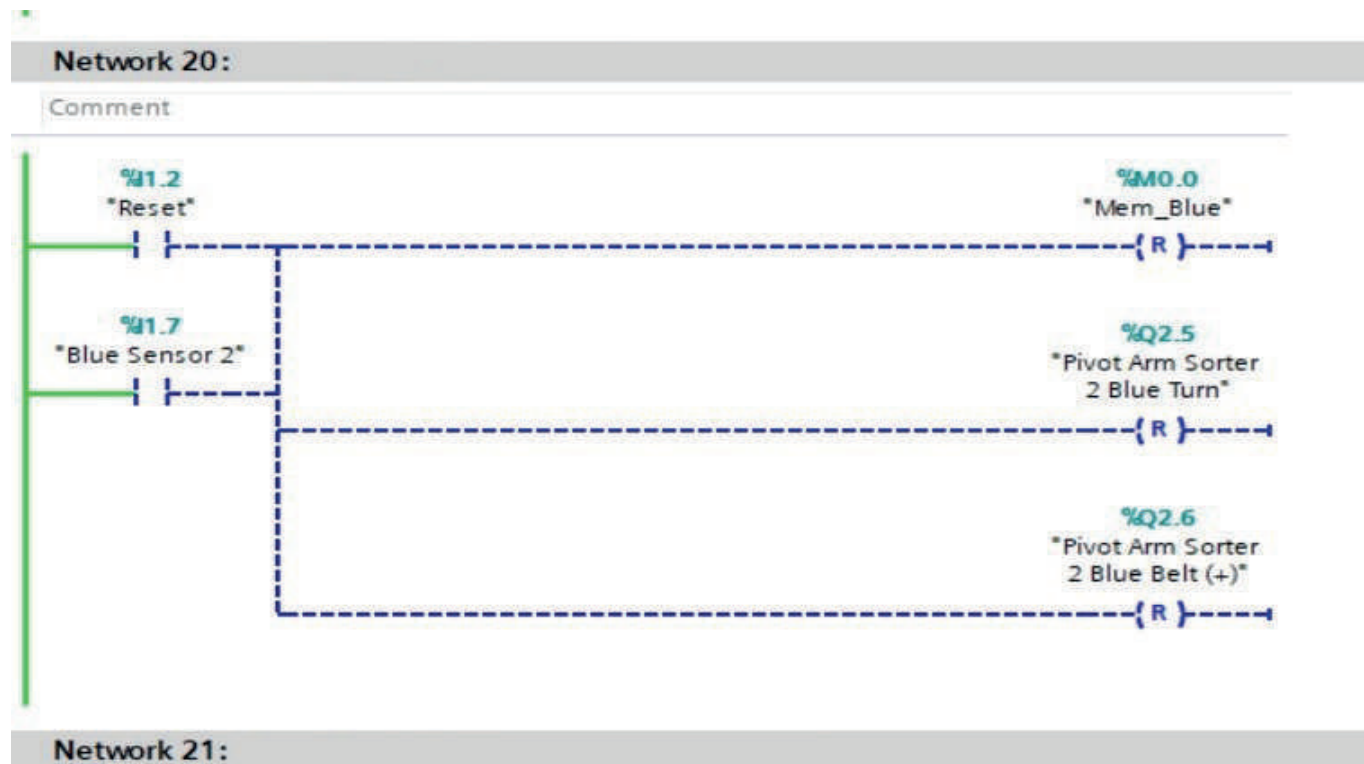


Рис. 8. N20: RESET маркера и выходов Blue

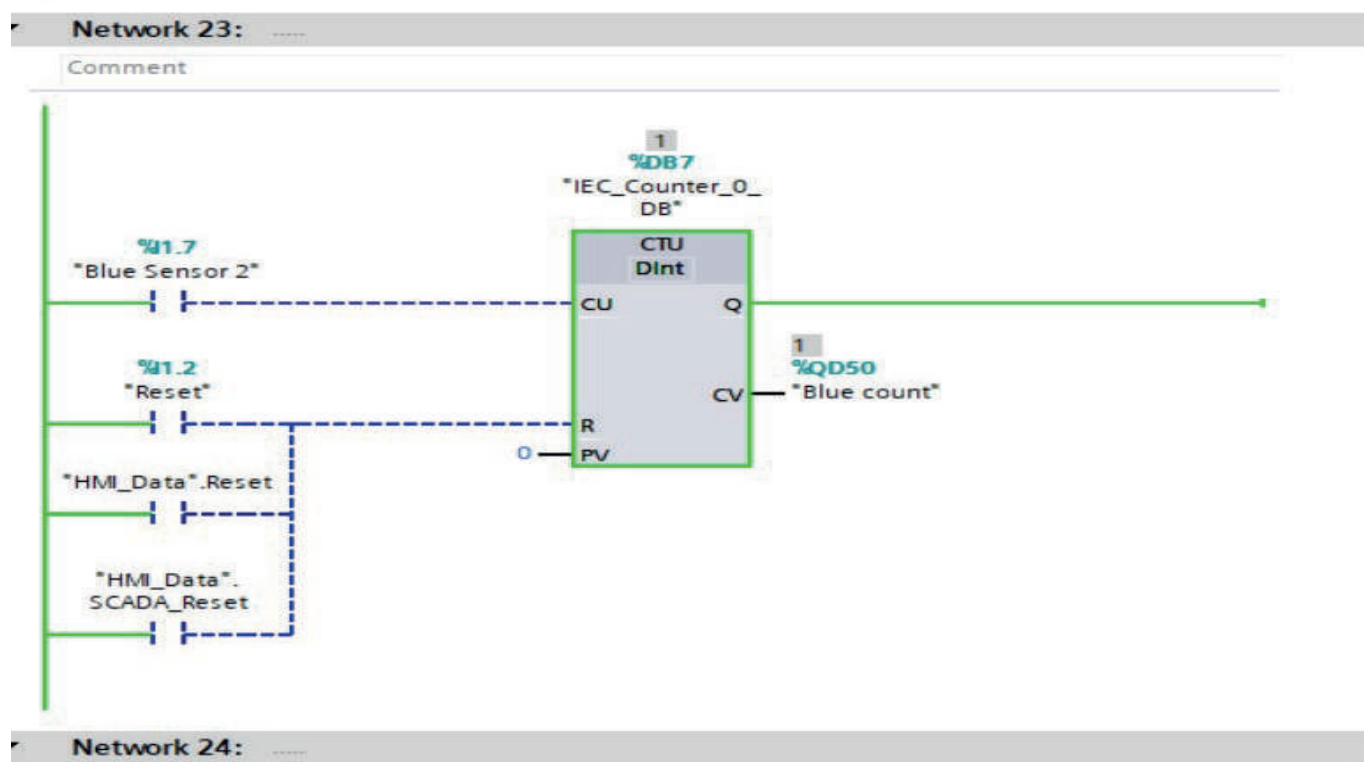


Рис. 9. Network 23: CTU Blue count (%QD50)

%QD54 (Green), %QD46 (Other). Networks 23–25 (рисунок 9) реализуют счётчики CTU DInt для цветовой секции. Подсчёт выполняется по переднему фронту сигналов датчиков. Результаты записываются в %QD50 (Blue), %QD54 (Green), %QD46 (Other).

Цветовая сортировка (Networks 15–25)

Второй функциональный блок (Networks 1–14) реализует весовую сортировку. Network 1 вызывает функциональный блок FC9000 со вспомогательными функциями. Networks 2–4 ре-

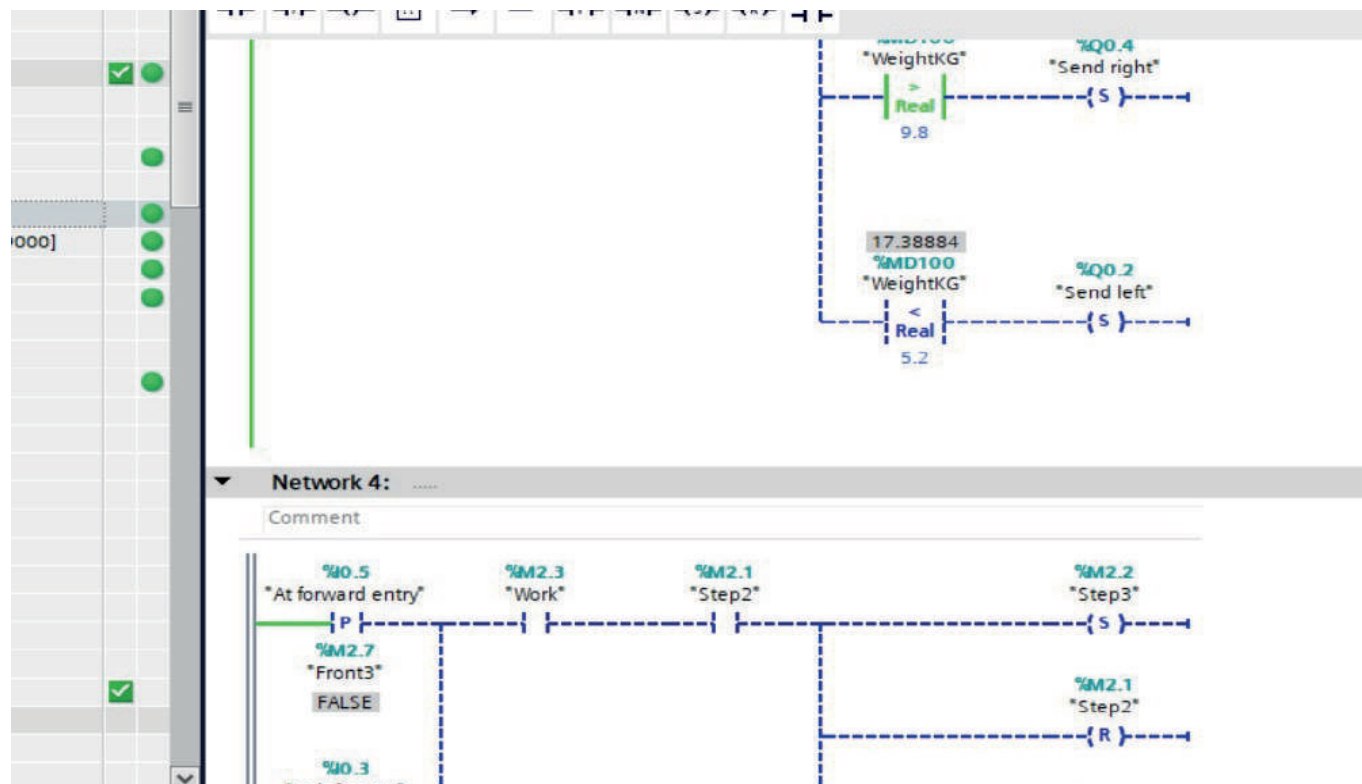


Рис. 10. Network 3: онлайн-мониторинг команд сортировки по весу

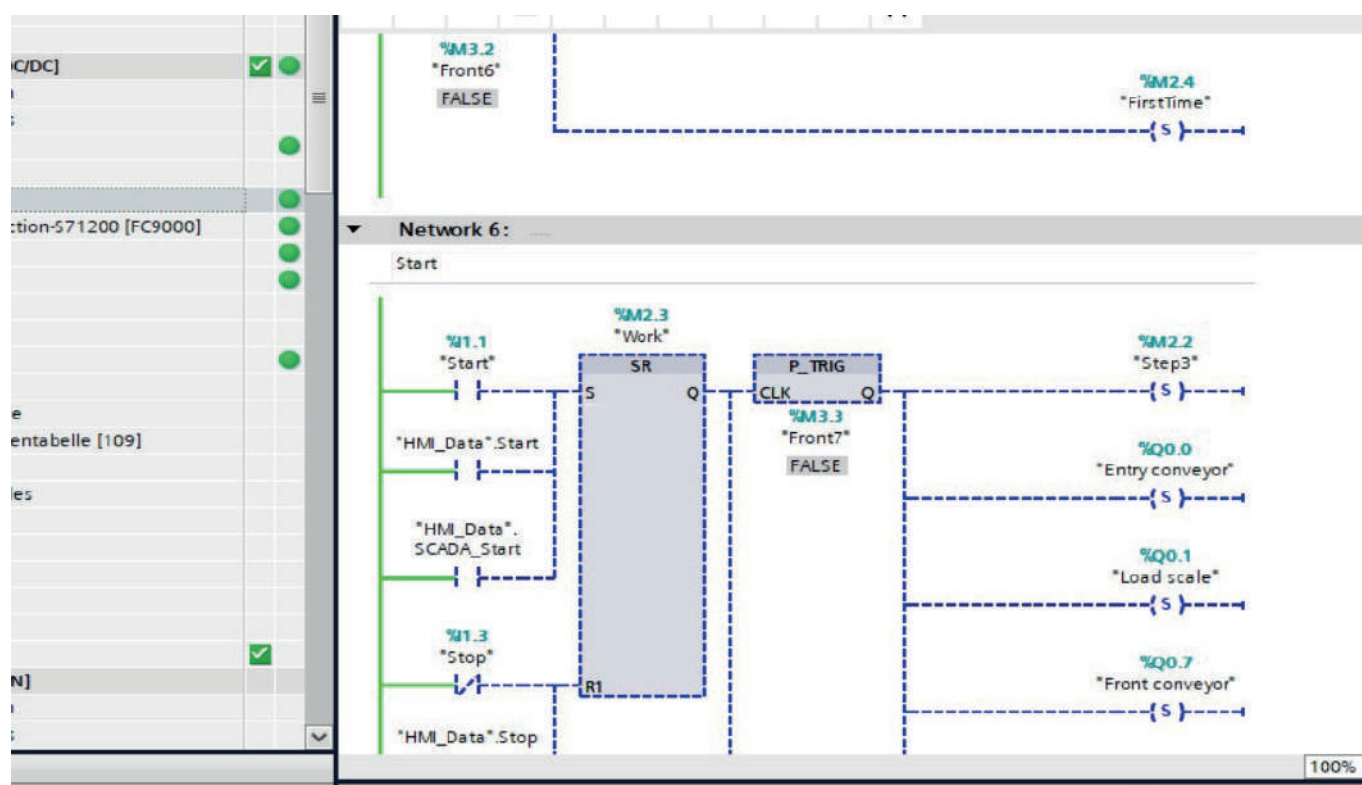


Рис. 11. Network 6: Start/Stop SR-триггер, запуск всех конвейеров

ализуют трёхшаговый алгоритм взвешивания на маркерах Step1/Step2/Step3 (%M2.0–%M2.2).

Network 3 (рисунок 10): по таймеру задержки выполняется умножение (MUL) показаний весов (%ID30) на коэффициент 2.0 → %MD100 («WeightKG»). Затем формируются команды: вес

> 9,8 кг — Send Right (%Q0.4); вес < 5,2 кг — Send Left (%Q0.2); иначе — Send Forward (%Q0.6).

Network 6 (рисунок 11) реализует логику Start/Stop через SR-триггер: при нажатии Start (%I1.1) устанавливается Work (%M2.3) и по переднему фронту запускаются все конвейеры — Entry,

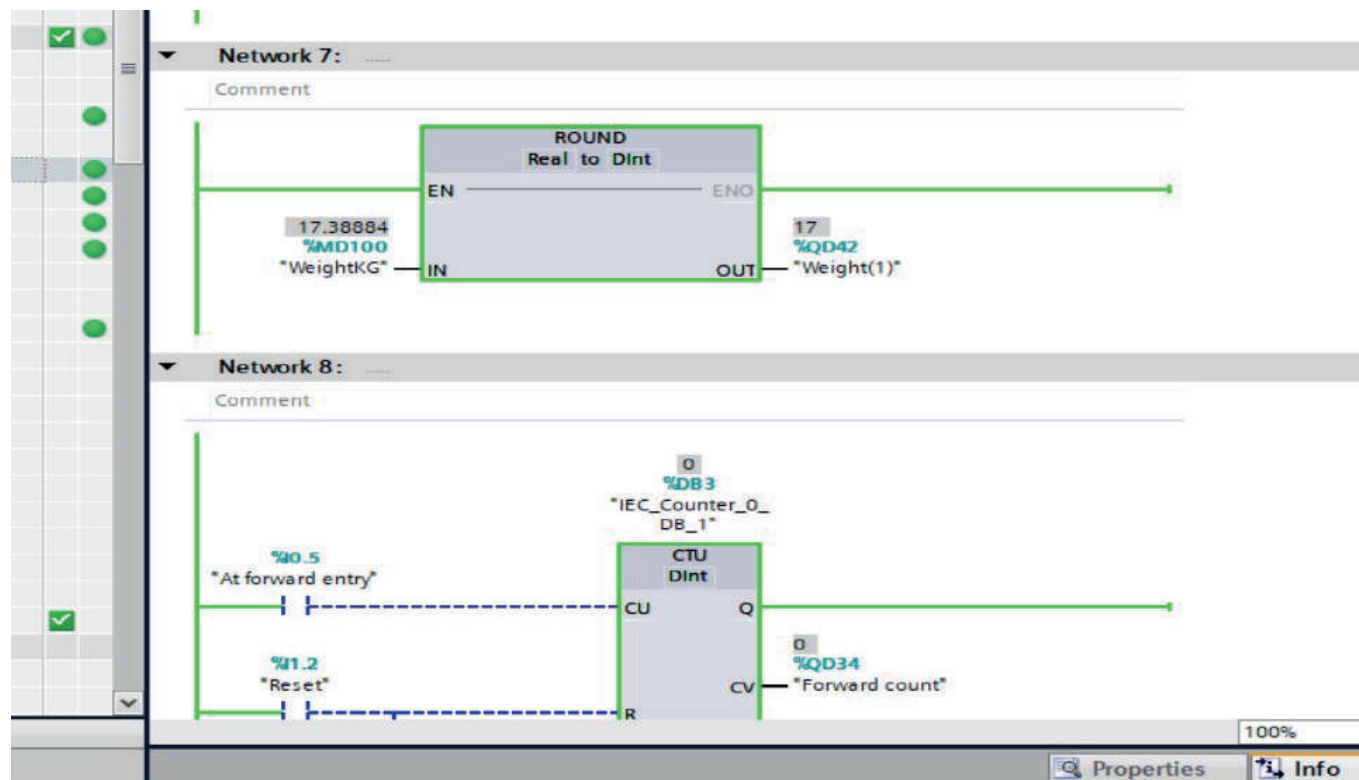


Рис. 12. Network 8: CTU Forward count (%QD34)

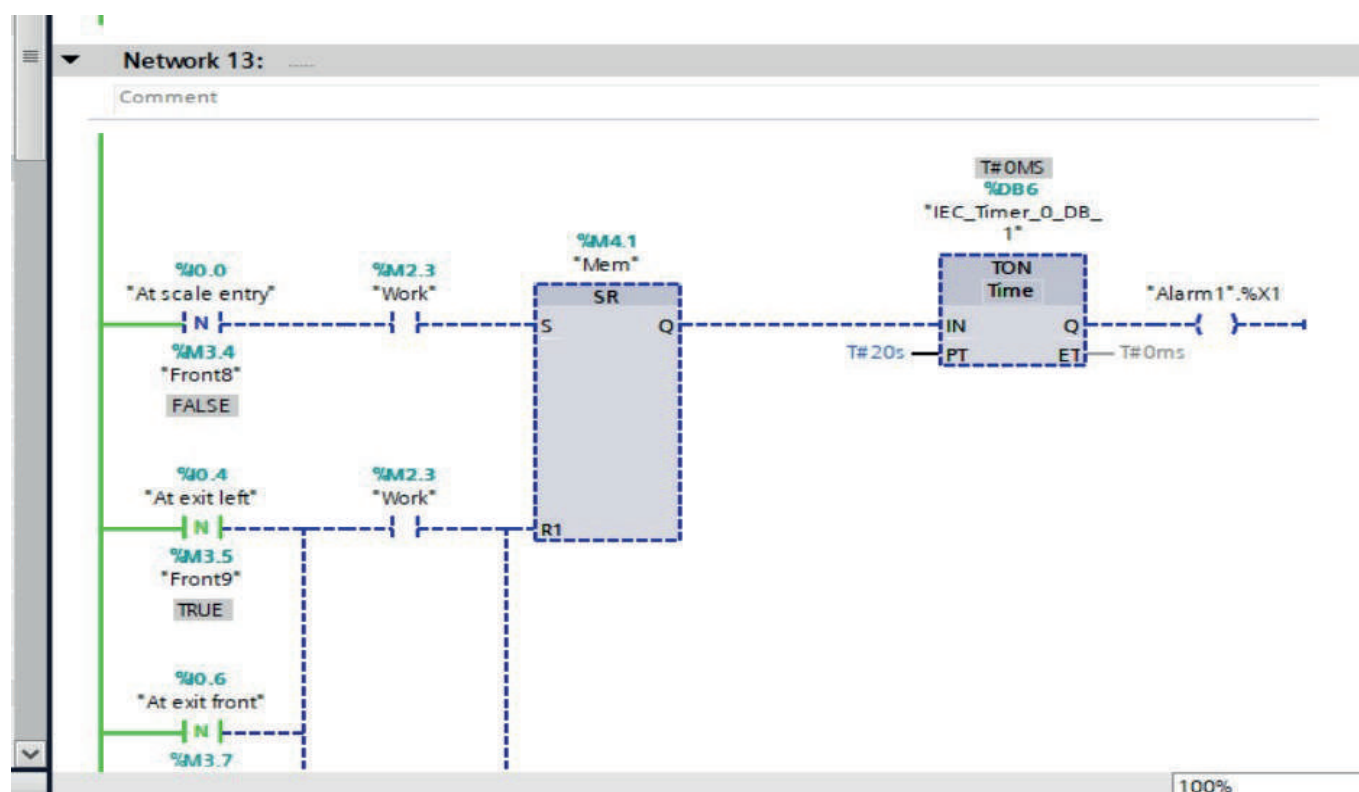


Рис. 13. Network 13: аварийный SR-триггер и таймер TON (20 с)

Load scale, Front, Left, Right, Color, Other, Blue, Green. Network 7 преобразует вес ROUND (REAL→DINT) для отображения на дисплее (%QD42). Networks 8–10 — счётчики CTU по направлениям Forward (%QD34), Left (%QD30), Right (%QD38).

Network 13 (рисунок 13) реализует аварийную защиту: SR-триггер совместно с таймером TON (20 с) формирует двухбитовый сигнал «Alarm1». Network 14 на его основе формирует мигающий сигнал «Blinc» для световой аварийной индикации.

Тестирование и результаты

SCADA-панель WinCC Runtime

В ходе работы разработана SCADA-панель в среде SIMATIC WinCC Runtime Advanced (рисунок 14), отображающая в режиме реального времени состояние системы: текущий вес взвешиваемого изделия, счётчики по всем шести направлениям сортировки, индикаторы цвета и кнопки управления Start/Stop/Reset.

Методика тестирования

Тестирование системы проводилось в режиме онлайн-мониторинга TIA Portal с одновременным наблюдением за поведением модели в Factory IO.

Зелёная подсветка контактов в режиме онлайн-мониторинга подтверждает прохождение логических цепей. Проверке подлежали все маршруты сортировки и граничные условия.

Результаты тестирования

Результаты комплексного тестирования системы представлены в таблице 2.

Входетестированиябылавыявленаиустранена ошибка несовместимости типов данных в Network 16 при использовании операции сравнения CMP >. После внесения исправлений (замена сравнения с использованием ТР-таймеров и индикаторных сигналов) система прошла повторное тестирование с положительным результатом по всем сценариям.

Заключение

В статье была исследована автоматизированная конвейерная система двухуровневой сортировки коробок по весовым и цветовым категориям на базе ПЛК Siemens S7-1200 (CPU 1211C DC/DC/DC). Достигнуты следующие результаты:

- разработана и отлажена программа управления в TIA Portal V17 на языке LAD общим объёмом 25 Networks;

- реализована весовая сортировка по трём категориям с порогами 5,2 кг и 9,8 кг;

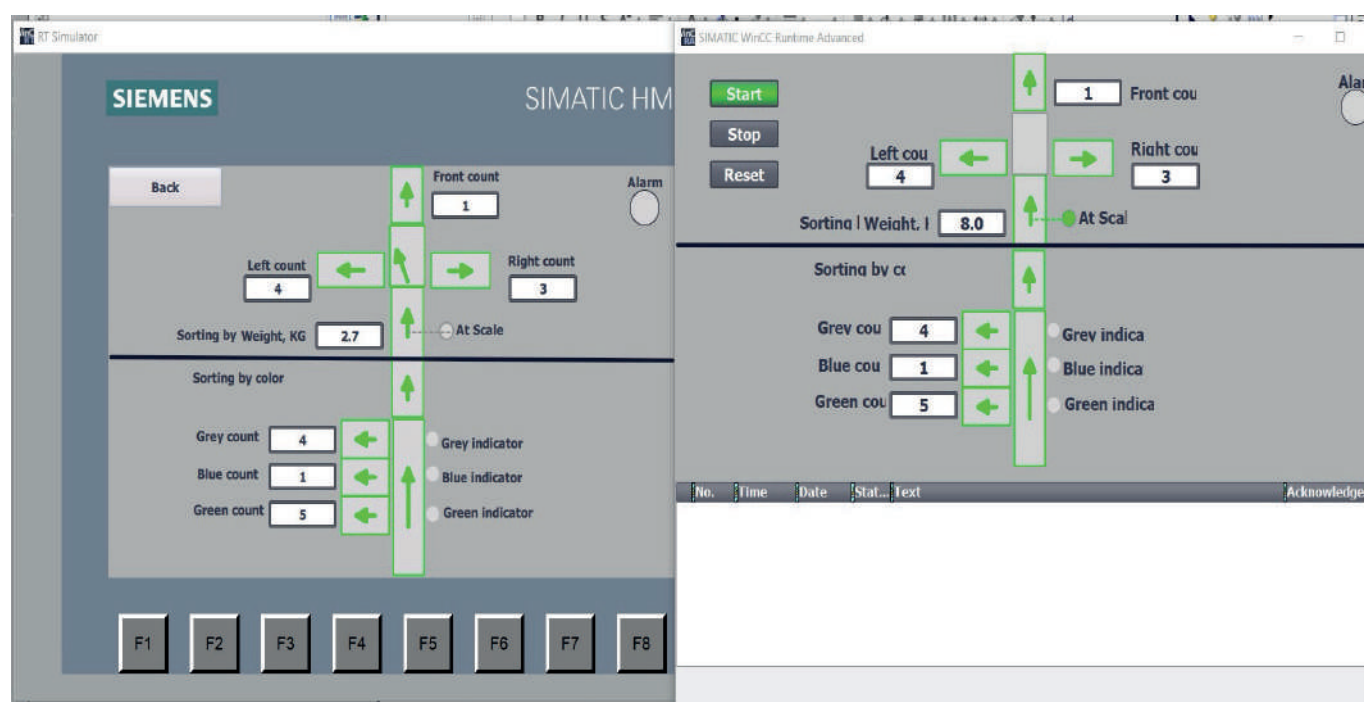


Рис. 14. HMI панель и SCADA-панель SIMATIC WinCC Runtime Advanced

Таблица 2 – Результаты тестирования

Тестовый сценарий	Ожидаемый результат	Фактический результат	Статус
Изделие массой менее 5,2кг	Send Left, левый конвейер	Send Left, левый конвейер	✓
Изделие массой более 9,8 кг	Send Right, правый конвейер	Send Right, правый конвейер	✓
Изделие массой 5,2–9,8 кг	Send Forward, цветовая секция	Send Forward, цветовая секция	✓
Vision Sensor ID=1 (Blue)	Pivot 2 поворот, Blue Belt	Pivot 2 поворот, Blue Belt	✓
Vision Sensor ID=4 (Green)	Pivot 3 поворот, Green Belt	Pivot 3 поворот, Green Belt	✓
Vision Sensor ID=7 (Other)	Pivot 1 поворот, Other Belt	Pivot 1 поворот, Other Belt	✓
Нажатие Emergency Stop	Останов всех конвейеров, мигание	Останов, мигающая сигнализация	✓
Нажатие Reset	Сброс счётчиков и маркеров	Сброс счётчиков и маркеров	✓
Счётчики Blue/Green/Other	Инкремент при каждом изделии	Инкремент при каждом изделии	✓
SCADA WinCC — отображение данных	Актуальные значения счётчиков	Отображение в реальном времени	✓

– реализована цветовая сортировка с применением Vision Sensor и Pivot Arm Sorter с таймерным управлением;

– разработана HMI панель и SCADA-панель в WinCC Runtime для визуализации состояния системы;

– проведено комплексное тестирование, подтвердившее корректность работы всех маршрутов сортировки.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения ПЛК Siemens S7-1200 совместно с TIA Portal для решения задач автоматизации производственных процессов. Применение виртуальной среды Factory IO позволило провести полноценную отладку алгоритма без использования физического оборудования, что сокращает затраты на разработку и повышает безопасность проведения исследований [2, 9].

Разработанная автоматизированная система может быть использована в качестве основы для создания реальных систем сортировки, например, сырья и материалов на этапе производства или утилизации, для распределения компонентов по партиям, контроля качества сборки и оптимизации логистики на производственных линиях. В частности, в системах топливоподачи на тепловых электростанциях для перемещения различных видов топлива, при промышленном производстве элементов и устройств возобновляемой энергетики, в пищевой, фармацевтиче-

ской и логистической промышленности и т.п. Подобные системы позволяют оптимизировать процессы транспортировки, повысить производительность, снизить затраты ручного труда и обеспечить более точный контроль над технологическими процессами.

Список литературы

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 751 с.
2. Real Games. Factory IO. Documentation and User Manual v2.4.3. – Real Games, 2022. – URL: <https://docs.factoryio.com> (дата обращения 09.04.2025).
3. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приёмы прикладного проектирования. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 253 с.
4. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 610 с.
5. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller. System Manual. – Siemens AG, 2023. – URL: <https://support.industry.siemens.com>.
6. Официальный сайт компании Omron. – URL: <https://omron.ru> (дата обращения 09.04.2025).
7. Официальный сайт компании Delta

Electronics [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.deltronics.ru> (дата обращения 09.04.2025).

8. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 516 с.

9. Шишмарёв В.Ю. Автоматизация технологических процессов. – М.: Академия, 2010. – 352 с.

10. Osintsev K.V., Brylina O.G., Prikhodko Yu.S. Modeling and automation of the hydro-transport system of water-coal fuel at negative ambient temperatures. In: Radionov A., Karandaev A. (eds.) Advances in automation. RusAutoCon 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 641. pp. 657-666. Springer, Cham.

11. Siemens AG. TIA Portal. STEP 7 Professional V17. Getting Started. – Siemens AG, 2021. – URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата обращения 09.04.2025).

12. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. – СПб.: Питер, 2005. – 336 с.

13. Siemens AG. SIMATIC WinCC V17. User Manual. – Siemens AG, 2022. – URL: <https://support.industry.siemens.com> (дата обращения 09.04.2025).

References

1. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of automatic control systems. – St. Petersburg: Profession, 2003. – 751 p.

2. Real Games. Factory IO. Documentation and User Manual v2.4.3. – Real Games, 2022. – URL: <https://docs.factoryio.com> (accessed 09.04.2025).

3. Petrov I.V. Programmable controllers. Standard languages and techniques of applied design. – М.: SOLON-Press, 2004. – 253 p.

4. Denisenko V.V. Computer control of technological process, experiment, equipment. – М.: Hotline Telecom Publishing, 2009. – 610 p.

5. Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller. System Manual. – Siemens AG, 2023. – URL: <https://support.industry.siemens.com>.

6. Omron. – URL: <https://omron.ru> (accessed 09.04.2025).

7. Delta Electronics. – URL: <http://www.deltronics.ru> (accessed 09.04.2025).

8. Parr E. Programmable controllers: an engineer's guide. – М.: BINOM. Knowledge Laboratory, 2007. – 516 p.

9. Shishmarev V.Yu. Automation of technological processes. – М.: Academy, 2010. – 352 p.

10. Osintsev K.V., Brylina O.G., Prikhodko Yu.S. Modeling and automation of the hydro-transport system of water-coal fuel at negative ambient temperatures. In: Radionov A., Karandaev A. (eds.) Advances in automation. RusAutoCon 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol. 641. pp. 657-666. Springer, Cham.

11. Siemens AG. TIA Portal. STEP 7 Professional V17. Getting Started. – Siemens AG, 2021. – URL: <https://support.industry.siemens.com>. (accessed 09.04.2025).

12. Miroshnik I.V. Theory of automatic control. Linear systems. – St. Petersburg: Piter, 2005. – 336 p.

13. Siemens AG. SIMATIC WinCC V17. User Manual. – Siemens AG, 2022. – URL: <https://support.industry.siemens.com>. (accessed 09.04.2025).

Сведения об авторах

Брылина Олеся Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропривод, мехатроника и электромеханика», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск, Россия, brylinaog@susu.ru.

Исанбеков Рим Рашидович – магистрант, ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ООО «Биянковский щебёночный завод», г. Миньяр, Челябинская область, РФ, isanbekov-rim@mail.ru.

About the authors

Brylina Olesya Gennadyevna – Ph.D, Associate Professor of the Department of Electric Drive, Mechatronics and Electromechanics, Chelyabinsk, Russia, brylinaog@susu.ru.

Isanbekov Rim Rashidovich – master's student, South Ural State University, Biyankovsky Sckebenochniy zavod LLC, Minyar, Chelyabinsk Region, Russia, isanbekov-rim@mail.ru.

Дата поступления рукописи: 27.03.2026

Дата принятия рукописи: 05.06.2026