

**Е. Н. Ковалёв**  
**К. К. Ершов**

**ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ  
КОНТРОЛЛЕРЫ**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**Учебно-методическое пособие**

**Санкт-Петербург**  
**2024**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики**

**Е. Н. Ковалёв  
К. К. Ершов**

# **ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ**

## **КУРСОВАЯ РАБОТА**

**Учебно-методическое пособие**

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург  
2024

**УДК 621.316.544 (07)**

**ББК 32.85я7**

**К 560**

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор кафедры Робототехники и автоматизации  
производственных систем ФГБОУВО «Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет «ЛЭТИ»

*М. П. Белов;*

старший преподаватель кафедры Автоматизированного электропривода и электротехники  
Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного  
университета промышленных технологий и дизайна

*В. И. Королёв*

**Ковалёв, Е. Н.**

**К 560** Программируемые логические контроллеры. Курсовая работа: учебно-методическое пособие / Е. Н. Ковалёв, К. К. Ершов. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — 42 с.

Учебно-методическое пособие соответствует программам и учебному плану дисциплины «Программируемые логические контроллеры» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль подготовки «Цифровое управление электрическими системами и машинами».

Пособие содержит задание на курсовую работу, рекомендации по выполнению отдельных разделов работы и необходимый теоретический материал.

Учебно-методическое пособие предназначено для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения.

УДК 621.316.544 (07)

ББК 32.85я7

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

© Ковалёв Е. Н., Ершов К. К., 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ .....	5
1.1. Тематика курсовой работы.....	5
1.2. Содержание курсовой работы.....	6
1.3. Оформление курсовой работы .....	6
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ.....	7
2.1. Конфигурирование аппаратной части.....	7
2.2. Пример конфигурирования аппаратной части ПЛК.....	11
2.3. Краткая информация по теории конечных автоматов.....	12
2.4. Пример разработки графа состояний привода насосного агрегата .....	13
2.5. Пример разработки программы управления приводом по алгоритму, созданному на основе графа состояний .....	18
2.6. Объявление переменных функционального блока.....	22
2.7. Программный код функционального блока .....	26
2.7.1. Этап 1. Обслуживание режима имитации .....	26
2.7.2. Этап 2. Формирование сигналов предупреждения (блокировок) и сигналов аварии.....	27
2.7.3. Этап 3. Определение состояний системы.....	30
2.7.4. Этап 4. Определение переходов. ....	33
2.7.5. Этап 5. Выполнение действий в состояниях. ....	35
2.8. Выводы по работе .....	36
3. ПРИМЕР ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ .....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	39
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Современное производство основано на высоких технологиях, призванных обеспечить скорость, масштаб, надежность, безопасность и высокое качество исполнения заданий. Назревшая необходимость гибкого управления технологическими процессами, эффективного использования производственных мощностей, управления на расстоянии в режиме реального времени определила необходимость перехода от громоздких релейно-контактных схем к перепрограммируемым логическим контроллерам. Любая задача, которая требует использования электрических устройств управления, легко решается при использовании программируемых логических контроллеров (ПЛК). Современные контроллеры быстро обрабатывают данные и автоматически управляют процессами. Возможность изменения программы позволяет максимально быстро менять технологический процесс в зависимости от текущей задачи.

В учебно-методическом пособии рассматривается методика разработки алгоритма управления промышленной установки с использованием графа состояния и теории конечных автоматов, а также вопросы разработки программы контроллера, управляющего данной установкой.

# 1. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Целью курсовой работы является разработка программного обеспечения для программируемого логического контроллера (ПЛК) системы управления заданным объектом в соответствии с индивидуальным заданием. Задачами курсовой работы являются:

- анализ объекта управления. В ходе анализа нужно определить функции, которые должен выполнять ПЛК, определить входные и выходные сигналы ПЛК и их типы (аналоговый или дискретный);
- конфигурирование контроллера. На основе анализа объекта управления нужно выбрать необходимые модули расширения. Выбранные модули необходимо сконфигурировать в специализированном программном обеспечении;
- составления алгоритма управления. Алгоритм управления должен быть представлен в форме графа состояний, который отражает все состояния объекта управления, действия в состояниях и условия переходов между состояниями;
- разработка управляющей программы ПЛК. На основе алгоритма управления необходимо разработать управляющую программу. Программа должна быть реализована в среде программирования ПЛК на одном из языков стандарта МЭК 61131-3;
- проверка работоспособности программы в режиме симуляции. После завершения разработки программы необходимо проверить ее работоспособность в симуляторе ПЛК, который встроен в среду разработки.

## 1.1. Тематика курсовой работы

Тема формируется преподавателем. Студент может предложить свою тему для выполнения курсовой работы.

Основными направлениями тем для курсовой работы являются:

- Разработка на базе программируемого контроллера системы управления технологическим процессом в энергетических объектах.
- Разработка на базе программируемого контроллера системы управления параметром в объектах целлюлозно-бумажного производства.
- Разработка на базе программируемого контроллера системы управления параметром в инженерных системах.

## 1.2. Содержание курсовой работы

В настоящем учебно-методическом пособии рассматриваются основные разделы типовой курсовой работы, посвященной конфигурированию контроллера для системы автоматизированного управления. Текстовая часть типовой курсовой работы имеет следующую структуру:

1. Титульный лист (см. Приложение).
2. Задание на курсовую работу.
3. Содержание.
4. Введение.
5. Основная часть.
6. Заключение.
7. Библиографический список.

Во введении необходимо раскрыть актуальность курсовой работы, обозначить цели и задачи, которые выполняются в рамках курсовой работы.

**Основная часть** курсовой работы должна состоять из следующих подразделов:

1. Разработка графа состояний.
2. Конфигурация ПЛК.
3. Список переменных.
4. Листинг программы ПЛК.
5. Результаты работы программы в режиме симуляции.

В заключение необходимо подвести итог выполненной работы и описать основные результаты.

Библиографический список должен содержать источники, которые были использованы в ходе выполнения курсовой работы.

## 1.3. Оформление курсовой работы

Курсовая работа оформляется в соответствии с требованиями, приведенными в методических указаниях «Выпускная квалификационная работа бакалавров (ФГОС ВО 3++): методические указания для оформления и защиты по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». URL: <http://nizrp.narod.ru/metod/kafavtpriviel/1608252931.pdf>

## 2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОСТАВЛЕНИЮ ОСНОВНОЙ ЧАСТИ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

### 2.1. Конфигурирование аппаратной части

Конфигурирование аппаратной части рассматривается на примере контроллера Siemens Simatic S-7 300. ПЛК фирмы Siemens – это промышленные контроллеры, которые используются для автоматизации технологических процессов. Simatic включает в себя несколько линеек ПЛК – Simatic S5 и Simatic S7. В свою очередь линейка Simatic S7 содержит семейства S7-200, S7-300, S7-400 и S7-1200. Работа с ПЛК серии S-7 300 осуществляется в программном пакете Step 7.

Для активации основного окна программы необходимо запустить программу «SIMATIC Manager». SIMATIC Manager – это центральное окно, которое становится активным при запуске Step 7. По умолчанию запускается мастер Step 7 Wizard, который оказывает помощь при создании проекта.

Чтобы перейти к созданию проекта, в открывшемся окне нажмите на кнопку Next. На следующем этапе необходимо выбрать процессор (CPU), для которого создается программа (рис. 2.1). Выберите его и нажмите Next.

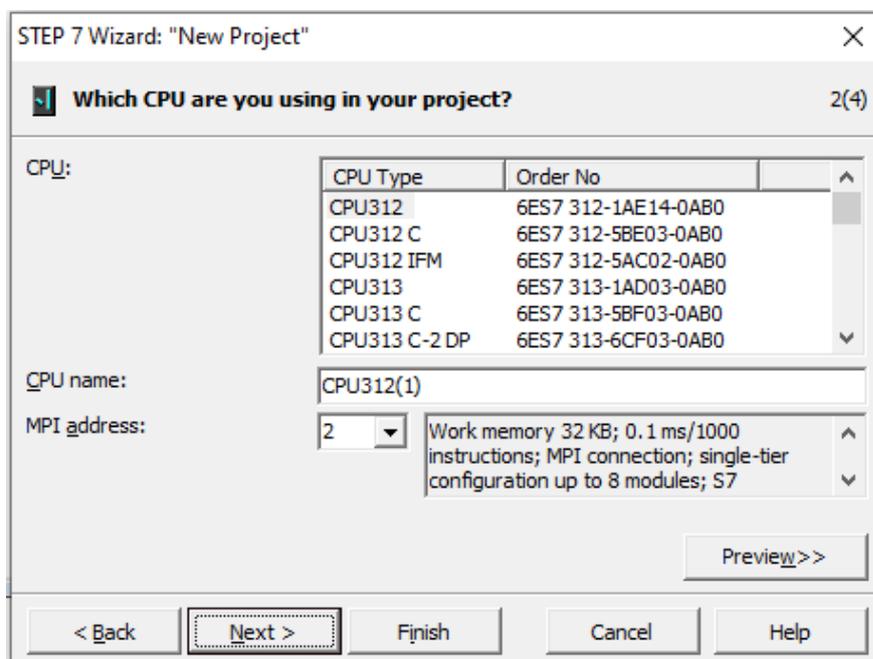


Рисунок 2.1 – Окно выбора CPU

Далее откроется окно (рис. 2.2) для выбора языка, на котором будет написана программа и блоки, которые будут добавлены в программу. Язык

программирования можно будет поменять позднее, во время написания программы.

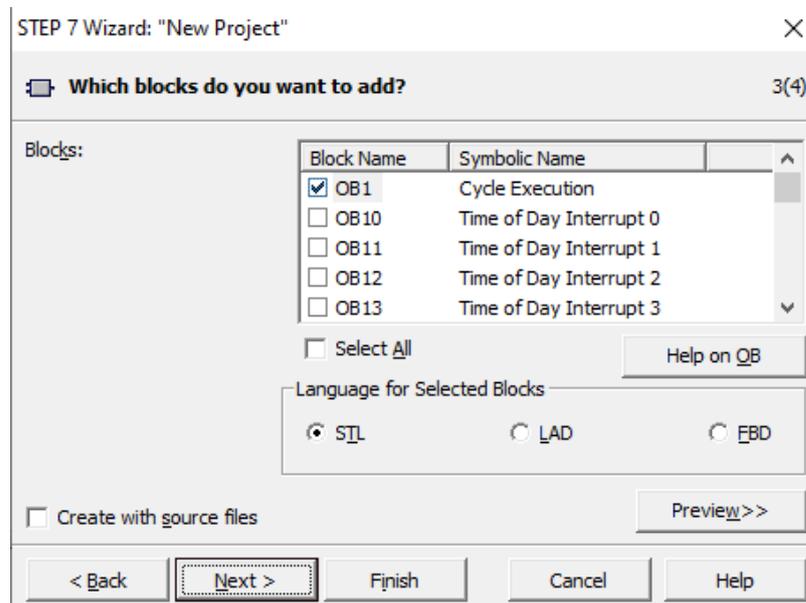


Рисунок 2.2 – Окно выбора языка программирования

В следующем окне нужно задать название проекта и завершить создание проекта. После этого откроется окно проекта, как показано на рисунке 2.3.

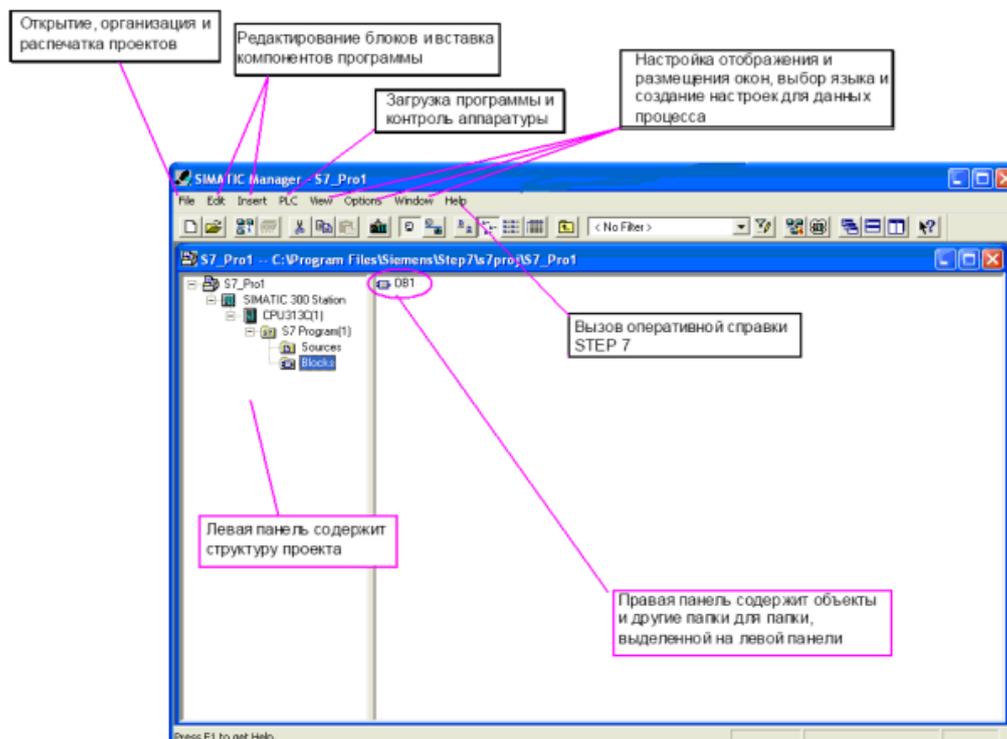


Рисунок 2.3 – Окно нового проекта

В новом проекте нужно выполнить конфигурирование аппаратной части ПЛК. Под «конфигурированием» мы в дальнейшем будем понимать размещение стоек, модулей, устройств децентрализованной периферии и интерфейсных модулей в окне станции, как показано на рисунке 2.4.

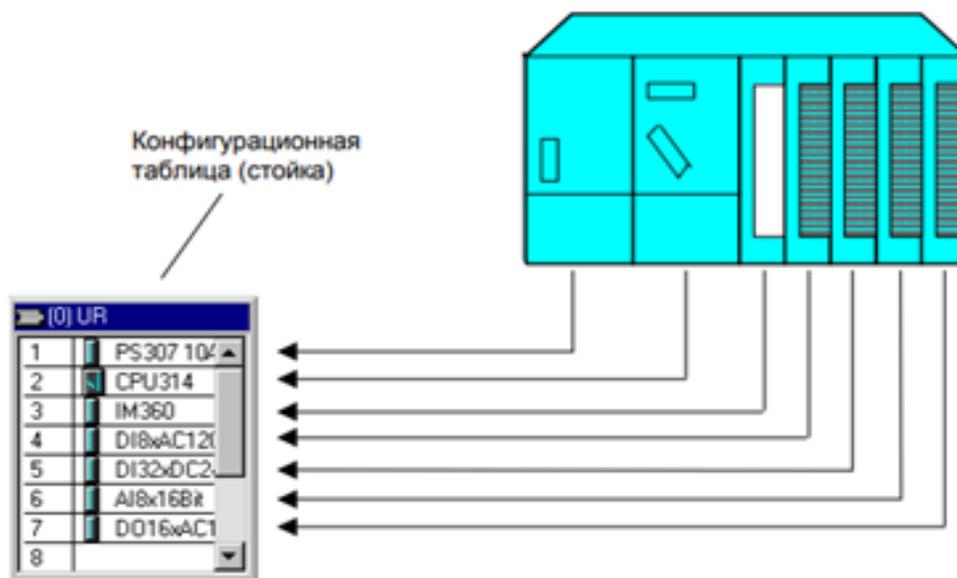


Рисунок 2.4 – К конфигурированию аппаратной части

В ходе конфигурирования формируется состав стойки ПЛК и программные адреса входных и выходных сигналов.

Для того чтобы открыть окно конфигурирования контроллера, необходимо нажать левой клавишей мыши в структуре проекта на раздел SIMATIC 300 Station и дважды нажать левой клавишей мыши в правой панели на папку Hardware. Перед Вами откроется окно, показанное на рисунке 2.5.

Стойки представляются с помощью конфигурационной таблицы, которая, как и реальная стойка, допускает определенное число устанавливаемых модулей. Необходимо добавить на стойку модули, которые будут использованы в Вашем проекте.

Выбор модулей осуществляется исходя из необходимых входных и выходных сигналов ПЛК. В рамках данной курсовой работы необходимо выбирать модули с минимально необходимым числом входов/выходов. Если в проекте требуется подключить 4 дискретных входа, то не нужно выбирать модуль ввода на 32 входа.

Модули расширения должны быть совместимы с используемым ЦПУ.

Некоторые слоты в стойках могут быть заняты только определенными модулями.

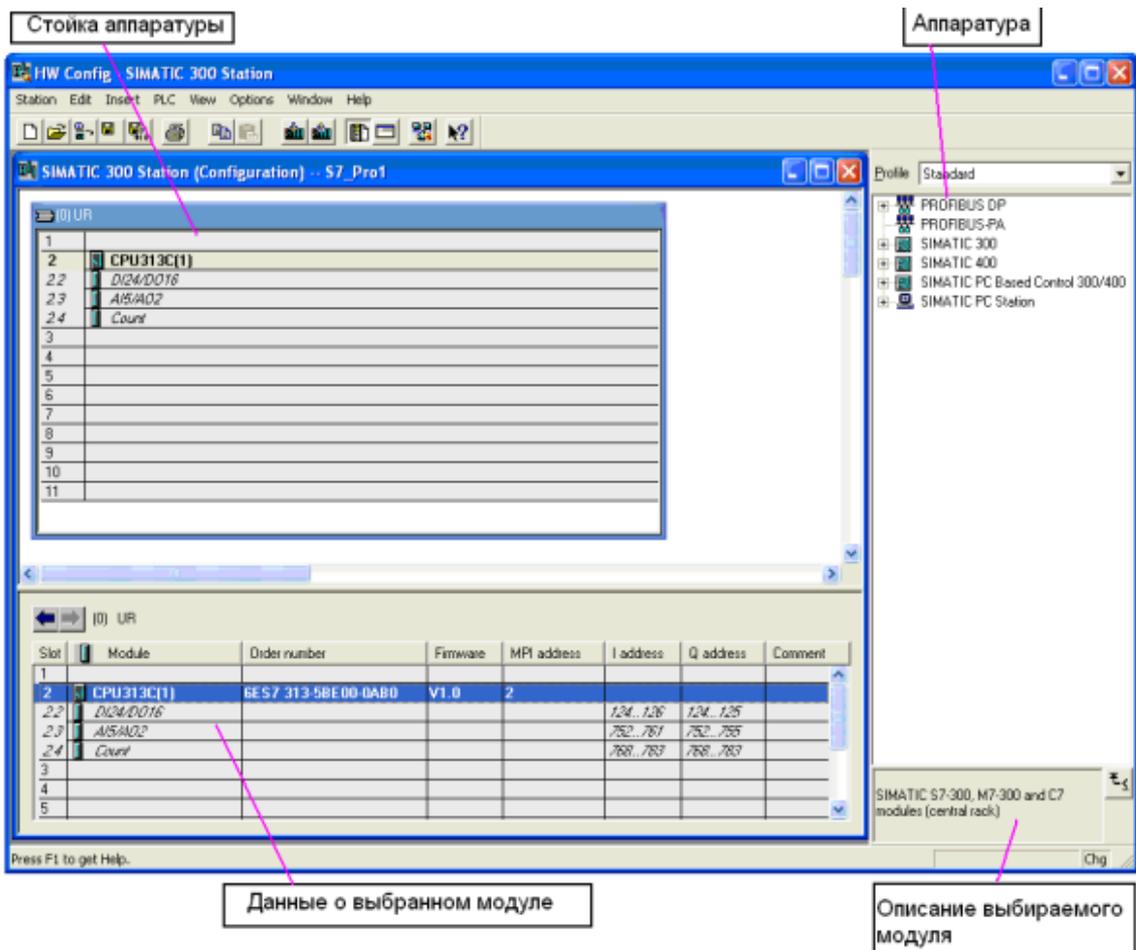


Рисунок 2.5 – Окно конфигурирования ПЛК

Для серии S-7 300 действуют следующие ограничения на размещение модулей:

Стойка 0:

- Слот 1: Только блок питания (напр., 6ES7 307-...) или пустой
- Слот 2: Только CPU (напр., 6ES7 314-...)
- Слот 3: Интерфейсный модуль (напр., 6ES7 360-.../361-...) или пустой
- Слоты с 4 по 11: Сигнальные или функциональные модули, коммуникационные процессоры или пустые

Стойки с 1 по 3:

- Слот 1: Только блок питания (напр., 6ES7 307-...) или пустой
- Слот 2: Пустой
- Слот 3: Интерфейсный модуль
- Слоты с 4 по 11: Сигнальные или функциональные модули, коммуникационные процессоры (в зависимости от используемого интерфейсного модуля) или пустые.

## 2.2. Пример конфигурирования аппаратной части ПЛК

Пусть по заданию для работы системы требуется обеспечить 21 дискретный вход и 5 дискретных выходов. Реализовать систему управления требуется на базе ЦПУ 312. В линейке модулей расширения S7-300 нет модулей, которые обеспечивают ровно необходимое число входных и выходных сигналов. Число дискретных сигналов модулей соответствует степеням двойки – 4, 8, 16, 32. Для заданных значений сигналов можно использовать различные комбинации модулей, например: модуль на 32 дискретных входа и модуль на 8 выходов или модуль на 16 входов и модуль на 8 входов и 8 выходов. Использование модуля на 32 входа позволит обеспечить больший запас по дискретным входам, что может быть полезно при дальнейшей модернизации. Поэтому выбираются модули расширения:

6ES7 321-1BL00-0AA0 DI32 24V – модуль 32 дискретных входов;

6ES7 322-1BF00-0AA0 DO8 24 V / 2 A – модуль 8 дискретных выходов.

Выбранные модули добавим в стойку ПЛК S7-300, в результате получим конфигурацию на рисунке 2.6.

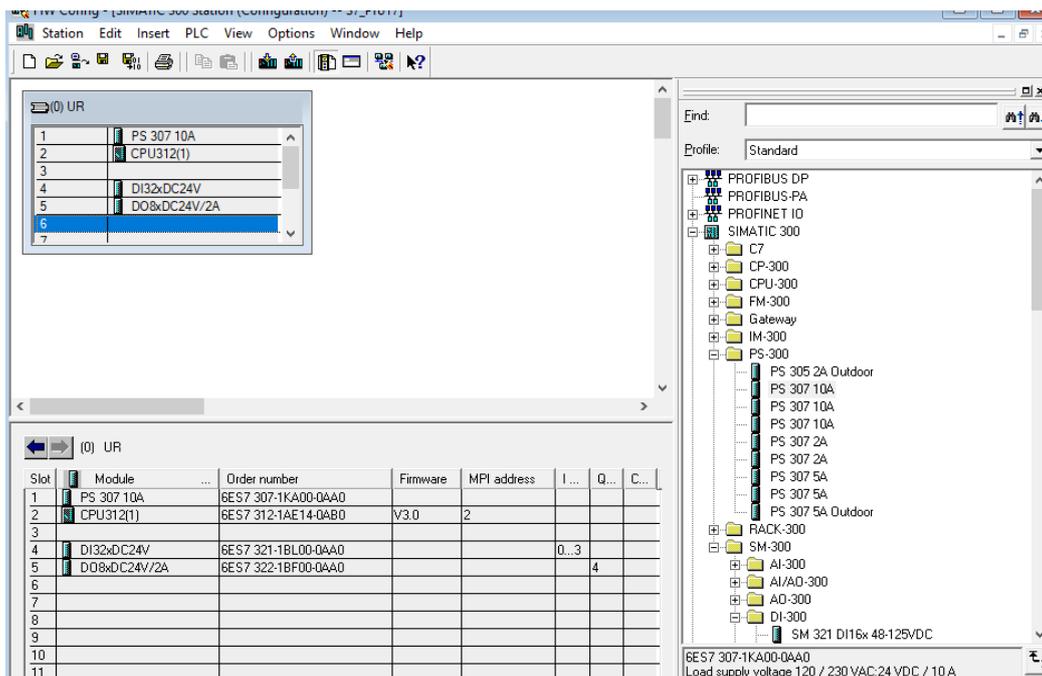


Рисунок 2.6 – Окно конфигурации ПЛК

В выбранной конфигурации также присутствует блок питания PS 307 10A. В рамках курсовой работы может быть выбран любой блок питания, подходящий к модулю центрального процессора.

### 2.3. Краткая информация по теории конечных автоматов

**Конечный автомат** – в теории алгоритмов математическая абстракция, позволяющая описывать пути изменения состояния объекта в зависимости от его текущего состояния и входных данных, при условии, что общее возможное количество состояний конечно. Конечный автомат является частным случаем абстрактного автомата.

Существуют различные варианты задания конечного автомата. Например, конечный автомат может быть задан с помощью пяти параметров:

$$M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F),$$

где  $Q$  – конечное множество состояний автомата;

$q_0$  – начальное состояние автомата ( $q_0 \in Q$ );

$F$  – множество заключительных (или допускающих) состояний, таких что  $F \subset Q$ ;

$\Sigma$  – допустимый входной алфавит (конечное множество допустимых входных символов), из которого формируются строки, считываемые автоматом;

$\delta$  – заданное отображение множества  $Q \times \Sigma$  во множество  $P(Q)$  подмножеств  $Q$ :

$$\delta : Q \times \Sigma \rightarrow P(Q)$$

(иногда  $\delta$  называют функцией переходов автомата).

Автомат начинает работу в состоянии  $q_0$ , считывая по одному символу входной строки. Считанный символ переводит автомат в новое состояние из множества  $Q$  в соответствии с функцией переходов. Если по завершении считывания входного слова (цепочки символов) автомат оказывается в одном из допускающих состояний, то слово «принимается» автоматом. В этом случае говорят, что оно принадлежит языку данного автомата. В противном случае слово «отвергается». Удобно представлять конечный автомат в виде графа состояний.

**Граф состояния** – графическое представление множества состояний и функции переходов. Представляет собой нагруженный однонаправленный граф, вершины которого – состояния, дуги – переходы из одного состояния в другое, а нагрузка – символы, при которых осуществляется данный переход. Пример простейшего графа состояния приведен на рисунке 2.7.

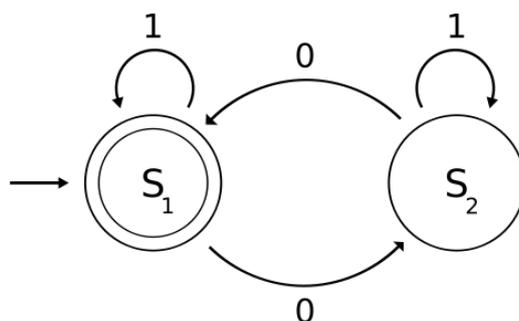


Рисунок 2.7 – Пример графа состояния

На практике при формировании графа состояния какого-либо технологического агрегата необходимо выполнить следующие этапы алгоритмизации:

- Определение всех возможных состояний объекта – вершины графа (каждое состояние должно характеризоваться определенным набором параметров, состоянием компонентов, и совокупностью операций, которые необходимо провести над объектом и его компонентами).
- Присвоение каждому состоянию уникального номера-идентификатора и символьного имени для удобного отображения смысловой нагрузки состояния (присвоение символьного имени опционально).
- Определения переходов из одного состояния в другое – дуг графов (переходы определяются в соответствии с технологическим циклом работы объекта).
- Присвоение каждой дуге графа уникального номера-идентификатора и символьного имени для удобного отображения смысловой нагрузки дуги перехода (присвоение символьного имени опционально).
- Определение, при каком значении дуги графа произойдет переход (значение может быть как булевым, так и численным).

После того как граф состояния сформирован, необходимо конкретизировать внутреннюю структуру дуг графа, т. е. сформировать какую-то логическую или математическую формулу, вычисляющую значение дуги перехода (преобразовать входной алфавит в функцию переходов автомата).

#### 2.4. Пример разработки графа состояний привода насосного агрегата

Ниже представлен алгоритм управления оборудованием комплектного частотно-регулируемого привода (ЧРП) насосной станции второго подъема Велижанского водозабора. Алгоритм предусматривает регулирование давления воды на напоре насосного аппарата для соблюдения технологических режимов работы. Регулирование давления производится путем изменения скорости вращения электродвигателя насоса (с использованием частотно-регулируемого преобразователя ASI Robicon. Кроме того, алгоритмом также предусматривается

управление высоковольтным выключателем, приводами затворов АУМА на всасе и напоре.

Для управления насосным аппаратом используется граф состояния, который приведен на рисунке 2.8.

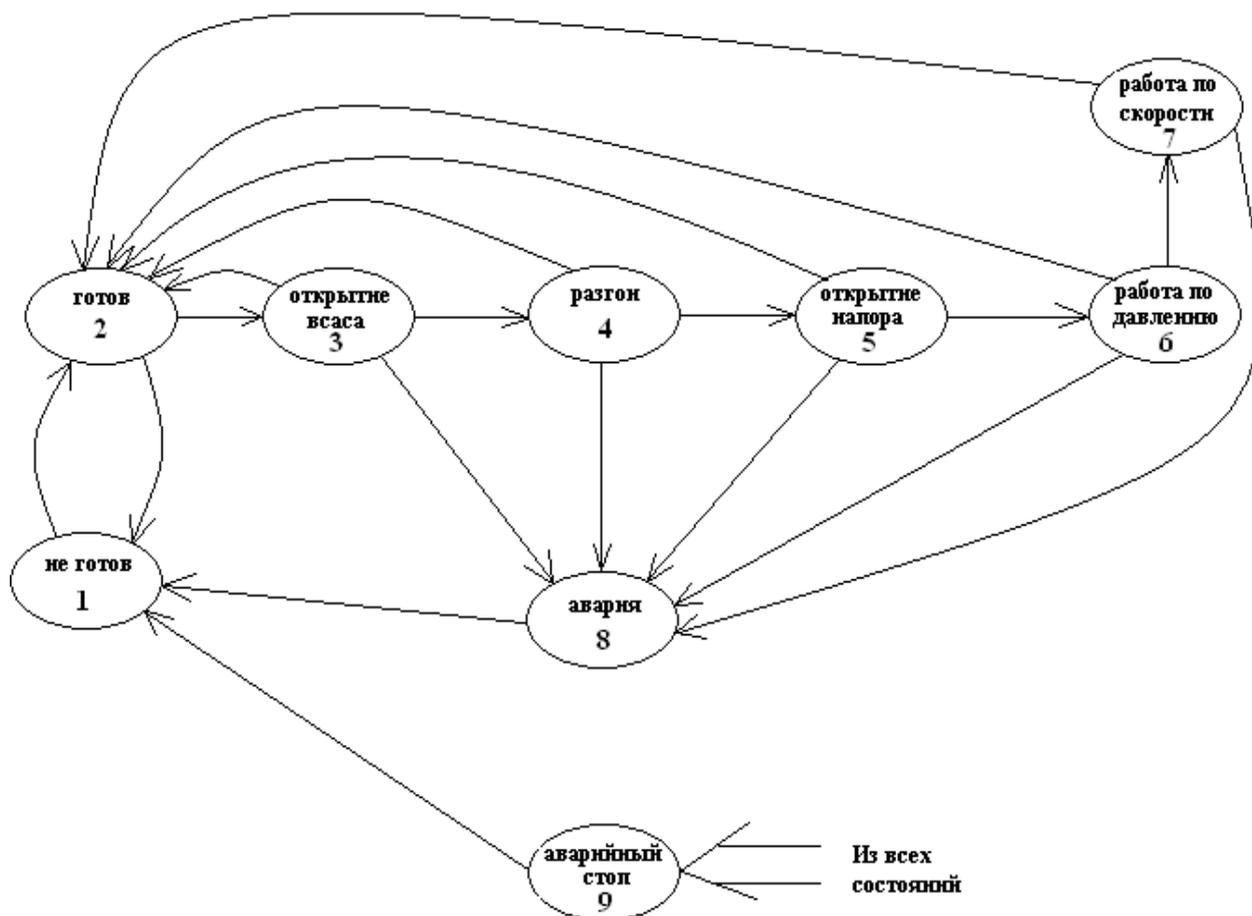


Рисунок 2.8 – Граф состояния насосного аппарата

Во время работы насосный аппарат может находиться в одном из девяти состояний, каждое из которых характеризуется своей конфигурацией оборудования (показания датчиков, состояние двигателя, частотного преобразователя, затворов и т. п.) и действиями, которые необходимо совершить. Каждое состояние имеет уникальный порядковый номер и название. Переходы осуществляются по дугам графа, смысл которых – совокупность каких-либо логических сигналов. Логические сигналы – это действия оператора, сигналы полевых датчиков, сигналы состояния исполнительного оборудования и т. п. Возможны следующие состояния насосного аппарата: «не готов», «готов», «открытие всаса», «разгон», «открытие напора», «работа по давлению», «работа по скорости», «авария», «аварийный останов». Ниже эти состояния рассмотрены более подробно.

### *Состояние «не готов»*

Состояние «не готов» имеет порядковый номер 1. В этом состоянии насосный аппарат не готов к пуску из-за неисправности или неготовности исполнительного оборудования (в частности, выключен или неисправен преобразователь частоты, выключена или неисправна высоковольтная ячейка, неисправны затворы, открыт затвор на напоре, некорректные показания датчиков температуры и вибрации, давление на всасе ниже нормы). В этом состоянии возможно штатное включение/выключение высоковольтной ячейки, ручное управление затворами, происходит автоматическое закрытие затвора на напоре (если привод затвора исправен), останов ЧРП (если преобразователь в работе). Запуск системы в работу заблокирован.

Из этого состояния возможны переходы:

- В состояние «готов». Условие этого перехода – включенное и корректное состояние всех исполнительных механизмов и датчиков.
- В состояние «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

### *Состояние «готов»*

Состояние «готов» имеет порядковый номер 2. В этом состоянии все оборудование включено, исправно и готово к пуску, затвор на напоре закрыт, присутствует давление на всасе, показание всех датчиков в норме. В этом состоянии возможен запуск системы в работу, возможно штатное выключение высоковольтной ячейки, ручное управление затворами, происходит автоматический останов ЧРП (если преобразователь в работе).

Из этого состояния возможны переходы:

- В состояние «не готов». Условие этого перехода – выход из строя, выключение какого-либо исполнительного механизма или датчика, отсутствие давления на всасе или неправильное положение затвора на напоре.
- Переход в состояние «открытие всаса». Условие этого перехода – нажатие оператором кнопки «Старт».
- В состояние «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

### *Состояние «открытие всаса»*

Состояние «открытие всаса» имеет порядковый номер 3. В этом состоянии в автоматическом режиме происходит открытие затвора на всасе (если он закрыт или в промежуточном положении), осуществляется контроль над состоянием исполнительного оборудования (ЧРП, приводы затворов, ВВ выключатель) и показаниями датчиков. Управление в ручном режиме запрещено.

Из этого состояния возможны переходы:

- В состояние «разгон». Условие этого перехода – произошло полное открытие затвора на всасе.

- Переход в состояние «готов». Условие этого перехода – нажатие оператором кнопки «Стоп».
- Переход в состояние «авария». Условие этого перехода – авария ВВ выключателя, ЧРП, какого-либо из приводов затворов, либо пропажа связи с ними, снижение давления на всасе ниже критического, излишние перегрев или вибрация двигателя.
- В состоянии «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

#### *Состояние «разгон»*

Состояние «разгон» имеет порядковый номер 4. В этом состоянии включается в работу частотный преобразователь, на регулятор давления подается заданное оператором давление и происходит разгон двигателя, осуществляется контроль над состоянием исполнительного оборудования (ЧРП, привод затвора на напоре, ВВ выключатель) и показаниями датчиков. Управление в ручном режиме запрещено.

Из этого состояния возможны переходы:

- В состояние «открытие напора». Условие этого перехода – произошел разгон насоса до такой скорости, что происходит открытие обратного клапана.
- Переход в состояние «готов». Условие этого перехода – нажатие оператором кнопки «Стоп».
- Переход в состояние «авария». Условие этого перехода – авария ВВ выключателя, ЧРП, привода затвора на напора, либо пропажа связи с ними, снижение давления на всасе ниже критического, излишние перегрев или вибрация двигателя.
- В состоянии «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

#### *Состояние «открытие напора»*

Состояние «открытие напора» имеет порядковый номер 5. В этом состоянии происходит открытие затвора на напоре, при этом двигатель продолжает разгоняться для достижения заданного давления. При этом осуществляется контроль над состоянием исполнительного оборудования (ЧРП, привод затвора на напоре, ВВ выключатель) и показаниями датчиков. Управление в ручном режиме запрещено.

Из этого состояния возможны переходы:

- В состояние «работа по давлению». Условие этого перехода – произошло полное открытие затвора на напоре.
- Переход в состояние «готов». Условие этого перехода – нажатие оператором кнопки «Стоп».
- Переход в состояние «авария». Условие этого перехода – авария ВВ выключателя, ЧРП, привода затвора на напора, либо пропажа связи с ними,

снижение давления на всасе ниже критического, излишние перегрев или вибрация двигателя.

- В состояние «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

#### *Состояние «работа по давлению»*

Состояние «работа по давлению» имеет порядковый номер 6. Это основной режим работы насосного аппарата. Затворы полностью открыты, частотный преобразователь поддерживает заданное давление. При этом осуществляется контроль над состоянием исполнительного оборудования (ЧРП, ВВ выключатель) и показаниями датчиков. Управление в ручном режиме запрещено.

Из этого состояния возможны переходы:

- В состояние «работа по скорости». Условие этого перехода – произошел прорыв трубы в магистрали после насоса, и, как следствие, произошла значительная и долговременная «просадка» давления на напоре.
- Переход в состояние «готов». Условие этого перехода – нажатие оператором кнопки «Стоп».
- Переход в состояние «авария». Условие этого перехода – авария ВВ выключателя, ЧРП, либо пропажа связи с ними, снижение давления на всасе ниже критического, излишние перегрев или вибрация двигателя.
- В состояние «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

#### *Состояние «работа по давлению»*

Состояние «работа по скорости» имеет порядковый номер 7. Этот вспомогательный режим необходим для работы в аварийной ситуации – при прорыве трубы в магистрали. В этом состоянии затворы полностью открыты, давление не регулируется, но поддерживаются обороты двигателя, заданные оператором. При этом осуществляется контроль над состоянием исполнительного оборудования (ЧРП, ВВ выключатель) и показаниями датчиков. Управление в ручном режиме запрещено.

Из этого состояния возможны переходы:

- Переход в состояние «готов». Условие этого перехода – нажатие оператором кнопки «Стоп».
- Переход в состояние «авария». Условие этого перехода – авария ВВ выключателя, ЧРП, либо пропажа связи с ними, снижение давления на всасе ниже критического, излишние перегрев или вибрация двигателя.
- В состояние «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

#### *Состояние «авария»*

Состояние «авария» имеет порядковый номер 8. Система переходит в это состояние при возникновении, каких-либо сбоев оборудования во время работы.

При этом отдается команда на останов частотного преобразователя и команда на закрытие затвора на напоре. Система блокируется, и перезапуск возможен только после устранения неисправностей и квитирования аварийного состояния оператором. Управление в ручном режиме запрещено.

Из этого состояния возможны переходы:

- Переход в состояние «не готов». Условие этого перехода – нажатие оператором кнопки «Сброс аварии».
- В состояние «аварийный стоп». Условие этого перехода – нажата одна из кнопок аварийного останова.

#### *Состояние «аварийный стоп»*

Состояние «аварийный стоп» имеет порядковый номер 9. Система переходит в это состояние при нажатии одной из кнопок аварийного останова. При этом подается команда на останов частотного преобразователя, команда на закрытие затвора на напоре и команда на отключение высоковольтной ячейки. Система блокируется, и перезапуск возможен только после устранения неисправностей, разблокировки всех кнопок аварийного останова и подготовки к пуску исполнительного оборудования. Управление в ручном режиме запрещено.

Из этого состояния возможен один переход:

- Переход в состояние «не готов». Условие этого перехода – разблокировка всех кнопок аварийного останова

## **2.5. Пример разработки программы управления приводом по алгоритму, созданному на основе графа состояний**

Приведенный ниже пример относится к разработке программы управления механизмом подъема/опускания отсасывающего ящика формера. Эта программа является составной частью выполненного проекта модернизации системы управления формером.

Формер предназначен для повышения эффективности удаления воды из массы, находящейся на сеточном столе бумагоделательной машины. На рисунке 2.9 приведена кинематическая схема формера; красным цветом выделен отсасывающий ящик.

В состав системы управления формером входит ряд релейных систем управления механизмами, таких как управление заслонками, пуска вакуумных вентиляторов, управление перемещением отсасывающих ящиков, управление формирующими планками, управление шаберами, контроль хода сетки, управление спреями и т. п.

Управление механизмами выполняется ключами и кнопками, размещенными на дверях щитовой секции формера и секции напуска бумажной массы; управление перемещением выходным валком и отсасывающими

ящиками формера выполняется с местного пульта, установленного рядом с формером.

Система управления состоит из отдельных локальных подсистем, выполненных на элементах релейной автоматики; имеются также локальные контуры регулирования параметров, выполненные на приборных регуляторах.

В результате модернизации системы управления формером выполнена замена оборудования релейно-контакторных схем системы управления формером на локальный контроллер; выполнена замена физически изношенного оборудования КИПиА; выполнена визуализация работы оборудования в АСУТП БДМ.

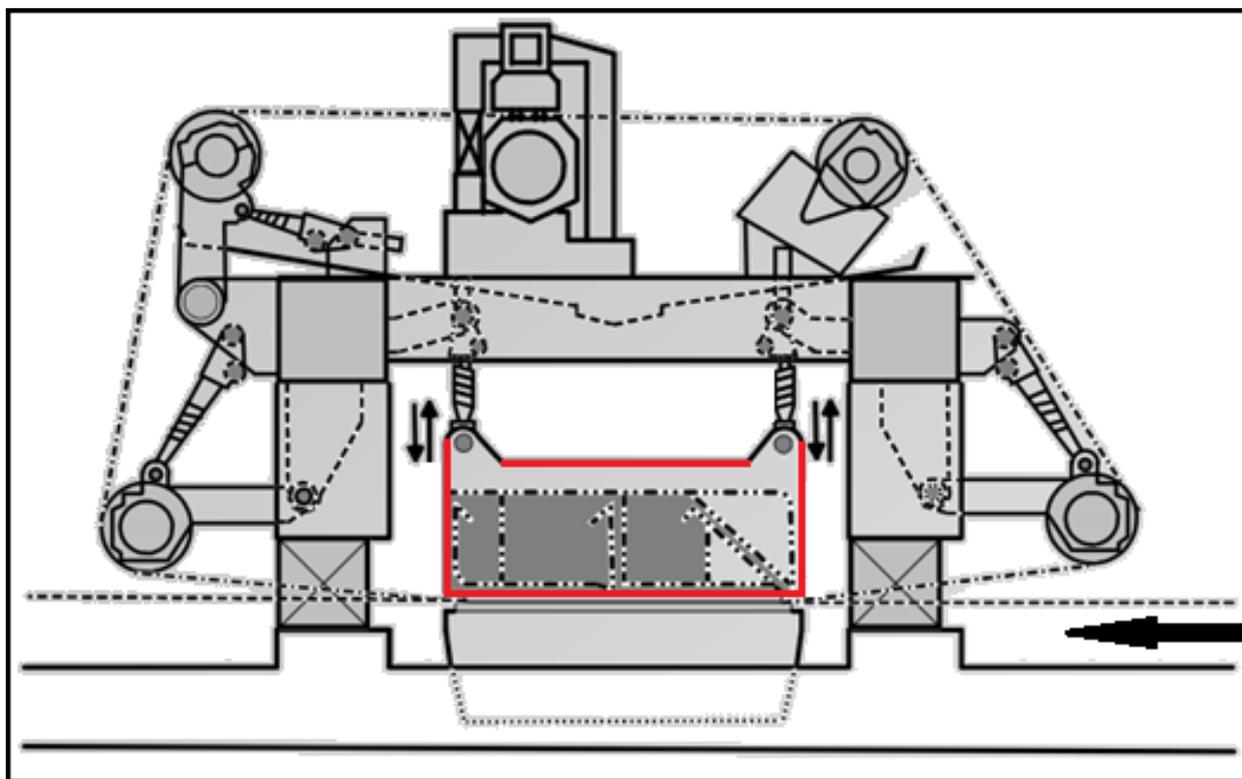


Рисунок 2.9 – Кинематическая схема формера

Механизму подъема/опускания входной стороны отсасывающего ящика присвоено технологическое обозначение 5BD04, а механизму подъема/опускания выходной стороны – обозначение 5BD05. Оба механизма управляются реверсивной схемой частотного пуска.

Приводы механизмов подъема/опускания отсасывающего ящика могут управляться отдельно и совместно, что определяется ключом выбора способа управления. Управление выполняется кнопками «Вверх», «Вниз», «Стоп».

*Блокировочные сигналы:*

- конечное положение «Вверх» (НН),
- конечное положение «Вниз» (LL),

- моментный выключатель при превышении момента мотора в направлении открывания,
- моментный выключатель при превышении момента мотора в направлении закрывания,
- перегрев мотора,
- промежуточное положение «Верх» (Н),
- промежуточное положение «Низ» (L),
- сигнал синхронизации сеток.

*В алгоритме управления используются следующие состояния:*

- не готов,
- стоит между (Н) и (L),
- опущен полностью,
- в процессе подъема (работает мотор),
- в процессе опускания (работает мотор),
- поднят полностью,
- стоит между (НН) и (Н),
- стоит между (L) и (LL),
- авария.

При отсутствии синхронизации отсасывающие ящики автоматически поднимаются на уровень (Н).

Раздельное управление одним из приводов возможно при наличии сигнала синхронизации сеток, при этом регулирование положения возможно в диапазоне между (Н) и (L).

При совместном управлении и сигнале синхронизации диапазон регулирования лежит в пределах между (НН) и (LL).

Величина задания скорости определяется положением, в диапазоне между (L) и (LL) задается уменьшенная скорость перемещения.

Аналоговые сигналы положения входной и выходной стороны используются для отображения на индикаторах. Уровни положения входной и выходной сторон используются для включения/выключения воздушного клапана управления формирующими планками (механизм 5BM18).

На рисунке 2.10 показан вид рабочего экрана SCADA системы управления механизмами подъема/опускания отсасывающего ящика. В левой верхней части экрана расположена структурная схема цепи двигателей М1, при работе элементы QF1 и М1 изменяют свой цвет. Под схемой расположена кнопка сброса ошибок. В левой верхней части экрана отображен статус системы. Под ним размещены кнопки управления. В зависимости от потребности с их помощью можно управлять входной/выходной/обеими сторонами отсасывающих ящиков. В середине экрана размещены цветные индикаторы ключевых элементов системы. Внизу, под отделом «авария», располагаются индикаторы аварийных сообщений. В нижнем правом углу расположена кнопка для выхода на главный экран формата.

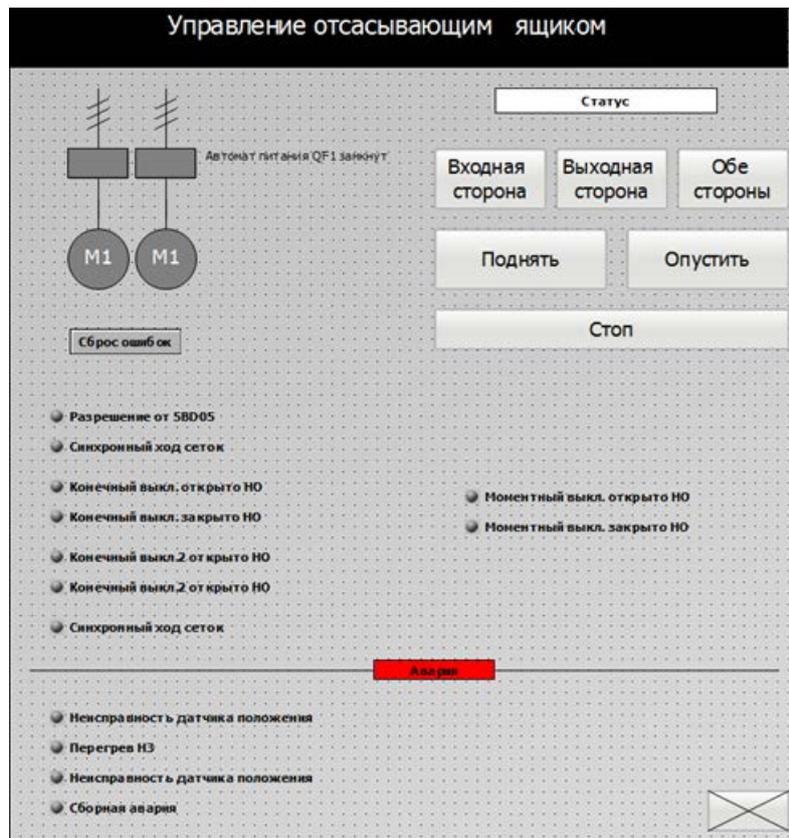


Рисунок 2.10 – Экран управления механизмами подъема/опускания отсасывающего ящика

На рисунке 2.11 представлен граф состояний механизмов подъема и опускания входной и выходной сторон отсасывающего ящика.

Приняты следующие состояния системы управления:

- 1 – не готов,
- 2 – стоит между датчиками положения (Н) и (L),
- 3 – опущен полностью,
- 4 – в процессе подъема,
- 5 – в процессе опускания,
- 6 – поднят полностью,
- 7 – стоит между (L) и (LL),
- 8 – стоит между (НН) и (Н),
- 99 – авария.

В программном функциональном блоке алгоритма управления, представленного приведенным графом состояний, нужно выполнить следующие действия:

- На основе входной информации определить текущее состояние системы.
- Определить условия переходов между состояниями и новое состояние, в которое попадает системы управления.
- Определить действия системы управления в каждом из состояний.

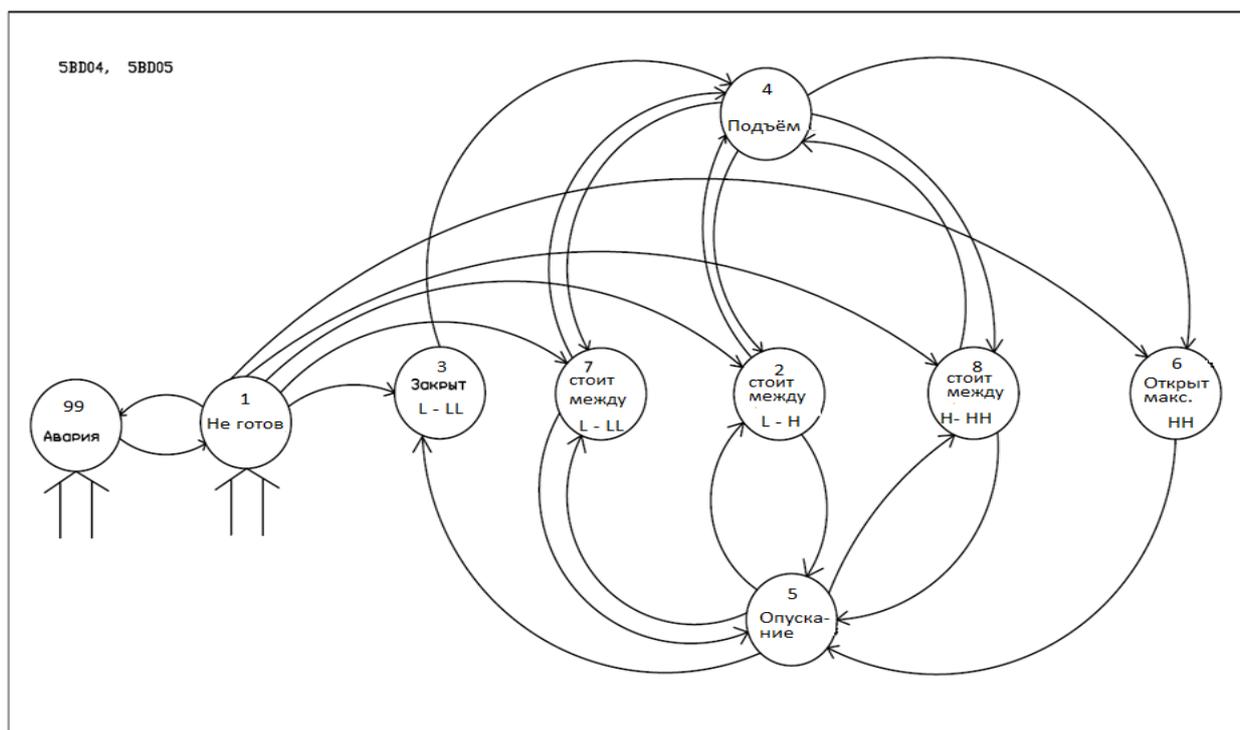


Рисунок 2.11 – Граф состояния механизма подъема/опускания отсасывающего ящика

Далее рассмотрим этапы разработки функционального блока системы управления входной и выходной сторонами отсасывающего ящика. Вся программа контроллера, управляющего механизмами формера, выполнена в среде Step 7.

Функциональный блок (FB) разработан с учетом верхнего уровня системы управления, представленной SCADA WinCC. В программном блоке предусмотрена возможность тестирования системы управления как во время ее запуска, так и при выполнении плановых предупредительных ремонтов. С этой целью кроме сигналов «с поля», т. е. сигналов датчиков и блок-контактов, предусмотрены сигналы имитации, которые можно задавать с рабочего экрана SCADA-системы вместо реальных сигналов. Тем самым можно проверить функционирование алгоритма функционального блока без активации самого механизма.

## 2.6. Объявление переменных функционального блока

В среде программирования Step 7 предусмотрены следующие типы переменных: входные (IN), выходные (OUT), проходные (IN–OUT), статические (STAT) и временные (TEMP).

В объявлении входных переменных (IN) приведены сигналы от датчиков, блок-контактов, кнопок управления и т. п., т. е. сигналы «с поля». В таблице 2.1

приведены входные переменные (IN) функционального блока. Для удобства имена входных переменных начинаются с префикса «i\_».

Таблица 2.1 – Входные переменные

Name	DataType	Address	InitialValue	Comment
IN		0.0		
i_HH	Bool	0.0	FALSE	Конечн.Выкл.Открыто НЗ
i_LL	Bool	0.1	FALSE	Конечн.Выкл. Закрыто НЗ
i_L	Bool	0.2	FALSE	Конечн.Выкл2. Закр НЗ
i_H	Bool	0.3	FALSE	Конечн.Выкл2. Откр НЗ
i_MH	Bool	0.4	FALSE	Моментный Выкл.Открыто НЗ
i_ML	Bool	0.5	FALSE	Моментный Выкл.Закрыто НЗ
i_TH	Bool	0.6	FALSE	Пегререв НЗ
i_QF	Bool	0.7	FALSE	Автомат питания
i_BtnUp	Bool	1.0	FALSE	кнопка Открыть
i_BtnDn	Bool	1.1	FALSE	кнопка Закрыть
i_blUp	Bool	1.2	FALSE	бл/к RunUp
i_blDn	Bool	1.3	FALSE	бл/к RunDn
i_External_reset	Bool	1.4	FALSE	Внешний сброс ошибок
i_Clock_100ms	Bool	1.5	FALSE	Системный тик 100мс
i_ML_2	Bool	1.6	FALSE	Момент Вниз МАХ второй ящ
i_MH_2	Bool	1.7	FALSE	Момент вверх МАХ второй ящ
i_L_2	Bool	2.0	FALSE	КВ WDR 2-го ящ
i_H_2	Bool	2.1	FALSE	КВ WDL 2-го ящ
i_Synchro	Bool	2.2	FALSE	Синхронный ход сеток
i_BtnStop	Bool	2.3	FALSE	Кнопка Стоп 1=STOP
i_Mode	Bool	2.4	FALSE	Режим 0-Один 1-Оба
i_KK	Bool	2.5	FALSE	бл/к перегрузка

В таблице 2.2 приведены выходные переменные (OUT) функционального блока. Для удобства имена выходных переменных начинаются с префикса «q\_». Переменные q\_Open, q\_Close, q\_Slow, q\_HZ\_On предназначены для управления соответствующими исполнительными аппаратами «в поле»; переменная q\_Word\_fault предназначена для передачи диагностической информации в верхний уровень системы управления.

Таблица 2.2 – Выходные переменные

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
OUT		0.0		
q_Open	Bool	4.0	FALSE	Открыть (ВВЕРХ) команда
q_Close	Bool	4.1	FALSE	ЗАКРЫТЬ (ВНИЗ) команда
q_Slow	Bool	4.2	FALSE	ПолзХод=1
q_HZ_On	Bool	4.3	FALSE	Вкл Обогрев команда
q_Word_fault	Word	6.0	W#16#0	Слово диагностики

Переменные, сведенные в группу проходных переменных (IN–OUT) (см. таблицу 2.3), в основном предназначены для выбора режима работы с фактическими полевыми сигналами или с имитацией этих сигналов. Для удобства имена проходных переменных начинаются с префикса «io\_». Переменная io\_Status определяет номер текущего состояния системы управления.

Таблица 2.3 – Проходные переменные

Name	Data Type	Address	Initial Value	Comment
IN_OUT		0.0		
io_Imit	Bool	8.0	FALSE	Имитация
io_Reset_Errors	Bool	8.1	FALSE	Сброс ошибок
io_F00	Bool	8.2	FALSE	сборная авария
io_F01_TH	Bool	8.3	FALSE	Fault. Перегрев
io_F02_TO	Bool	8.4	FALSE	FltOpenTorque
io_F03_TC	Bool	8.5	FALSE	FltCloseTorque
io_F04_KK	Bool	8.6	FALSE	перегрузка
io_F05_RWG	Bool	8.7	FALSE	Неисправность датчика положения
io_F06	Bool	9.0	FALSE	F_reserve
io_F07	Bool	9.1	FALSE	F_reserve
io_A01_QF	Bool	9.2	FALSE	A_QFотключен
io_5BD05	Bool	9.3	FALSE	Разрешение от 5BD05
io_HH_1	Bool	9.4	FALSE	Конечн. Выкл. Открыто НЗ
io_LL_1	Bool	9.5	FALSE	Конечн. Выкл. Закрыто НЗ
io_L_1	Bool	9.6	FALSE	Конечн. Выкл2. Закр НЗ
io_H_1	Bool	9.7	FALSE	Конечн. Выкл2. Откр НЗ
io_MH_1	Bool	10.0	FALSE	Моментный Выкл. Открыто НЗ

*Окончание табл. 2.3*

<b>Name</b>	<b>Data Type</b>	<b>Address</b>	<b>Initial Value</b>	<b>Comment</b>
io_ML_1	Bool	10.1	FALSE	Моментный Выкл.Закрyto НЗ
io_TH_1	Bool	10.2	FALSE	Пегререв НЗ
io_QF_1	Bool	10.3	FALSE	Автомат питания
io_blUp_1	Bool	10.4	FALSE	бл/к RunUp
io_blDn_1	Bool	10.5	FALSE	бл/к RunDn
io_HH_M	Bool	10.6	FALSE	Конечн.Выкл.Открыто НЗ
io_LL_M	Bool	10.7	FALSE	Конечн.Выкл. Закрyto НЗ
io_L_M	Bool	11.0	FALSE	Конечн.Выкл2. Закр НЗ
io_H_M	Bool	11.1	FALSE	Конечн.Выкл2. Откр НЗ
io_MH_M	Bool	11.2	FALSE	Моментный Выкл.Открыто НЗ
io_ML_M	Bool	11.3	FALSE	Моментный Выкл.Закрyto НЗ
io_TH_M	Bool	11.4	FALSE	Пегререва нет=1
io_QF_M	Bool	11.5	FALSE	Автомат питания
io_blUp_M	Bool	11.6	FALSE	бл/к RunUp
io_blDn_M	Bool	11.7	FALSE	бл/к RunDn
io_KK_1	Bool	12.0	FALSE	бл/к перегрузка
io_KK_M	Bool	12.1	FALSE	бл/к перегрузка
io_Status	Int	14.0	0	Status

Статические (STAT) и временные (TEMP) переменные разрабатываемого функционального блока показаны в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Статические и временные переменные

<b>Name</b>	<b>Data Type</b>	<b>Address</b>	<b>Initial Value</b>	<b>Comment</b>
STAT		0.0		
bitP_0	Bool	16.0	FALSE	
Edge_01	Bool	16.1	FALSE	Занят
TEMP		0.0		
tmp_Reset_Errors	Bool	0.0		

Выбор режима работы с фактическими полевыми сигналами или с имитацией этих сигналов определяется переменной «io\_Imit», которая устанавливается с рабочего экрана SCADA-системы.

## 2.7. Программный код функционального блока

### 2.7.1. Этап 1. Обслуживание режима имитации

В первых рабочих строках программы в случае выбора режима имитации в начальные значения устанавливаются переменные, подменяющие значения фактических переменных, получаемых «с поля». На рисунке 2.12 показан фрагмент рабочей строки, в котором при включении сигнала io\_Imit переменные, имитирующие сигналы «с поля», сбрасываются в «0».

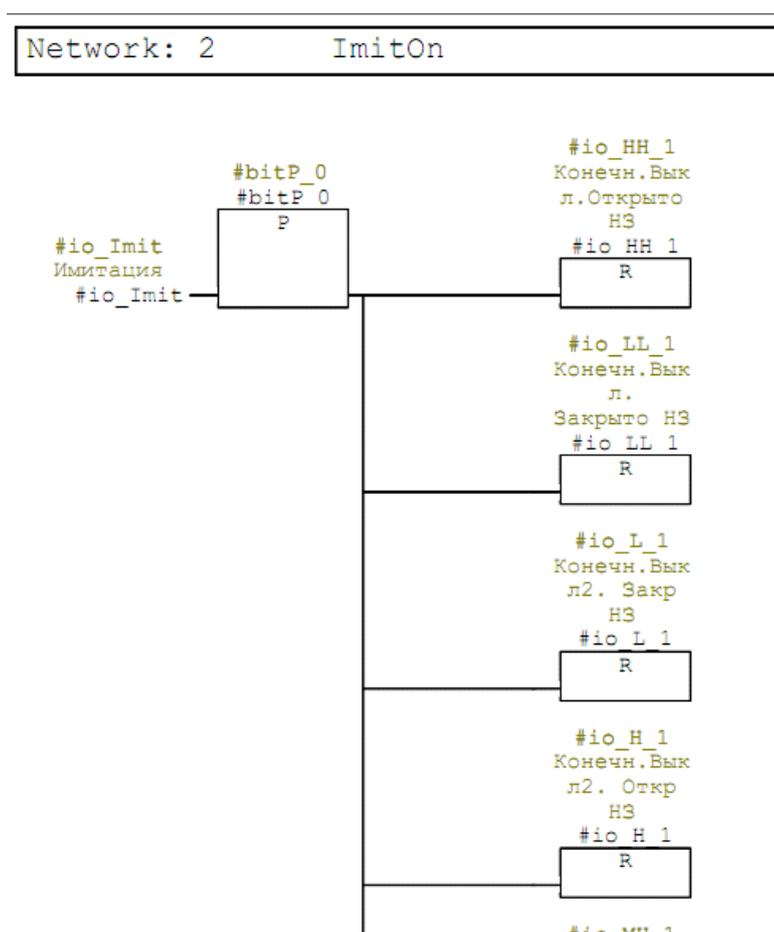


Рисунок 2.12 – Фрагмент программного кода на языке FBD. Обнуление переменных, имитирующих фактические сигналы полевых датчиков при включении режима имитации

В следующей рабочей строке, написанной на языке STL, выбирается какие сигналы (сигналы с поля или сигналы имитации) будут использоваться при управлении объектом. Фрагмент этой строки представлен на рисунке 2.13.

В первых шести строках кода выполняется следующий выбор:

- если установлен режим имитации (переменной “io\_Imit” присвоено значение TRUE), то переменная “io\_HH\_M” принимает значение имитирующего сигнала “io\_HH\_1”;
- если режим имитации не установлен (переменной “io\_Imit” присвоено значение FALSE), то переменная “io\_HH\_M” принимает значение сигнала от конечного выключателя «конечное положение «Верх» (НН).

Выбор между остальными сигналами «с поля» и сигналами имитации выполняется аналогичным образом.

```

Network 3: ImitOn
A      #io_Imit      #io_Imit      -- Имитация
AN     #io_HH_1     #io_HH_1     -- Конечн.Выкл.Открыто НЗ
O
AN     #io_Imit      #io_Imit      -- Имитация
AN     #i_HH        #i_HH        -- Конечн.Выкл.Открыто НЗ
=      #io_HH_M     #io_HH_M     -- Конечн.Выкл.Открыто НЗ

A      #io_Imit      #io_Imit      -- Имитация
AN     #io_LL_1     #io_LL_1     -- Конечн.Выкл. Закрыто НЗ
O
AN     #io_Imit      #io_Imit      -- Имитация
A      #i_LL        #i_LL        -- Конечн.Выкл. Закрыто НЗ
=      #io_LL_M     #io_LL_M     -- Конечн.Выкл. Закрыто НЗ

A      #io_Imit      #io_Imit      -- Имитация
AN     #io_L_1     #io_L_1     -- Конечн.Выкл2. Закр НЗ
O
AN     #io_Imit      #io_Imit      -- Имитация
AN     #i_L        #i_L        -- Конечн.Выкл2. Закр НЗ
=      #io_L_M     #io_L_M     -- Конечн.Выкл2. Закр НЗ

```

Рисунок 2.13 – Фрагмент программного кода на языке STL. Выбор между сигналами от датчиков и имитационными сигналами

### 2.7.2. Этап 2. Формирование сигналов предупреждения (блокировок) и сигналов аварии

Активные сигналы блокировок препятствуют выполнению определенных действий. Когда сигнал блокировки становится не активным, то соответствующие действия могут выполняться.

Активные сигналы аварий приводят к аварийному останову системы; сигнал аварии «защелкивается». Возобновление работы системы возможно только после устранения причины аварии и квитирования (сброса) аварийного сигнала.

На рисунке 2.14 приведена строка кода, формирующего предупреждение об отключении автомата питания. В зависимости от включенного или отключенного режима имитации сигнал предупреждения об отключении

автоматического выключателя “io\_A01\_QF” принимает значение или сигнала имитации, или сигнала от блок-контакта автоматического выключателя.

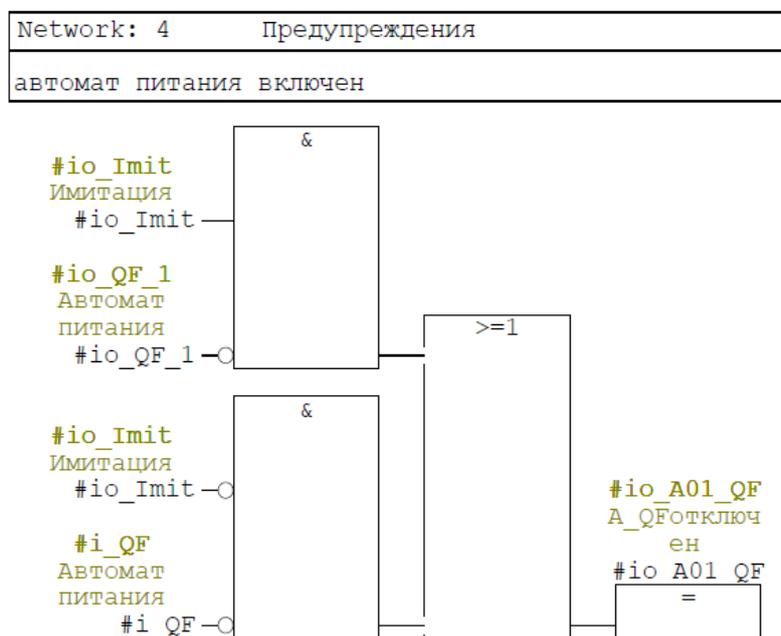


Рисунок 2.14 – Фрагмент программного кода на языке FBD. Предупреждение об отключении автоматического выключателя

Две следующие строки, как показано на рисунке 2.15, формируют сигнал аварии, вызванный перегревом. Сначала сигнал перегрева “io\_TH\_M” формируется или от имитирующего сигнала “io\_TH\_1” или от сигнала датчика перегрева “i\_TH”; затем с помощью RS-триггера защелкивается сигнал аварии “io\_F01\_TH”. Сброс аварии по перегреву выполняется при подаче сигнала (TRUE) на вход R сброса RS-триггера.

Таким же образом формируются сигналы следующих аварий:

- io\_F02\_TO превышение момента на открывание;
- io\_F03\_TC превышение момента на закрывание;
- io\_F04\_KK перегрузка.

Выявление причины аварии ускоряет диагностику механизма и восстановление его работоспособности. В тоже время любая из аварий должна приводить к аварийному останову; разрешение на работу механизма будет получено при квитировании всех аварий. На рисунке 2.16 приведен код формирования сигнала сборной аварии “io\_F00”; появление этого сигнала переводит систему управления в состояние аварии.

Отметим, что включение в код функционального блока режима имитации «полевых» сигналов значительно увеличивает объем кода, но предоставляет возможность отладки программы без фактического подключения к сигналам «с поля».

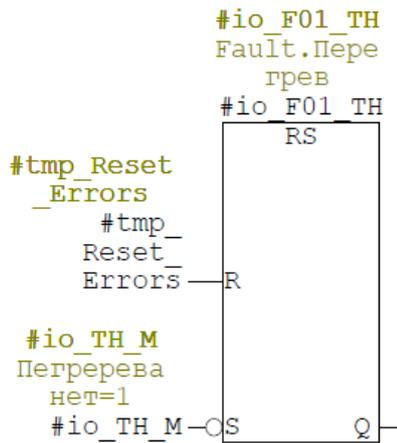
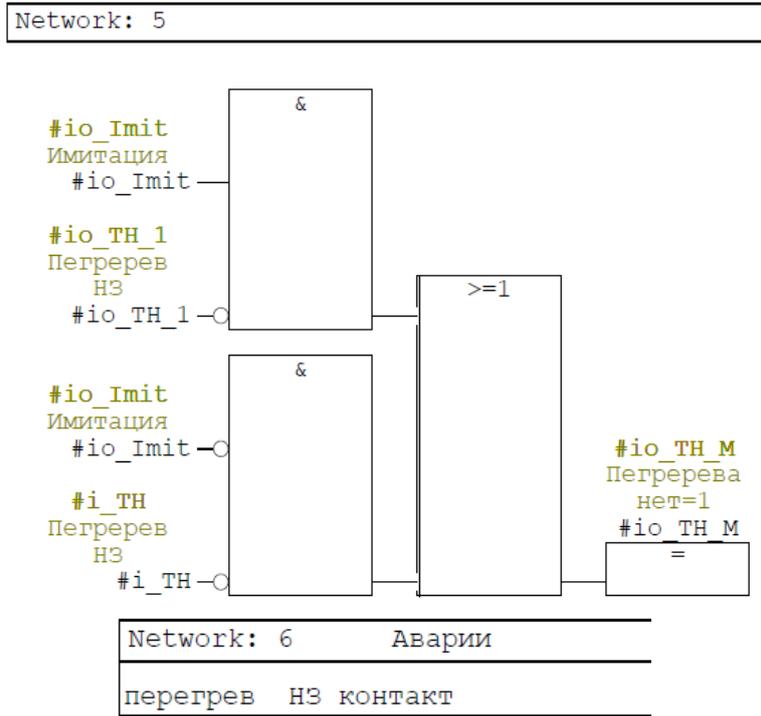


Рисунок 2.15 – Фрагмент программного кода на языке FBD. Формирование аварийного сигнала перегрева

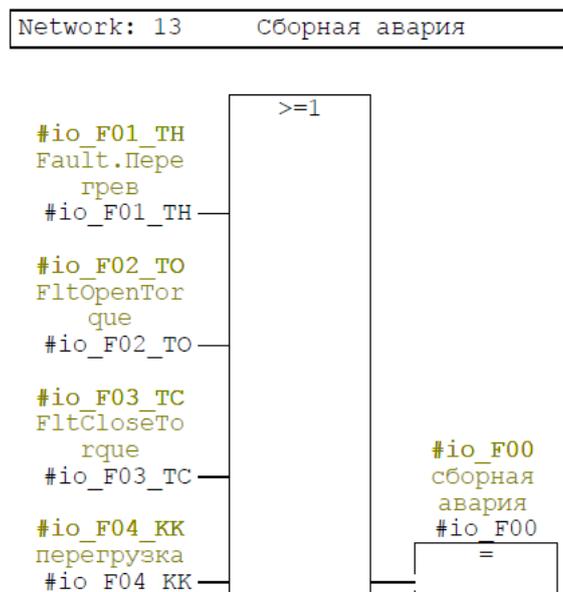


Рисунок 2.16 – Формирование сигнала сборной аварии

### 2.7.3. Этап 3. Определение состояний системы

На этом этапе выполняется определение состояния системы управления в соответствии с принятым графом состояний. Состояние системы (переменная “io\_Status”) определяется по комбинации входных сигналов (имитационных или от реальных датчиков), в общем случае номер текущего состояния может зависеть и от предыдущих состояний. На рисунке 2.17 приведены примеры определения состояний 1, на рисунке 2.18 – 2, на рисунке 2.19 показано определение состояния 4.

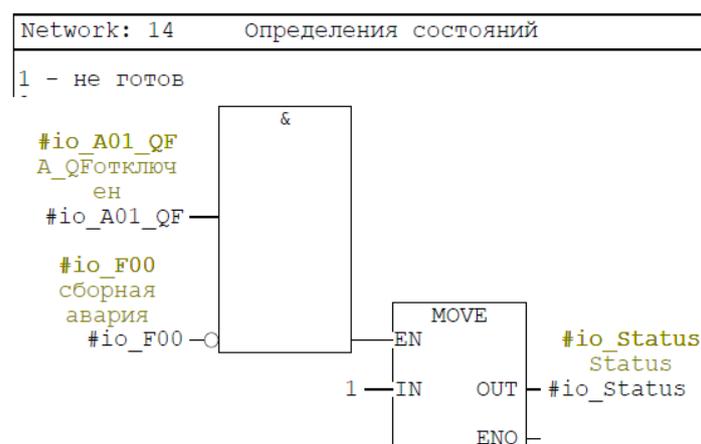


Рисунок 2.17 – Определение состояния 1

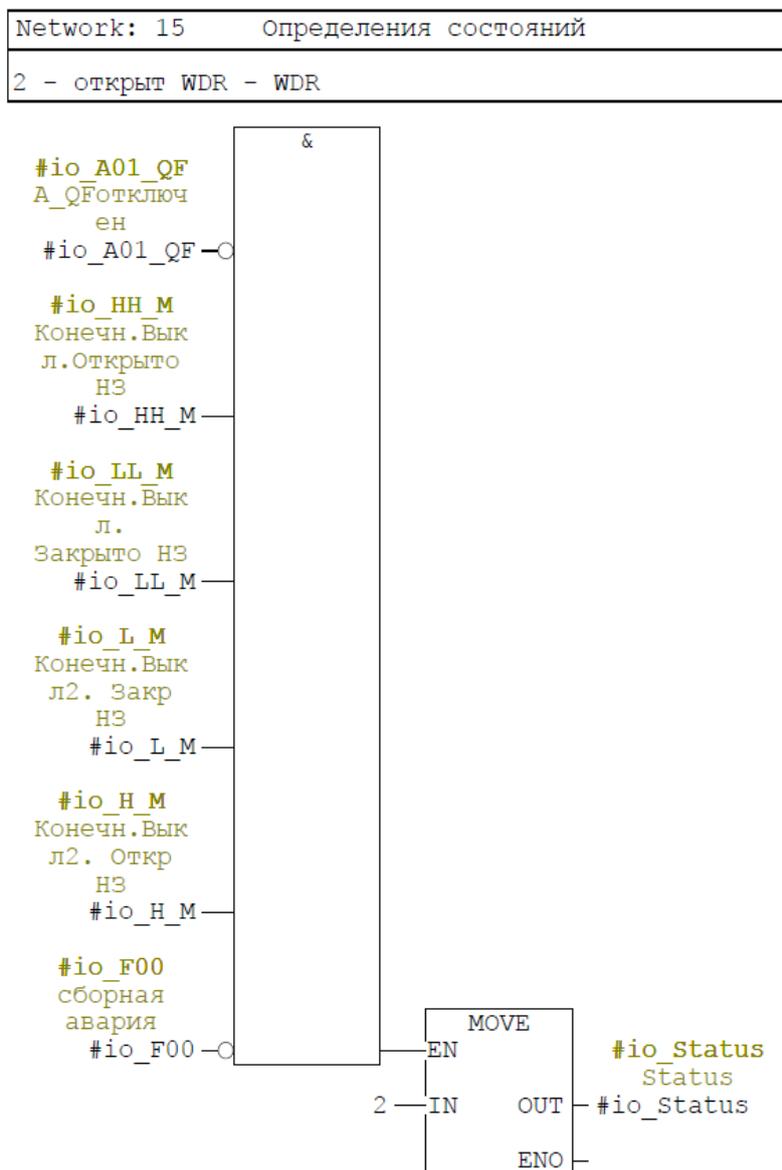


Рисунок 2.18 – Определение состояния 2

Как следует из примера на рисунке 2.18, сигналы источников информации, отвечающие за состояние автоматического выключателя, конечного выключателя, блок-контактов направления перемещения, могут быть установлены в режиме имитации или взяты от датчиков «с поля». Например значение сигнала “io\_bkUp\_M” может определяться сигналом имитации “io\_bkUp\_1” или сигналом от датчика “i\_bUp”/

В режиме имитации система может использовать заранее заданные параметры для тестирования и отладки, что позволяет инженерам и операторам проводить анализ работы оборудования без необходимости в реальном времени взаимодействовать с физическими компонентами.

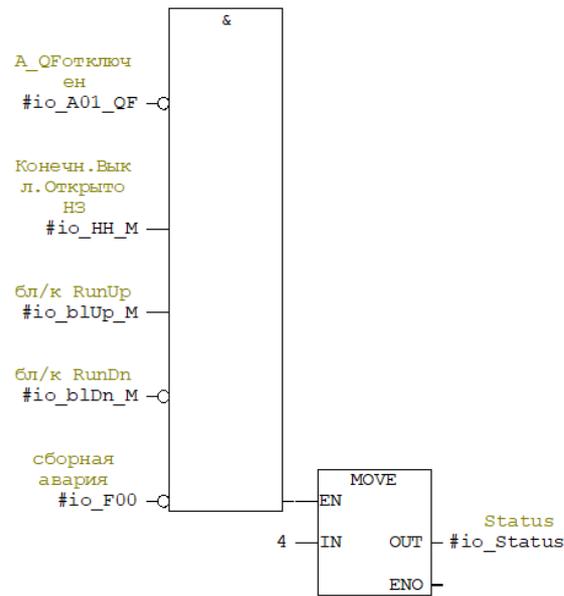
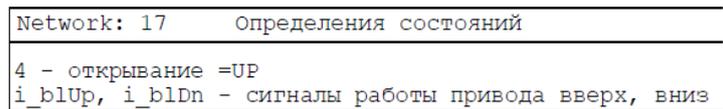


Рисунок 2.19 – Определение состояния 4

Логика определения состояния аварии представлена на рисунке 2.20.

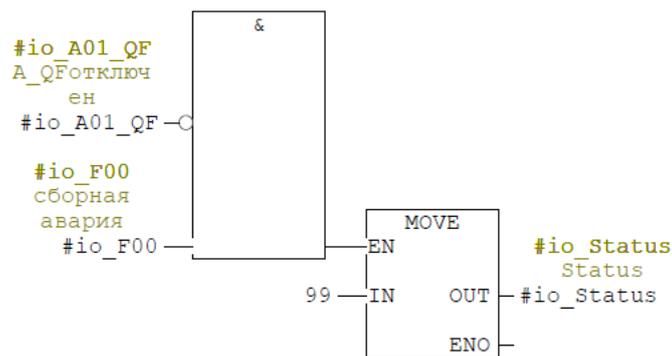
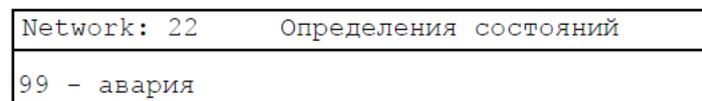


Рисунок 2.20 – Определение состояния 99

Остальные состояния системы, представленные графом состояний, определяются аналогичным образом.

## 2.7.4. Этап 4. Определение переходов

На этом этапе определяются возможные переходы между состояниями системы в соответствии с принятым графом состояний. Условия переходов – это логические (булевские) переменные, соответствующие дугам графа. Изменение состояния графа выполняется, когда для текущего состояния становится активным условие перехода в другое состояние.

Определение условий переходов может быть выполнено отдельным этапом, а выполнение переходов в соответствии с текущим состоянием и условиями переходов выполнено другим этапом или даже отдельной функцией (FC). В рассматриваемом примере функционального блока условия переходов и собственно изменение состояния объединены.

На рисунке 2.21 показан фрагмент кода на языке LAD, определяющий переходы из состояния 3 «Закрит» в состояния 4 «Подъем», 99 «Авария» и 1 «Не готов», в соответствии с принятым графом переходов (см. рис. 2.11).

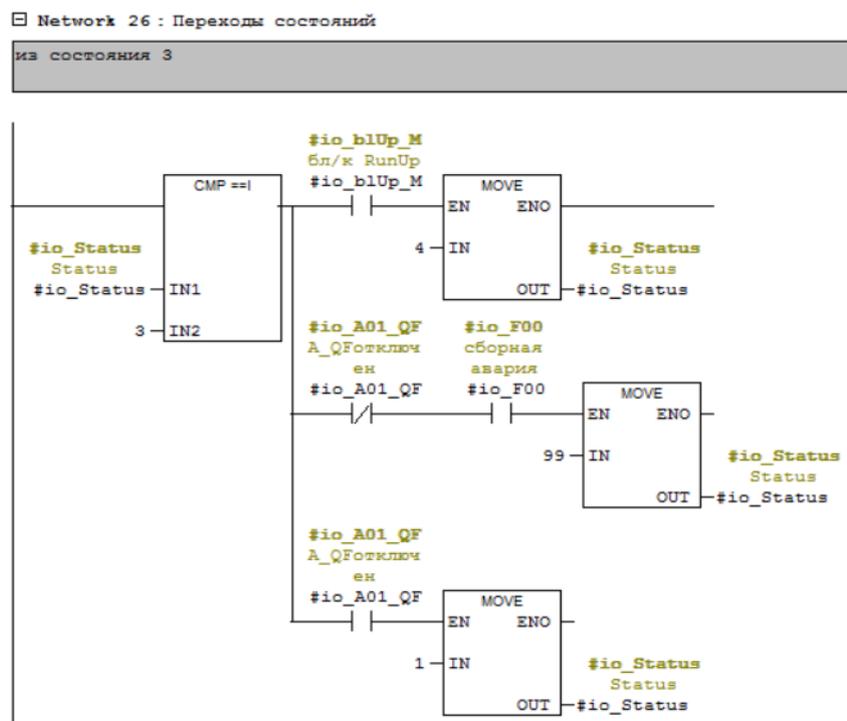


Рисунок 2.21 – Фрагмент программного кода на языке LAD. Переходы из состояния 3

На рисунке 2.22 показан фрагмент кода на языке LAD, определяющий переходы из состояния 1 «Не готов» в другие состояния в соответствии с принятым графом переходов.

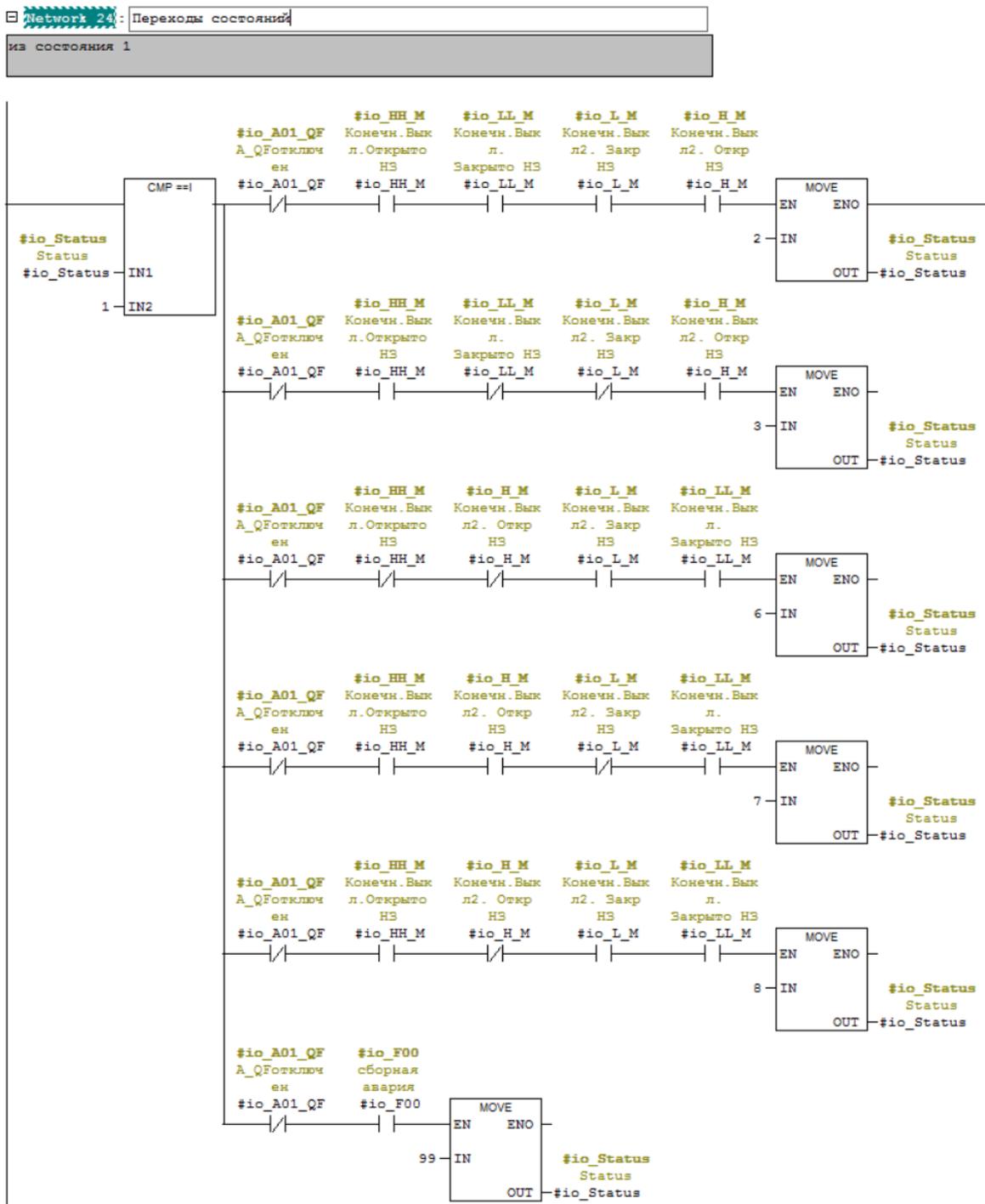


Рисунок 2.22 – Фрагмент программного кода на языке LAD. Переходы из состояния 1

Выход из состояния 99 «Авария» в состояние 1 «Не готов» выполняется при отсутствии сигнала сборной аварии “io\_F00”, как показано на рисунке 2.23.

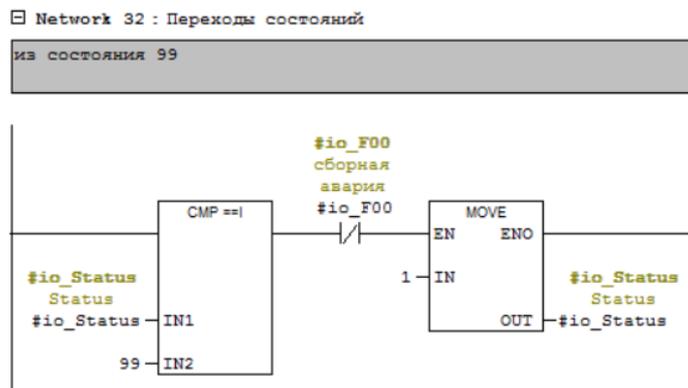


Рисунок 2.23 – Переход из состояния 99 в состояние 1

### 2.7.5. Этап 5. Выполнение действий в состояниях

В каждом из состояний системы возможно выполнение тех или иных действий, таких как включение или отключение коммутационных аппаратов, установка величины задания и т. п. Некоторые из действий выполняются безусловно, например, в состоянии аварии выдается команда на отключение контактора. Другие действия в текущем состоянии могут выполняться при выполнении дополнительных условий.

На рисунке 2.24 приведен программный код, определяющий действия в состоянии 1 «Не готов».

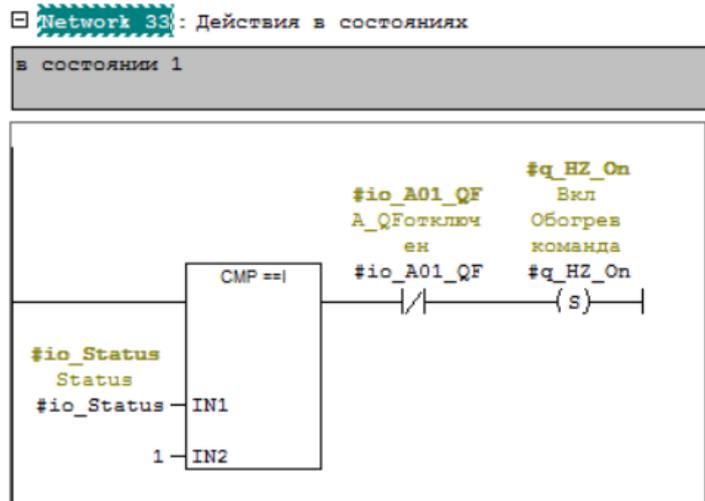


Рисунок 2.24 – Включение обогревателя в состоянии 1 «Не готов»

Если в этом состоянии будет включен автоматический выключатель, то устанавливается команда включения обогревателя.

Рабочая строка программного кода, представленная на рисунке 2.25, определяет действия системы управления в состоянии 2 «стоит между датчиками положения (H) и (L)». В этом состоянии безусловно выдается команда

включения обогрева, а для выдачи команд «Открыть» или «Закреть» необходимо выполнение ряда условий, представленных логическими цепями с дискретными переменными.

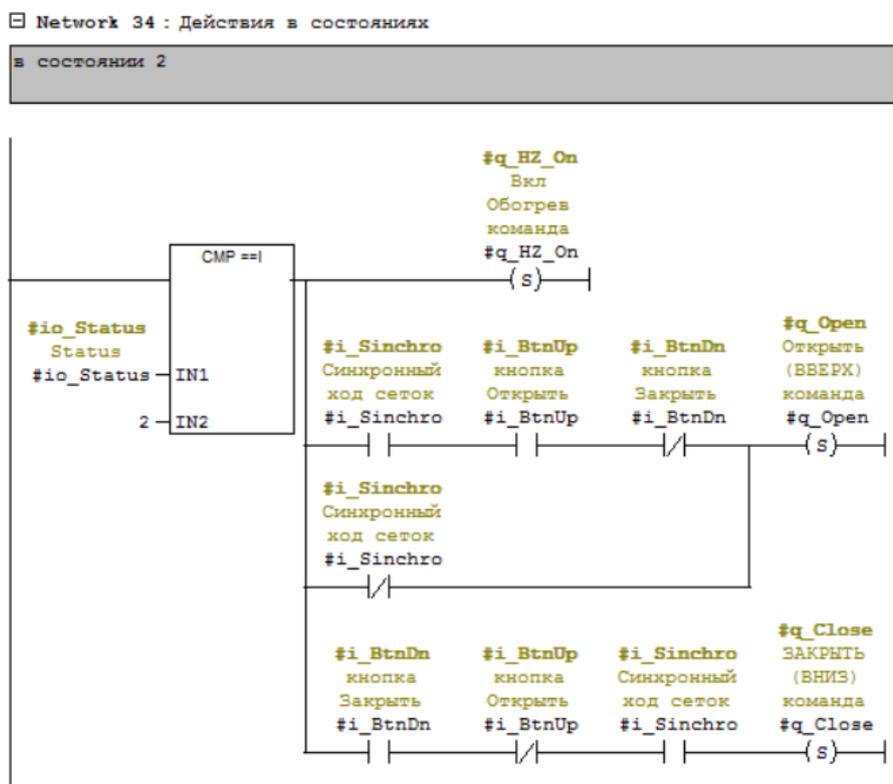


Рисунок 2.25 – Фрагмент программного кода на языке LAD. Команды управления, выдаваемые в состоянии 2

## 2.8. Выводы по работе

При написании выводов к курсовой работе необходимо придерживаться строгой структуры и логической последовательности изложения. В выводах следует сосредоточиться на обобщении результатов, полученных в процессе работы. Следует указать, какие задачи были выполнены и что для этого было сделано. Необходимо привести краткое обоснование принятым решениям при выполнении работы.

### 3. ПРИМЕР ЗАДАНИЯ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задание на курсовую работу:

1. Проанализировать работу механизма. Определить состояния механизма и условия переходов между состояниями.
2. Разработать граф состояний механизма.
3. Разработать граф состояний механизма или процесса
4. Составить список необходимых переменных для реализации программы на ПЛК
5. Выбрать необходимые модули ввода/вывода
6. Составить программу для ПЛК на языке FBD или ST (на усмотрение студента). Среда программирования Step7.

В работе нужно составить программу для управления системой конвейеров. Структурная схема системы показана на рисунке 3.1

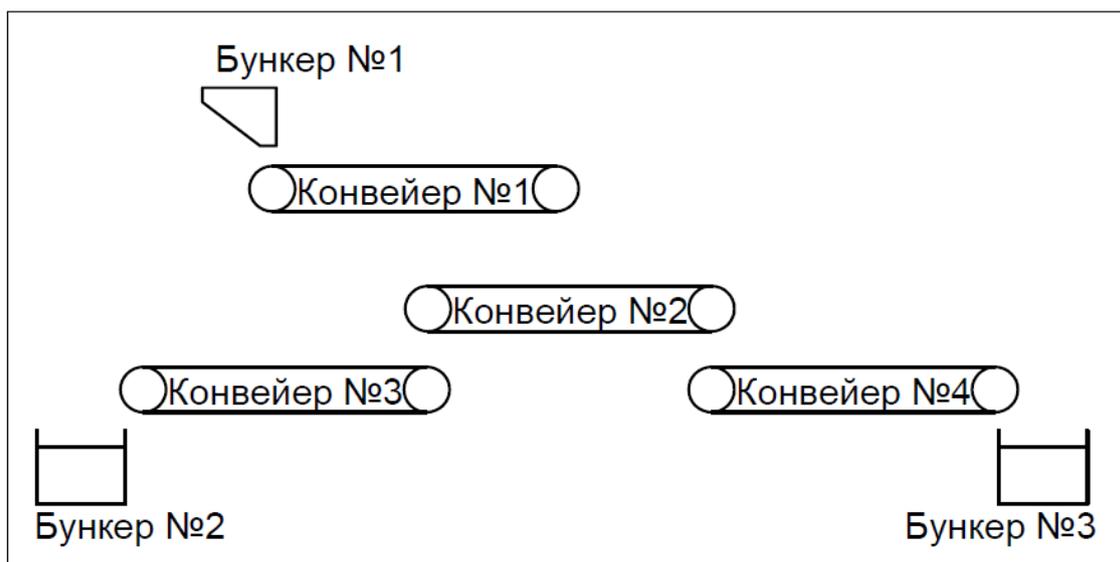


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы конвейеров

Система конвейеров выполняет передачу сыпучего материала из бункера № 1 в бункер № 2 или бункер № 3.

Привод конвейеров – прямой пуск асинхронного двигателя

Конвейеры № 1, 3, 4 – нереверсивные / контакторы 1КМ1, 3КМ1, 4КМ1

Конвейер № 2 – реверсивный / контакторы 2КМ1 и 2КМ2

По команде «Пуск загрузки в бункер № 2» ИЛИ «Пуск загрузки в бункер № 3»

- 1) включается конвейер № 3 ИЛИ включается конвейер № 4
- 2) затем через 5 сек включается конвейер № 2 ВЛЕВО/Вправо
- 3) затем через 3 сек включается конвейер № 1

4) затем через 2 сек открывается задвижка бункера № 1

По команде технологического останова:

1) закрывается задвижка бункера № 1

2) затем через 2 сек останавливается конвейер № 1

3) затем через 3 сек останавливается конвейер № 2

4) затем через 5 сек останавливается конвейер № 3 ИЛИ конвейер № 4

При аварии или при нажатии кнопки аварийного останова закрывается задвижка бункера №1 и все конвейеры останавливаются.

***Входные сигналы***

– контакт «задвижка бункера № 1 открыта»

– контакт «задвижка бункера № 1 закрыта»

– блок-контакты контакторов 1KM1, 2KM1, 2KM2, 3KM1, 4KM1

– кнопка Пуск загрузки в бункер № 2

– кнопка Пуск загрузки в бункер № 3

– кнопка Стоп загрузки. кнопка технологического останова загрузки.

– кнопка аварийного останова

***Выходные сигналы системы управления:***

– открыть/закрыть бункер № 1 – контактор привода задвижки KM0

пуск/стоп конвейеров – команды на включение/отключение контакторов 1KM1, 2KM1, 2KM2, 3KM1, 4KM1.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для разработки на основе графа состояний алгоритма управления технологическим объектом надо проанализировать режимы его работы, определить его состояния и переходы между состояниями. Необходимо иметь в виду, что в любой момент времени объект может находиться в одном и только в одном состоянии. Вид сформированного графа состояния будет зависеть как от технологических особенностей самого объекта, так и от предпочтений разработчика алгоритма управления.

Определение текущего состояния объекта (вершин графа состояния) выполняется на основании информации от входных сигналов системы управления, также может понадобиться информация о предыдущих состояниях системы управления.

Условия переходов (сигналы переходов) между состояниями (дуги графа) определяются логическими функциями, аргументами которых могут служить команды управления, сигналы датчиков (как дискретных, так и аналоговых), сигналы срабатывания таймеров и т. п. При разработке условий переходов следует обращать внимание на то, чтобы не создавалась неопределенная ситуация, когда становятся активными несколько условий перехода из текущего состояния.

Разработка программного кода для определения нового состояния может быть объединена с определением условий переходов, как это выполнено в рассмотренном примере. Также в случае сложного графа состояний применяется подход, когда отдельно выполняются определения логических функций условий переходов. Для определения нового состояния разрабатывается комбинационная функция (ФС); входными параметрами этой функции являются булевские значения сигналов переходов и номер текущего состояния системы управления; выход функции – номер нового (следующего) состояния.

Для каждого состояния надо определить выполняемые в этом состоянии действия системы управления. Это могут быть команды включения или отключения реле, контакторов, цифровых преобразователей электроприводов, сигнальных ламп и т. п. В некоторых состояниях может не выполняться никаких действий.

Во многих системах управления, например, таких как системы электропривода, определение состояний типа «Готов», «Работа» связано с некоторыми трудностями. Это связано с тем, что от подачи команды включения привода до собственно его включенного состояния проходит некоторое время, до 100–200 мс и более. Например, время втягивания катушкой контактора подвижного сердечника с силовыми контактами может составлять несколько десятков и сотен миллисекунд. Этого времени достаточно, чтобы управляющий контроллер выполнил несколько циклов своей программы. Если за условие перехода из состояния «Готов» в состояние «Работа» принять команду на включение контактора «Старт», а состояния «Готов» и «Работа» отличать по состоянию блок-контакта контактора, то в течении нескольких циклов

программы после выдачи команды будет неопределенность в оценке текущего состояния. Пока не замкнется пусковой контактор программа будет определять состояние как «Готов»; далее в соответствии с условием перехода (команда «Старт») состояние будет изменено на «Работа»; однако в следующий цикл программы вновь определится текущее состояние «Готов».

Подобные коллизии могут быть разрешены, например, введением в граф дополнительных состояний и/или применением таймеров.

Сигналы блокировок и аварий. Полезно каждую блокировку и аварию описывать отдельной переменной, что позволяет детализировать диагностику системы управления. Блокировки препятствует переходам между состояниями; в большинстве случаев это блокировки, препятствующие переходу системы управления из состояния покоя в состояния работы, движения. Сигналы аварии должны приводить к останову системы и «защелкиваться», например, путем применения RS-триггеров. Сброс аварии выполняется отдельной командой.

Включение в программу функционального блока системы управления режима имитации позволяет проверить работоспособность алгоритма без подключения полевых датчиков, также режим имитации полезен при проведении профилактических и ремонтных работ на объекте.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выпускная квалификационная работа бакалавров (ФГОС ВО 3++): методические указания для оформления и защиты по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / сост.: Н. С. Благодарный, В. И. Королев, В. Ю. Кузнецов, А. В. Кулапина, Е. В. Хардигов; ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2020. – 33 с.
2. Шалыто, А. А. Алгоритмизация и программирование задач логического управления / А. А. Шалыто; СПбГУ ИТМО. – СПб., 1998 – 56 с.
3. Программируемые контроллеры Simatic S7. 1-й уровень профессиональной подготовки S7-Prof1. – URL: [www.promautomatic.ru/](http://www.promautomatic.ru/).
4. Программируемые контроллеры Simatic S7. 2-й уровень профессиональной подготовки S7-Prof2. – URL: [www.promautomatic.ru/](http://www.promautomatic.ru/)
5. Андреев, С. М. Аппаратные средства и программное обеспечение промышленных контроллеров SIMATIC S7: методические указания для выполнения практических работ / С. М. Андреев, С. Н. Басков; Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск, 2018.
6. Руководство по программированию S7-1200/S7-1500. STEP 7 (TIA Portal) и STEP 7 Safety в TIA Portal. – URL: <http://www.siemens.com/simatic-programming-guideline>.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

---

**ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Институт заочного и вечернего обучения

Кафедра автоматизированного электропривода и электротехники

**Курсовая работа**

по дисциплине

**Программируемые логические контроллеры**

Выполнил студент учебной группы № 0-000 шифр 000-000  
Иванов Иван Иванович

Проверил к. т. н., доцент Иванов Иван Иванович

**Санкт-Петербург  
2025**

Учебное издание

**Ковалёв Евгений Николаевич  
Ершов Кирилл Константинович**

**Программируемые логические контроллеры**  
**Курсовая работа**

*Учебно-методическое пособие*

Редактор и корректор А. А. Чернышева  
Техн. редактор А. А. Чернышева

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:  
электронное устройство с программным обеспечением  
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
– Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 28.12.2024 г. Рег. № 5347/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.