

Принципы и методологические основы построения программных систем логического управления технологическим оборудованием

Цель работы:

Повышение эффективности функционирования систем логического управления за счет формализации и инструментальной поддержки процессов их проектирования и программной реализации.

Задачи работы:

1. Проанализировать современные системы логического управления, выявить тенденции и перспективы их развития;
2. Разработать теоретические основы для описания моделей построения программных систем логического управления технологическим оборудованием;
3. Создать формальный аппарат построения подсистемы программирования и исполнительного ядра системы логического управления технологическим оборудованием;
4. Разработать методологические основы построения систем логического управления технологическим оборудованием;
5. На базе теоретических и методологических основ построения систем логического управления разработать практические аспекты реализации систем логического управления конкретным технологическим оборудованием.

Научная новизна (слайд 1)

1. Установлены и впервые формализованы взаимосвязи между характеристиками технологического оборудования и задачами, функциями, параметрами систем логического управления технологическим оборудованием, влияющими на структуру системы управления и определяющими состав программно-аппаратных модулей логических контроллеров, как основного инструментария автоматизации.
2. На основе установленных взаимосвязей разработаны модели систем логического управления, отличающиеся от известных, тем что ориентированы не на автоматизацию автономного технологического оборудования, а на его интеграцию в цифровые производства, обеспечивают кроссплатформенную реализацию и составляют теоретические основы проектирования систем логического управления, которые предполагают последовательную трансформацию моделей для получения полного описания системы.
3. Разработаны теоретические основы построения исполнительного ядра систем логического управления технологическим оборудованием, с применением комплекса решений из смежных областей: клиент-серверной архитектуры для подключения терминальных клиентов, механизма разделяемой памяти для взаимодействия с аппаратными входами/выходами в режиме жесткого реального времени и автоматной парадигмы программирования с реализацией машины состояний в виде конечного автомата.

Научная новизна (слайд 2)

4. Разработаны теоретические основы построения среды программирования систем логического управления технологическим оборудованием согласно стандарту МЭК 61131- 3, которые предполагают использование расширяемого языка разметки XML для формализованного описания программы логического управления и конфигурации аппаратных устройств.

5. Разработан методологический базис построения современных систем логического управления, соответствующий требованиям предъявляемым международными стандартами, обеспечивающий, в отличие от известных, возможность применения: аппаратных модулей ввода/вывода использующих промышленные протоколы связи, стандартных средств операционных систем, стандартных и оригинальных инструментальных средств реализации программ логического управления.

6. Предложена методология построения систем логического управления технологическим оборудованием, содержащая:

- формализованный процесс выбора аппаратных средств проектирования систем логического управления;
- способы создания программ логического управления на основе систематизированных математических методов проектирования программ логического управления;
- расширенную, по сравнению с традиционной, методику построения систем управления, с добавлением шагов по: адаптации моделей системы управления под конкретный технологический объект, разработке сетевой структуры системы управления и настройке режимов отображения экрана оператора.

Место систем логического управления в классификации систем управления

Тип системы управления

Область применения

Вид системы управления

Системы автоматического регулирования

Системы программного управления

Системы адаптивного управления

Робастные системы

Интеллектуальные системы управления

Системы управления технологическим оборудованием

Системы управления производством

Системы управления бизнес-процессами

Системы управления в медицине

Системы Числового Программного Управления

Системы управления роботами

Программируемые Логические Контроллеры

Программируемые контроллеры автоматизации (РАС)

Системы управления безопасностью (Safety)

Системы управления движением (Motion Control)

Системы логического управления

Область применения систем логического управления для решения задач в режиме реального времени

Программируемые логические контроллеры (ПЛК):

- управление оборудованием;
- управление техпроцессами;
- управление цикловой электроавтоматикой;
- диагностика;
- др.

Программируемые контроллеры автоматизации (РАС):

- работа с данными;
- связь с Internet;
- связь с вычислительной сетью предприятия;
- др.

Преимущества единого подхода:

1. Унификация решений;
2. Использование единой ИТ инфраструктуры;
3. Функциональная совместимость (интероперабельность);
4. Минимизация затрат на разработку приложений и техническое обслуживание;
5. Упрощение процедуры обновления системы.



Контроллер движения (Motion Control):

- конвейеры ;
- технологическое оборудование (рев. головки, смена инструмента, погрузчик и др.)

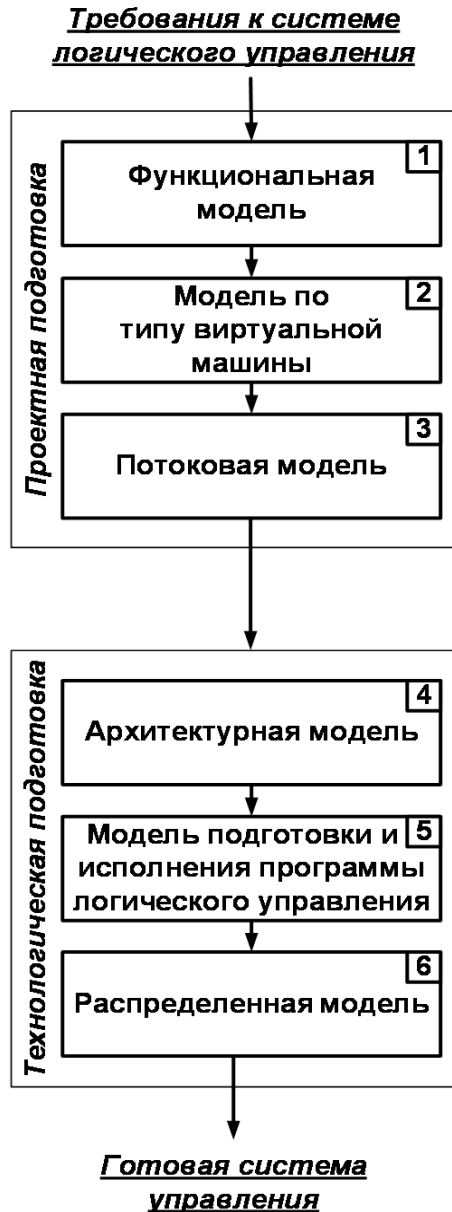
Контроллер безопасности (Safety):

- противоаварийная защита;
- промышленные роботы;
- контурная безопасность
- др.

Анализ систем логического управления различных производителей

Фирмы Параметры	Siemens	Rockwell	Bosch Rexroth	B&R	Mitsubishi	ОВЕН	FASTWEL	Opto 22	CoDeSys	Решение
Типы контроллеров	ПЛК, Soft PLC, PAC	ПЛК, Soft PLC, PAC	ПЛК	ПЛК, PAC	ПЛК, Soft PLC	ПЛК	ПЛК	PAC	Soft PLC	Soft PLC, PAC
Программно-аппаратная база	Ограниченная линейка контроллеров	Ограниченная линейка контроллеров	Ограниченная линейка контроллеров	Ограниченная линейка контроллеров	Ограниченная линейка контроллеров	Ограниченная линейка контроллеров	Ограниченная линейка контроллеров	Ограниченная линейка контроллеров	ПО без аппаратной платформы	Вариативная платформа
Интерфейсы связи	Ethernet	Ethernet, USB, слот для карт памяти microSD	Ethernet, USB, слот для SD карт	Ethernet, RS-232, USB	Ethernet, Melsec, USB, RS232, ...	Ethernet, RS-232, RS-485	CAN, RS-485, Profibus	Ethernet, RS-232	отсутствует	Ethernet, RS-232, RS-422, RS-485, USB, ...
Промышленные протоколы	Profibus, Profinet (закрытые протоколы)	EtherNet/IP, IO-Link	SERCOS, Profibus, Profinet, DeviceNET	Powerlink	MelsecNET, CC-Link, CC-Link IE, SSCNET	ОВЕН, Modbus, DCON	CAN, Modbus, Profibus	EtherNet/IP, PPP, Modbus, OptoMMP	SERCOS, EtherCAT, ...	SERCOS, EtherCAT, Modbus, CAN
Протоколы общего назначения	TCP/IP	TCP/IP	TCP/IP	Поддерживаемые ПК	TCP/IP	отсутствует	отсутствует	TCP/IP, SNMP, SMTP	Поддерживаемые ПК	Поддерживаемые ПК
Языки программир., МЭК 61131-3	LD, FBD, IL	LD, ST, FBD	FBD, LD, IL, ST, SFC, CFC	IL, ST, LD, FBD, SFC, C, CFC, ABasic	FBD, LD, IL, ST, SFC	FBD, LD, IL, ST, SFC, CFC	FBD, LD, IL, ST, SFC, CFC	Flowchart (не стандарт МЭК 61131-3)	FBD, LD, IL, ST, SFC, CFC	FBD
Инструмент. разработки	Simatic STEP7	STUDIO 5000	IndraWorks (на базе CoDeSys)	Automation Studio	GX Works2	CoDeSys 2.3	CoDeSys 2.3	PAC Project	CoDeSys	FBEdition (собствен. разработка)

Схема последовательной трансформации моделей системы логического управления



- *Определены основные функции системы*
- *Выявлены компоненты, реализующие функции*
- *Определена многоуровневая структура системы*
- *Выявлены зависимости между платформой и прикладной компонентой*
- *Обеспечена портируемость применением кроссплатформенной библиотеки*
- *Проведена систематизация основных потоков данных системы логического управления*

Выбор среды и средств производства

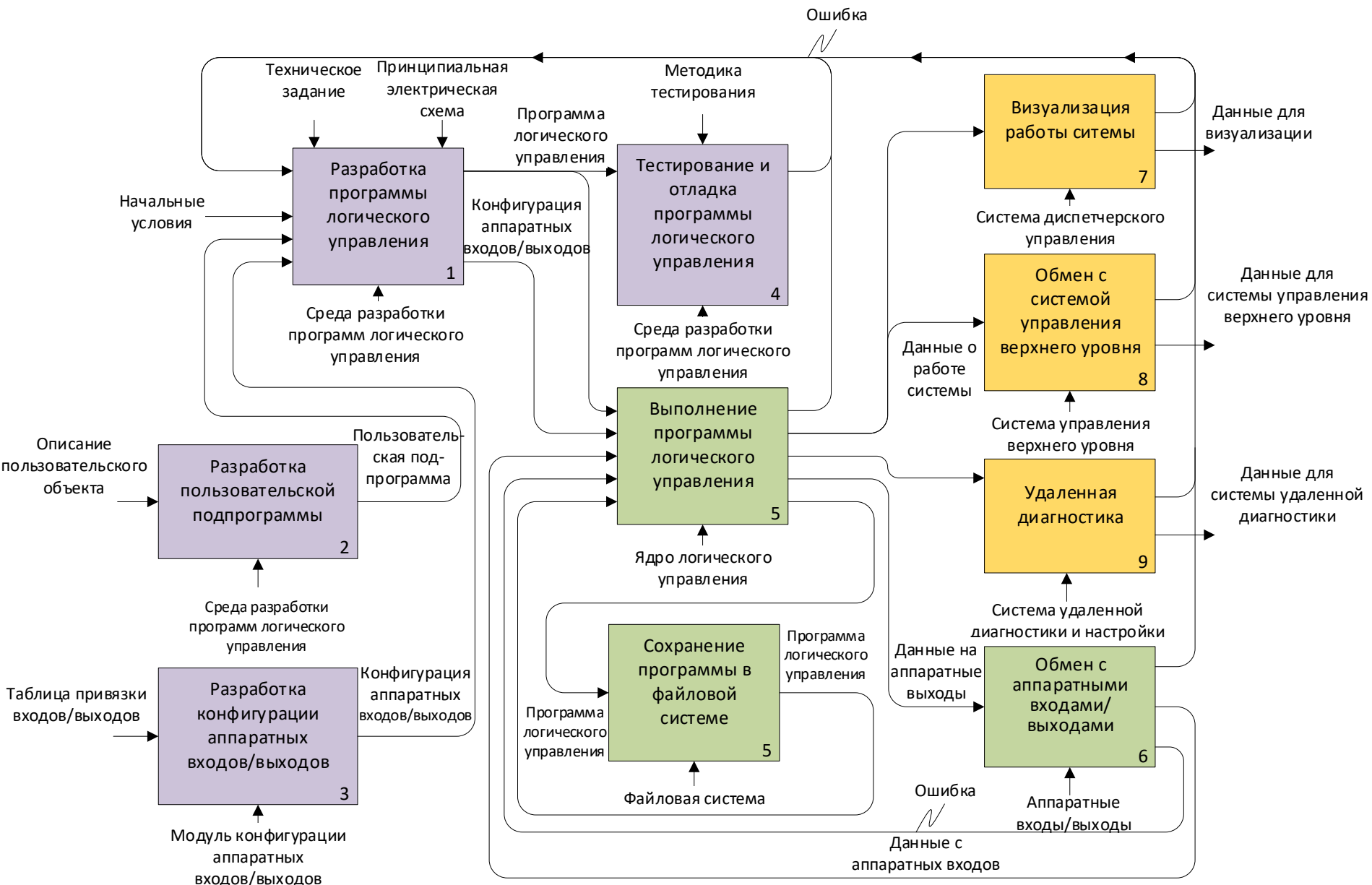
- *Определена структура системы логического управления*
- *Выявлены взаимосвязи между объектами системы логического управления*

- *Определена привязка компонент системы управления к фазам процесса управления*

- *Определена схема функционирования системы управления в условиях распределения вычислительных ресурсов*

Изготовление

Функциональная модель системы логического управления в нотации IDEF 0 (шаг 1)



Модель системы логического управления по типу виртуальной машины (шаг 2)

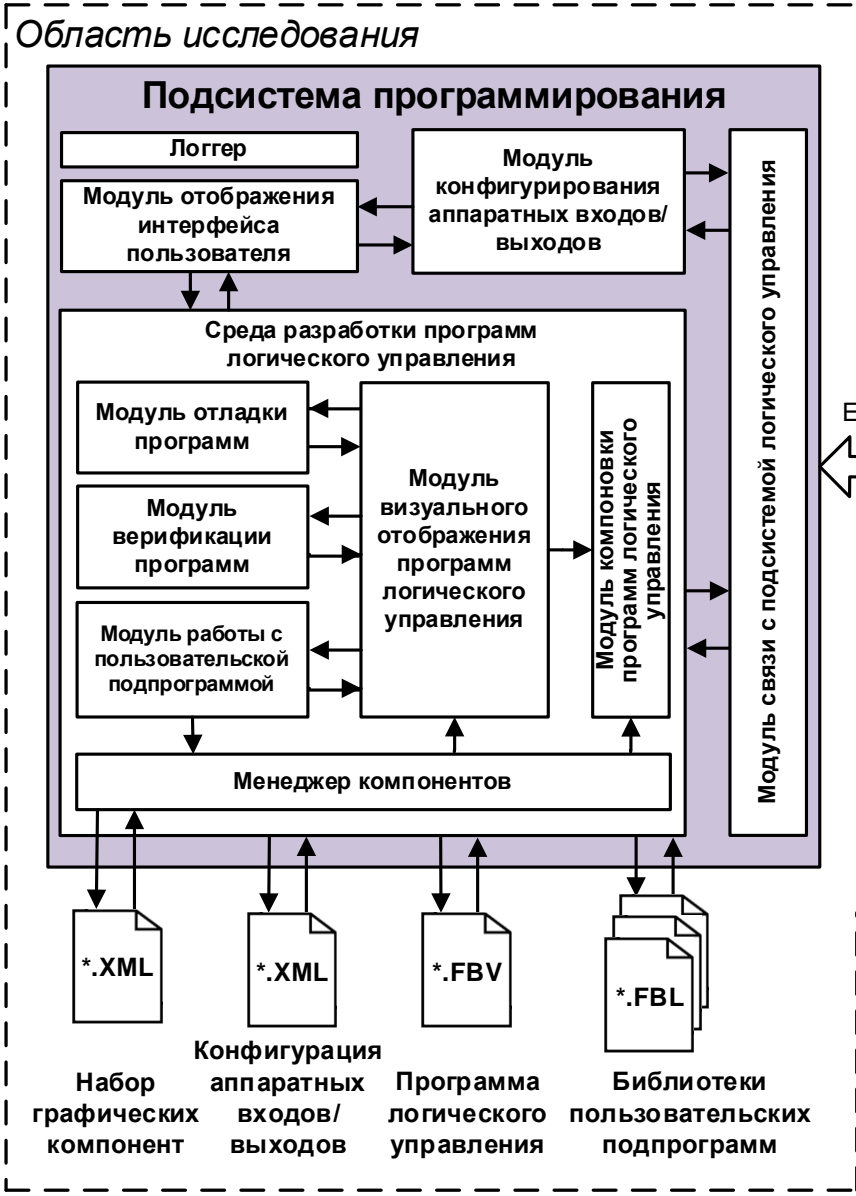


Диаграмма потоковой модели системы логического управления верхнего уровня (шаг 3)



Архитектурная модель системы логического управления (шаг 4)

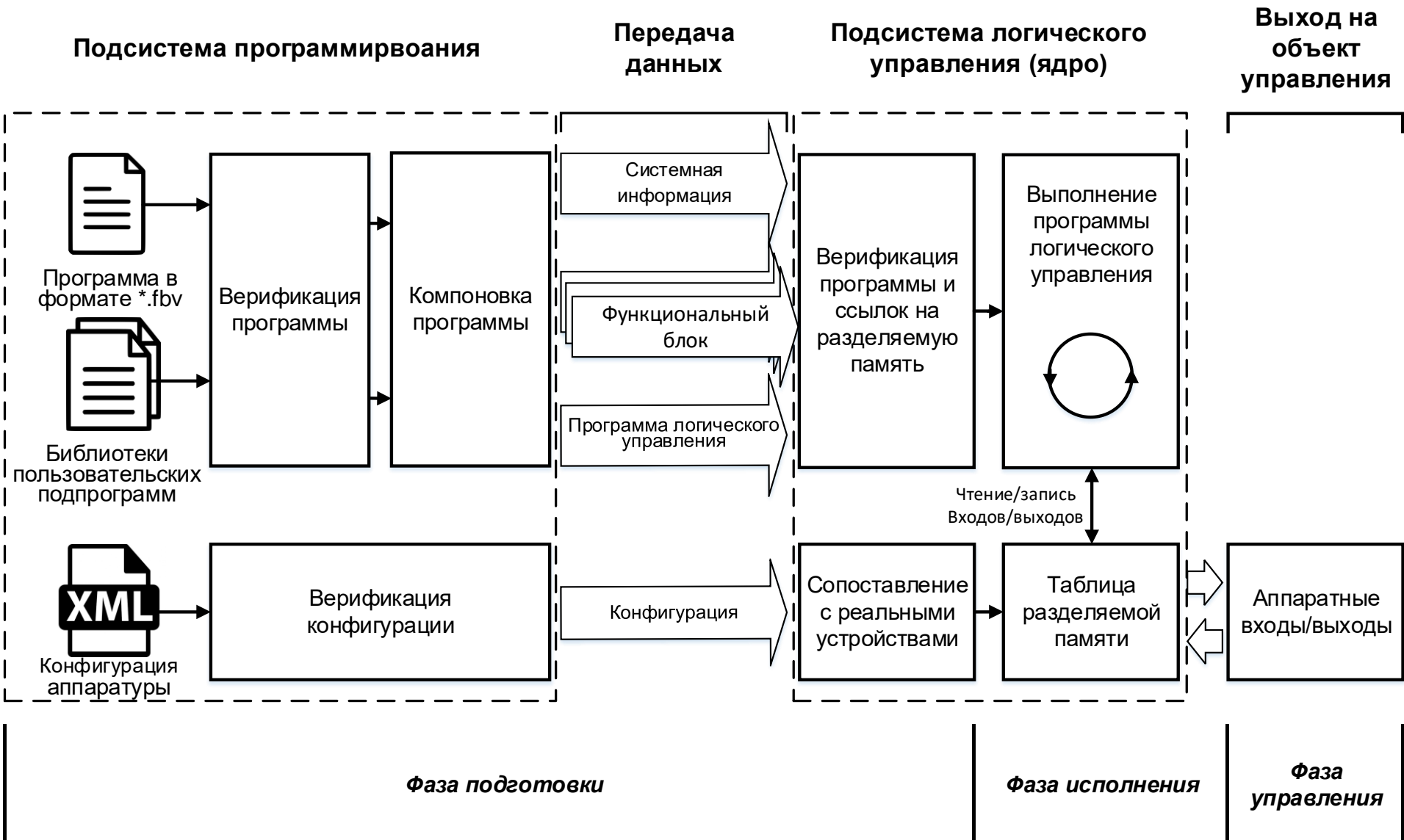
Внешняя система управления



Ethernet



Модель подготовки и исполнения программы логического управления (шаг 5)

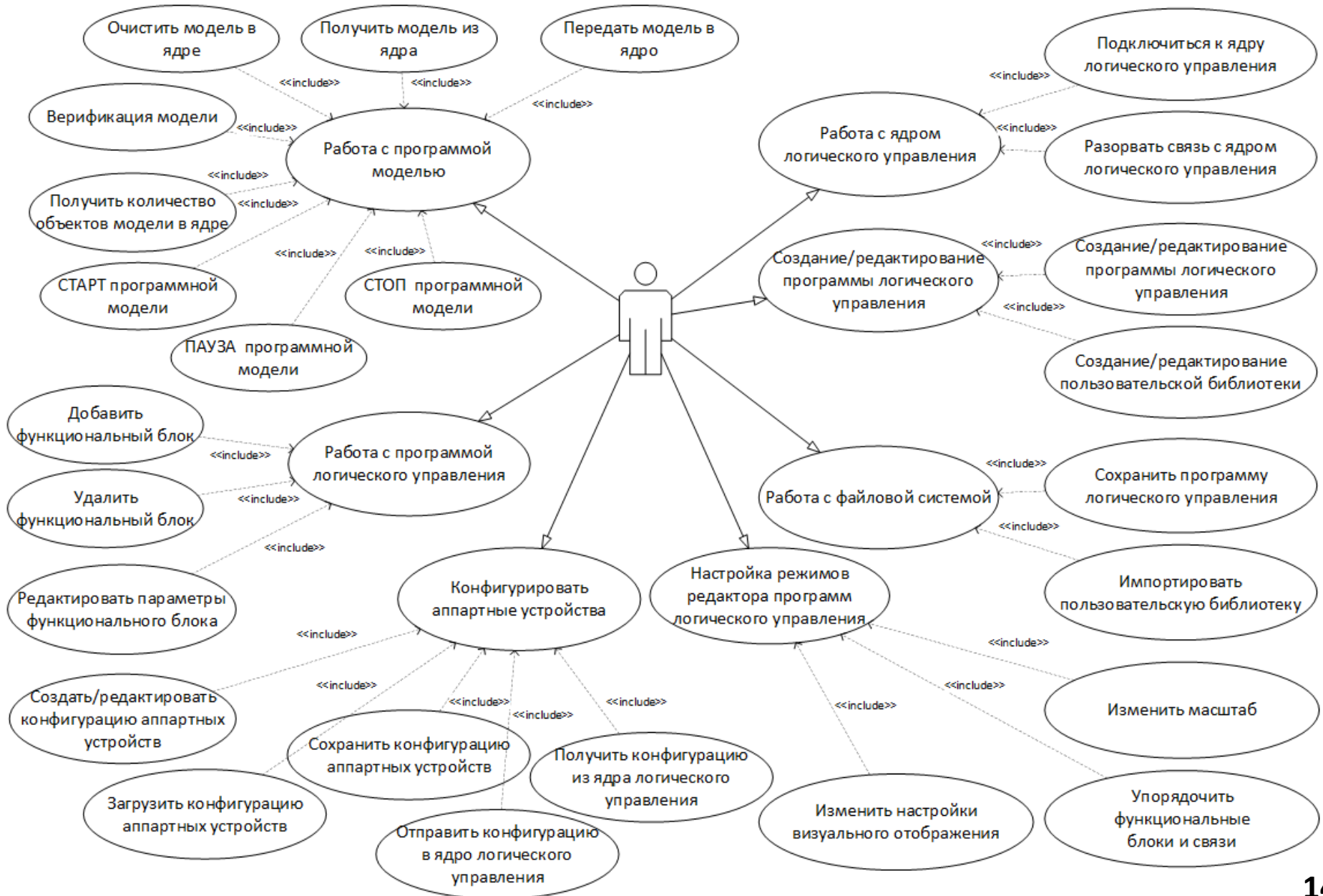


Распределенная модель системы логического управления (шаг 6)

Распределенное выполнение задач во внешних системах управления



Диаграмма прецедентов среды разработки программ логического управления



Интерфейс среды разработки программ логического управления, XSD-схема описания обобщенного функционального блока

Разработка программы логического управления

Схема описания обобщенного функционального блока

ID	Тип объекта	Имя
1	qMcommand1	
2	IN	Chan...
3	UNPACK	
4	PACK	
5	UNP_PACK	
6	UNP_PACK	
7	CONNECT	-
8	CONNECT	-
9	CONNECT	-
10	CONNECT	-
11	CONNECT	-
12	CONNECT	-

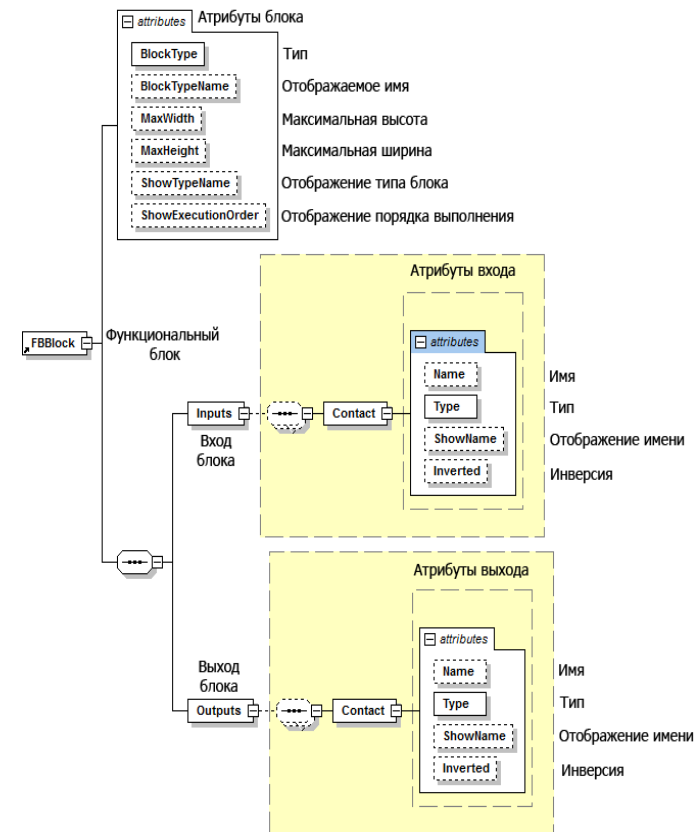
Имя объекта
Описание объ...
2. Графические параметр...
X 540
Y -25
3. Параметры блока
Количество в: 16
Количество в: 0
Прочее
ProducerBlock
SubVersionBlo: 0
VersionBlock: 1
3. Параметры блока

Панель объектов

Основное окно редактора программ

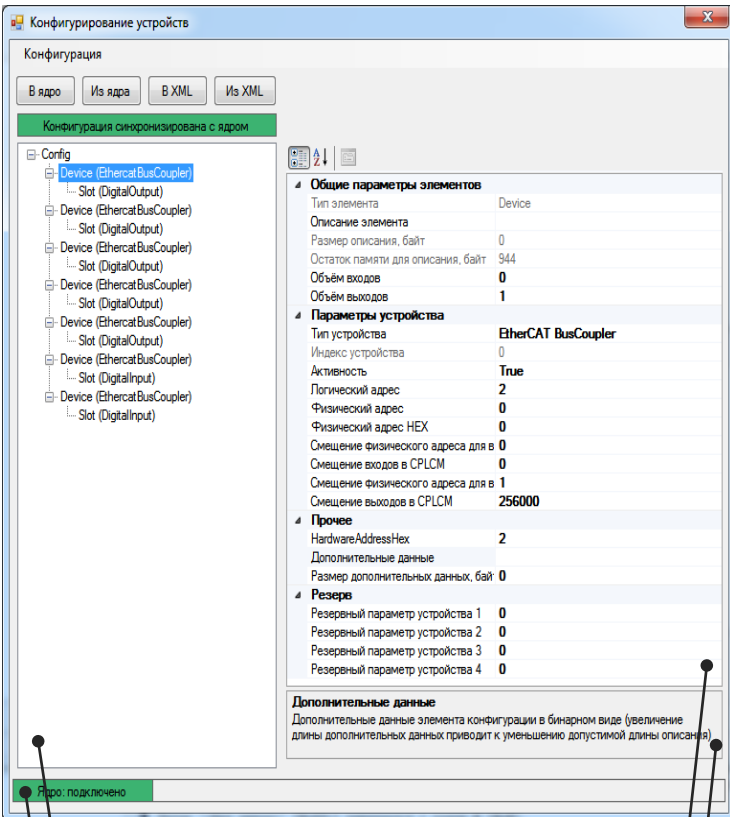
Строка состояния запуска программы

Панель свойств добавленных объектов



Настройка конфигурации аппаратных входов/выходов, XSD-схема файла конфигурации аппаратных входов/выходов

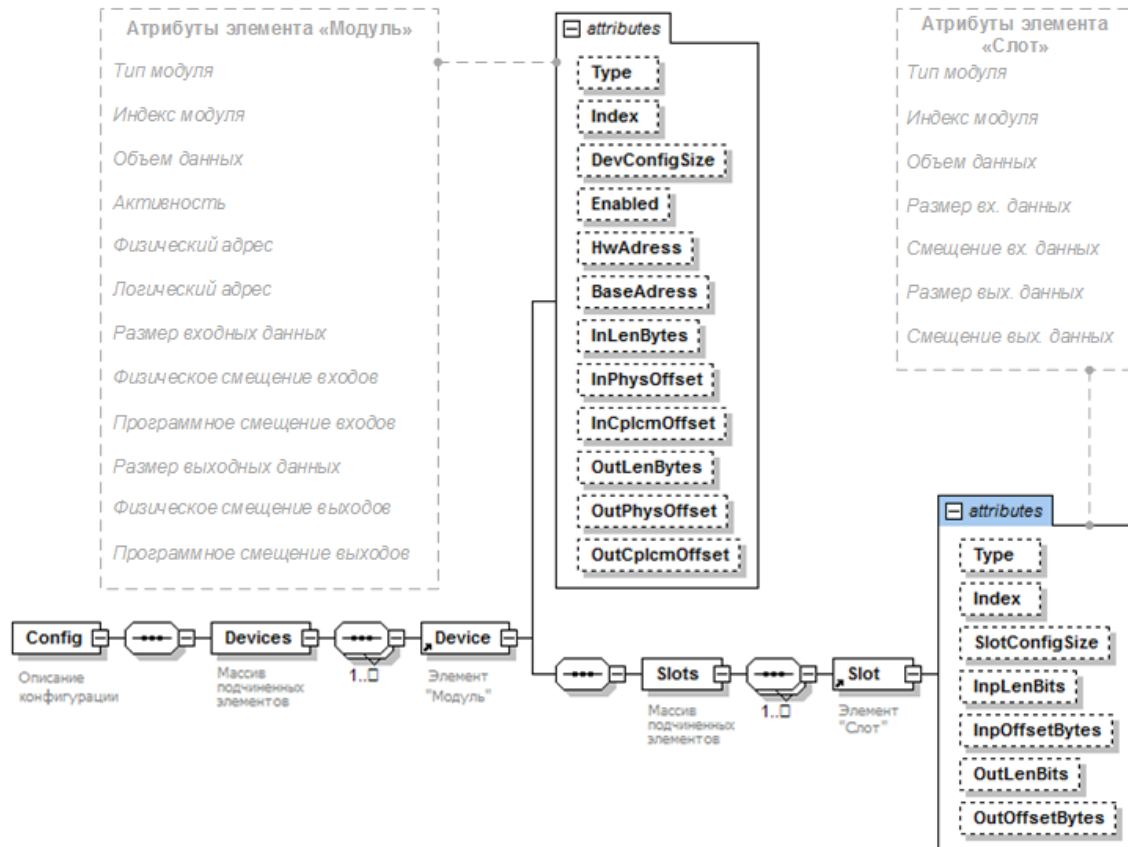
Интерфейс конфигурирования аппаратных входов/выходов



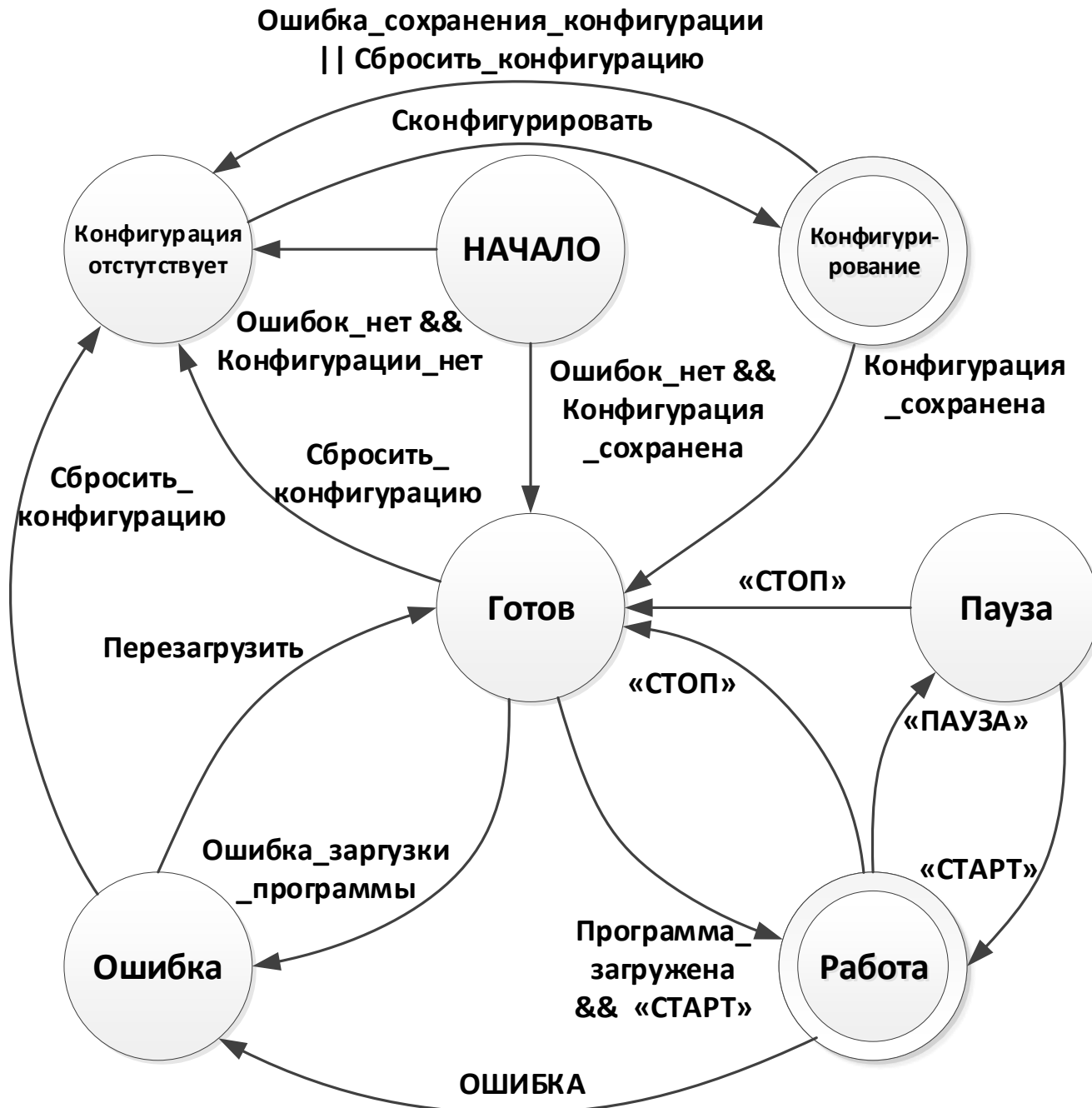
Дерево конфигурации оборудования Панель настройки устройств и слотов

Состояние подключения к ядру Справочная информация

Схема описания конфигурации аппаратных входов/выходов



Машина состояний ядра системы логического управления



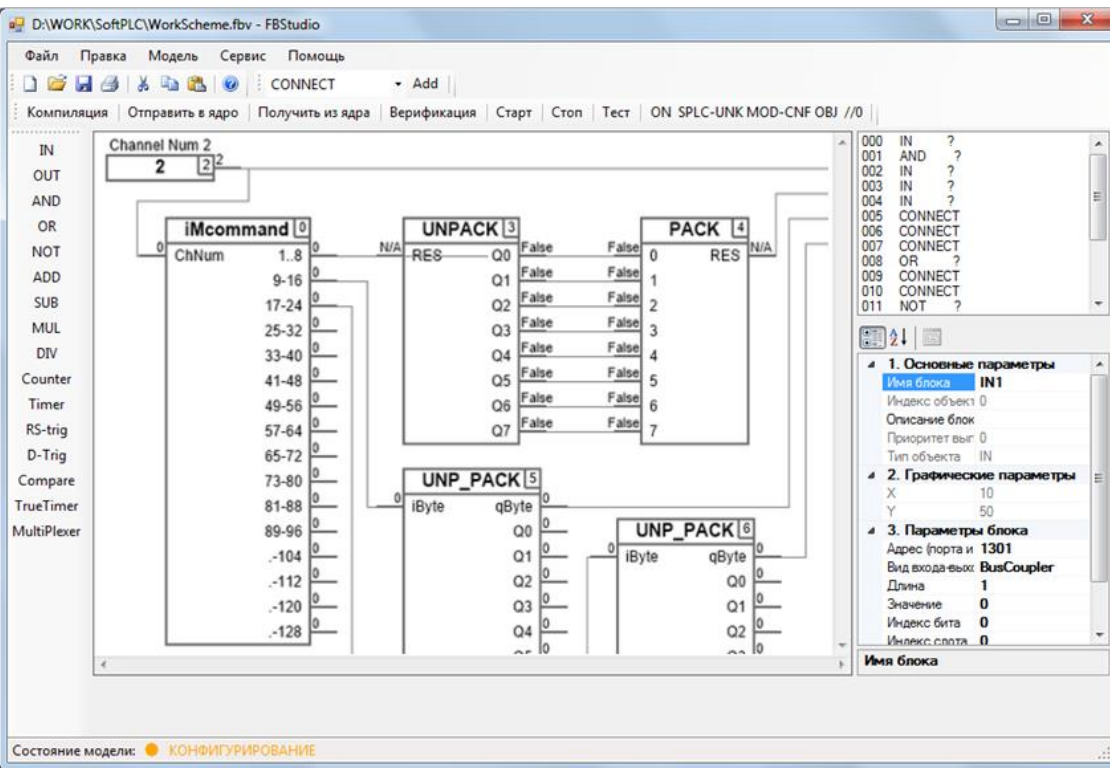
Реализация машины состояний ядра системы логического управления

Отдельные состояния модели машины состояний	Отдельные состояния программной реализации машины состояний	Описание состояния
Начало	SOFT_PLC_UNK_C = 0	Начальное состояние после загрузки ядра
Конфигурация отсутствует	SOFT_PLC_NO_CFG_C = 1	Конфигурация в ядре не сохранена
Создать конфигурацию	SOFT_PLC_CREATE_CFG_C = 2	Состояние создания конфигурации
Готов	SOFT_PLC_READY_C = 3	Состояние готовности
Работа	SOFT_PLC_RUN_C = 4	Программа логического управления запущена
Пауза	SOFT_PLC_PAUSE_C = 5	Программа логического управления временно приостановлена
Ошибка	SOFT_PLC_ERROR_C = 13	Возникла ошибка при работе ядра системы логического управления

```
enum SoftPlcNcStates
{
    SOFT_PLC_UNK_C = 0,
    SOFT_PLC_NO_CFG_C = 1,
    SOFT_PLC_CREATE_CFG_C = 2,
    SOFT_PLC_READY_C = 3,
    SOFT_PLC_RUN_C = 4,
    SOFT_PLC_PAUSE_C = 5,
    SOFT_PLC_ERROR_C = 13
};
...
switch (this._soft_plc_state)
{
    case SoftPlcNcStates.SOFT_PLC_RUN_C:
        ...
        return;
    case SoftPlcStates.SOFT_PLC_CREATE_CFG_C:
        ...
        return;
    case SoftPlcNcStates.SOFT_PLC_READY_C:
        ...
        return;
    default:
        ...
        return;
}
```

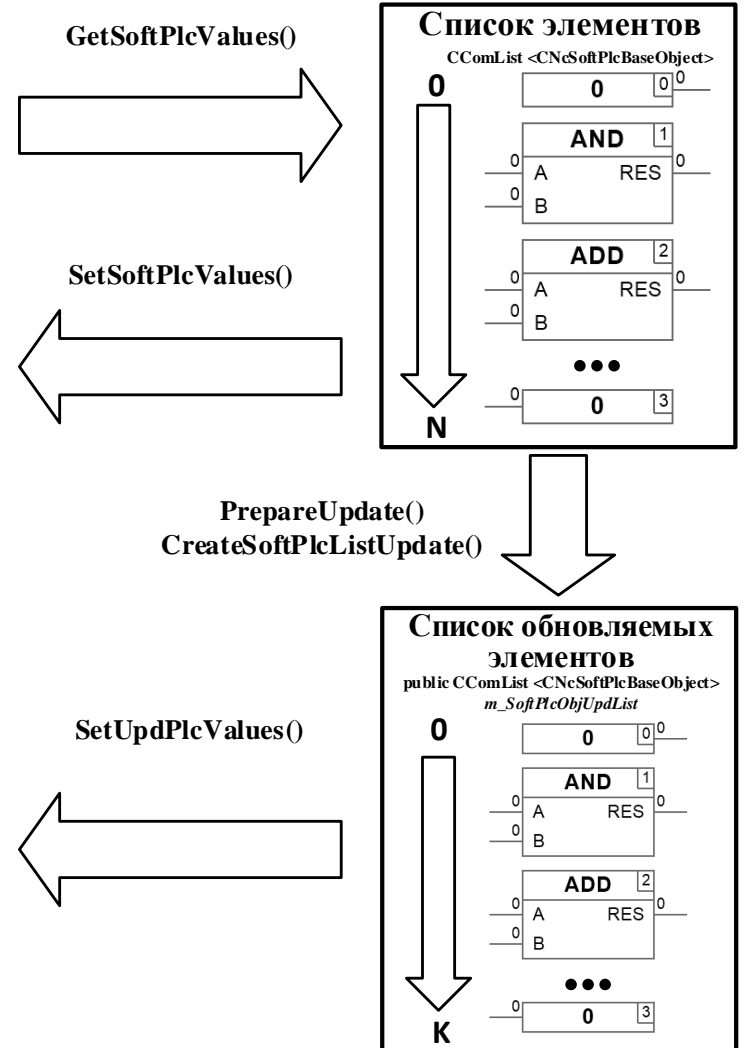
Механизм передачи и обновления программы логического управления

Подсистема программирования

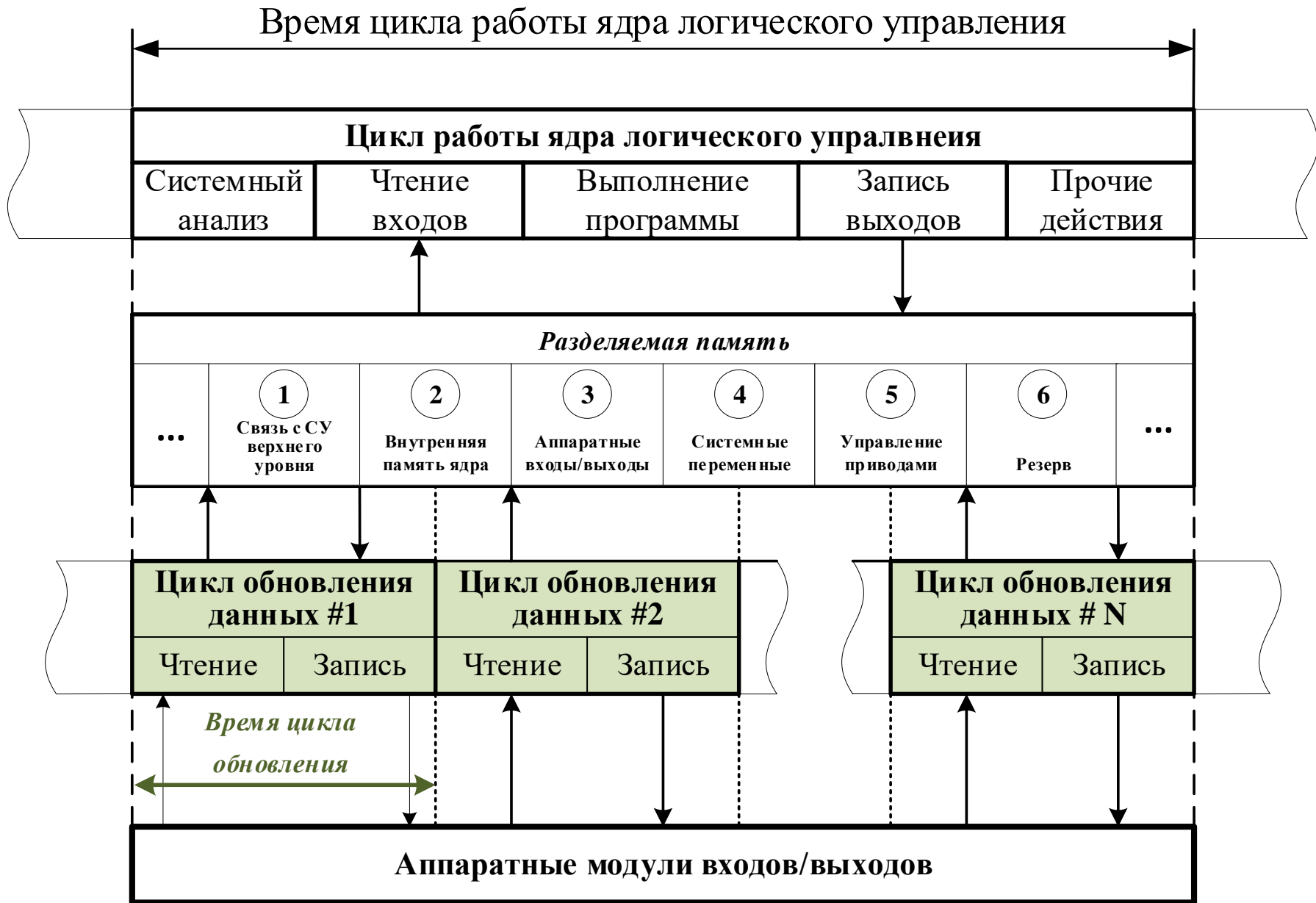


Для больших проектов $N \gg K$

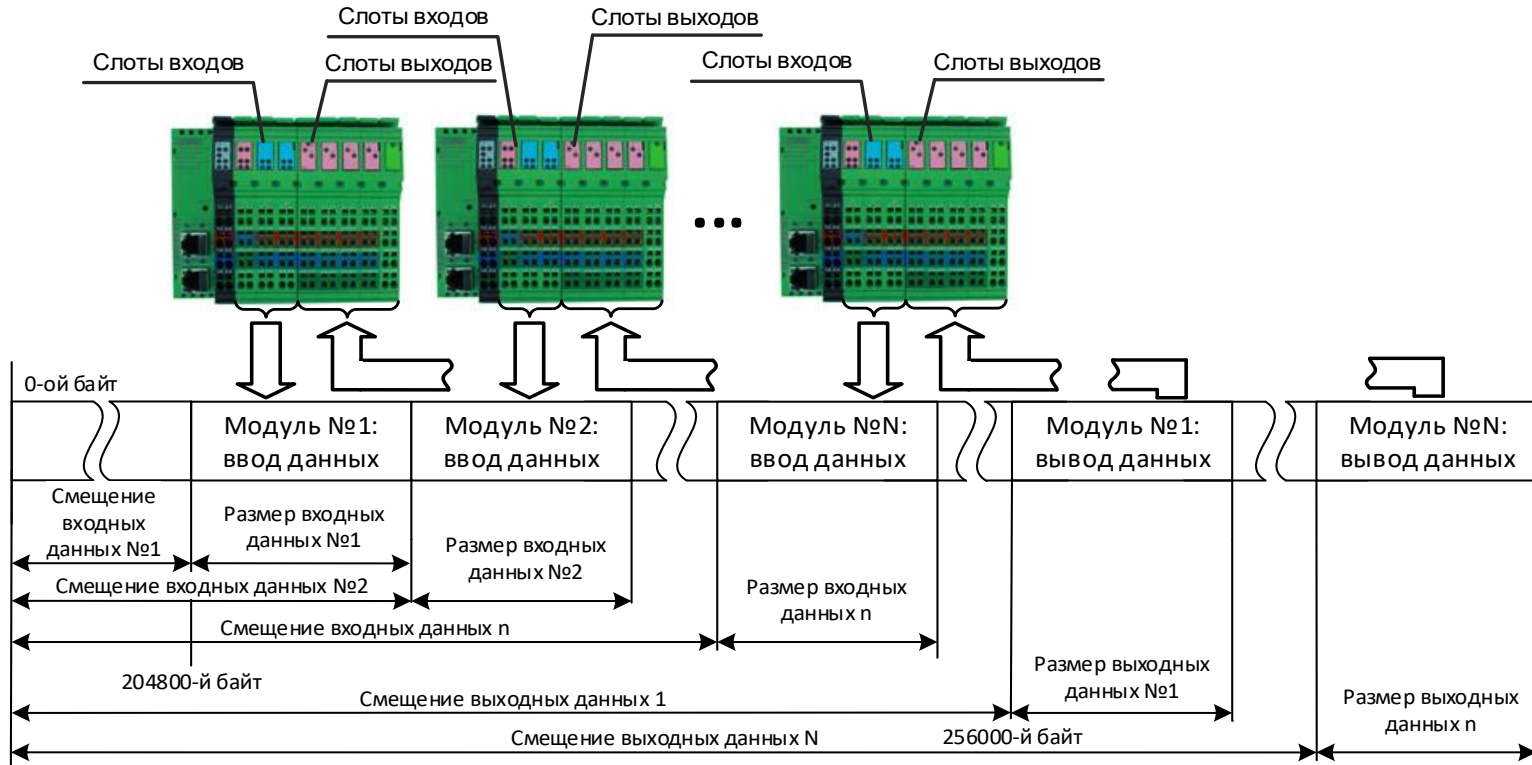
Подсистема логического управления



Циклы обновления данных в разделяемой памяти



Принцип формирования адресного пространства ядра



S_S - размера пакета данных слота.

O_S - смещения начального байта данных слота относительно начального байта головного модуля

$$(O_S)_{ij} = \sum_{k=1}^{j-1} (S_S)_{ik}$$

$$(O_S)_{i(j+1)} = (O_S)_{ij} + (S_S)_{ij}$$

Off_I - начало отсчета байт входных данных модуля ввода/вывода относительно нулевого байта разделяемой памяти

Off_Q - начало отсчета байт выходных данных модуля ввода/вывода относительно нулевого байта разделяемой памяти

$$(S_D)_i = \sum_{j=1}^{n_i} (S_S)_{ij}$$

S_D - общий размер пакета данных головного модуля ввода/вывода

O_D - смещение начального байта данных головного модуля ввода/вывода относительно начального байта разделяемой памяти

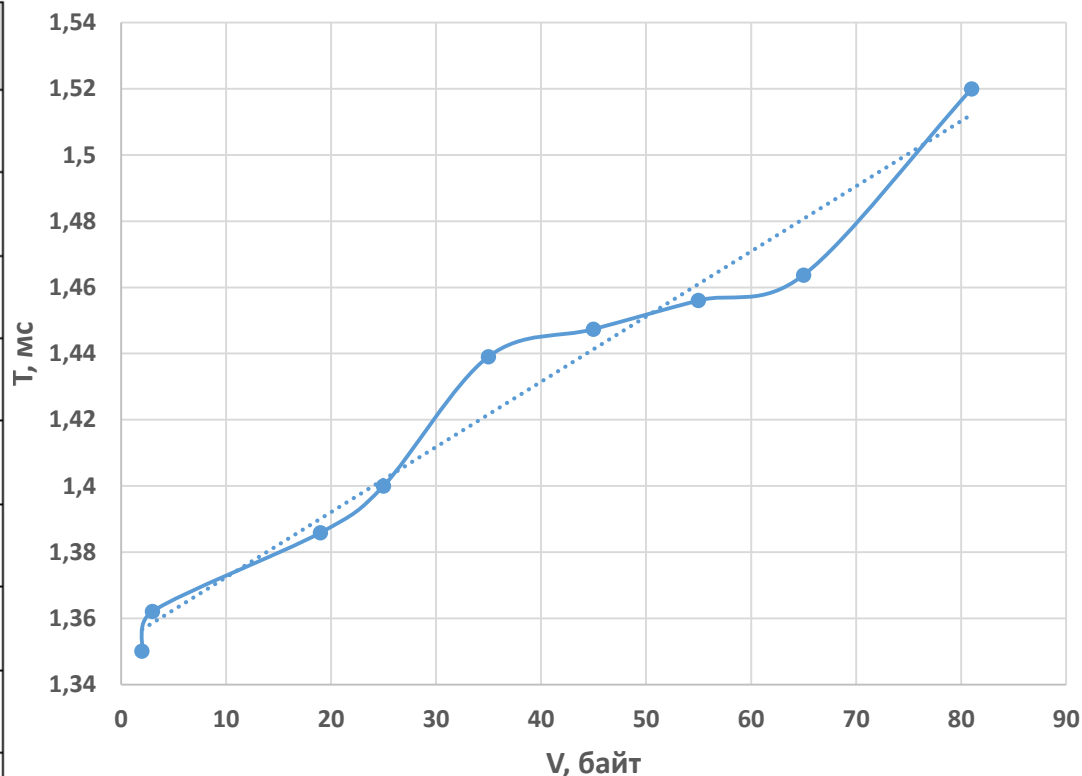
$$(O_D)_i = Off + \sum_{p=1}^{i-1} (S_D)_p$$

N - порядковый номер байта данных j -ого слота i -ого модуля в разделяемой памяти

$$N_{ij} = (O_D)_i + (O_S)_{ij}$$

Экспериментальная проверка зависимости периода цикла обмена данными от объема передаваемых данных

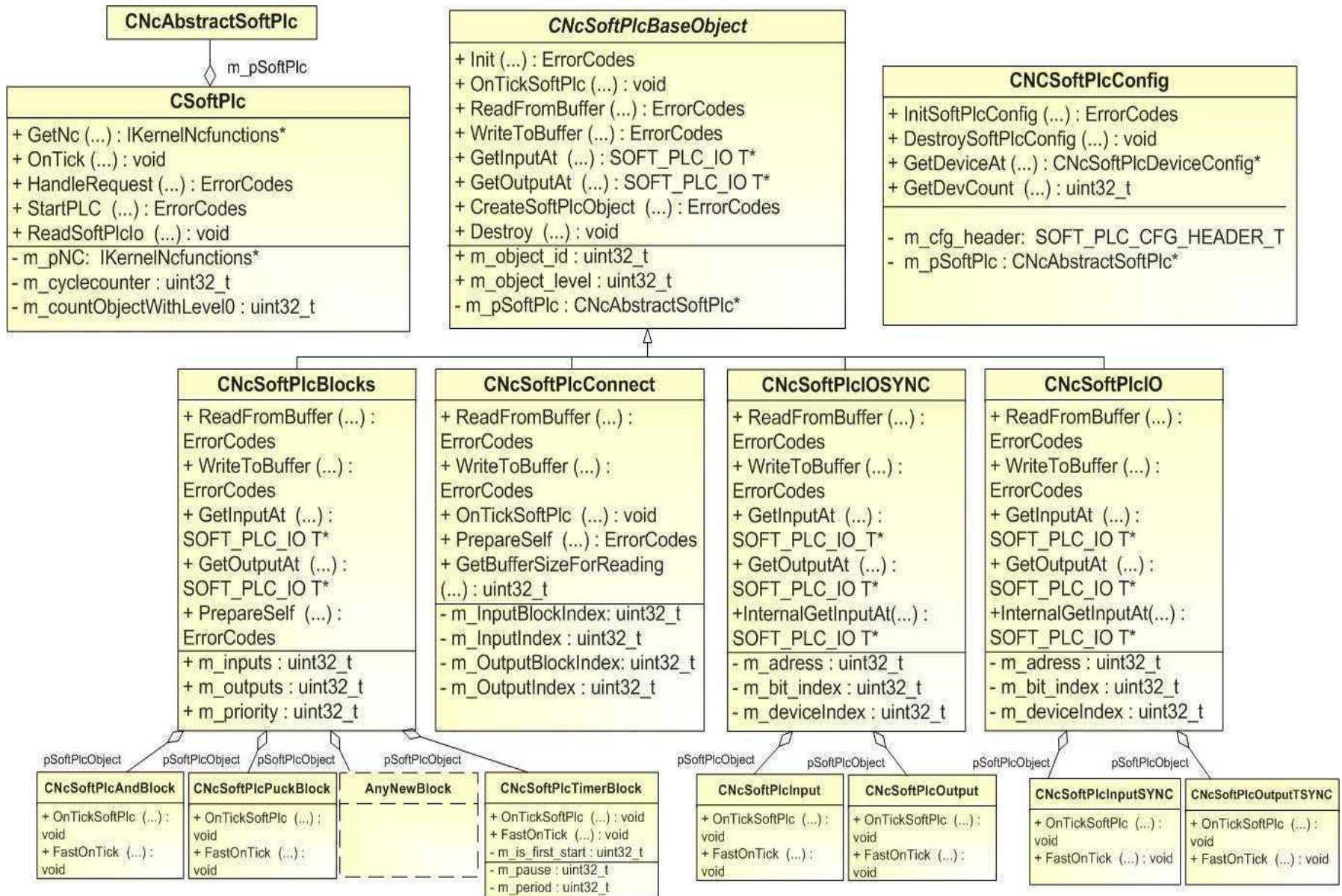
№	V _n , байт	T _n , мс
1	2	1,3501011
2	3	1,3621001
3	19	1,3859003
4	25	1,4000231
5	35	1,4391001
6	45	1,4473841
7	55	1,4560454
8	65	1,4637351
9	81	1,5199871



Зависимость, полученная экспериментально, близка к линейному закону, который выражается формулой $T = aV + b$. Коэффициенты для функции, описывающей полученную прямую, вычислены путем аппроксимации по методу наименьших квадратов

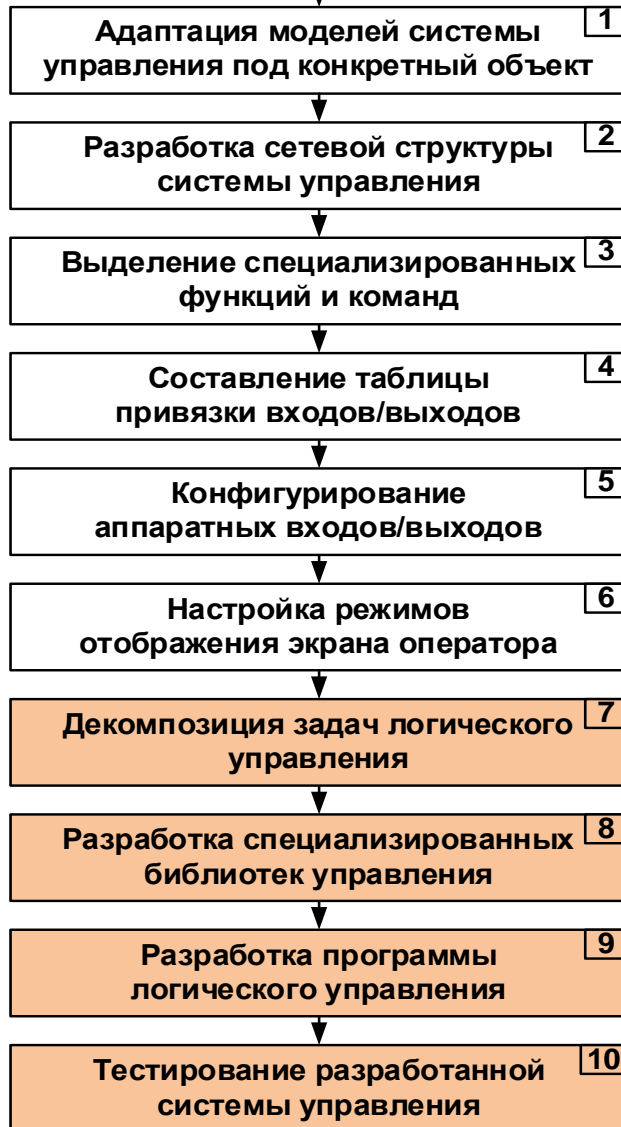
$$T = (0,001969 V + 1,352724) \pm 0,000087$$

Диаграмма классов в нотации UML подсистемы логического управления



Методика привязки системы логического управления к объекту

Техническое задание на разработку системы управления



Готовая система логического управления

Набор моделей для построения программных систем логического управления конкретным технологическим оборудованием

Структура системы логического управления с выделением на ней используемых сетей и протоколов связи

Набор специализированных функций и команд, характерный для конкретного технологического оборудования

Таблица привязки аппаратных входов/выходов для связи системы логического управления с конкретным технологическим оборудованием

Файл конфигурации аппаратных входов/выходов в формате “.bin” или “*.xml”*

Набор изображений, текстовых сообщений и алгоритмов визуализации для отображения на экране оператора системы логического управления

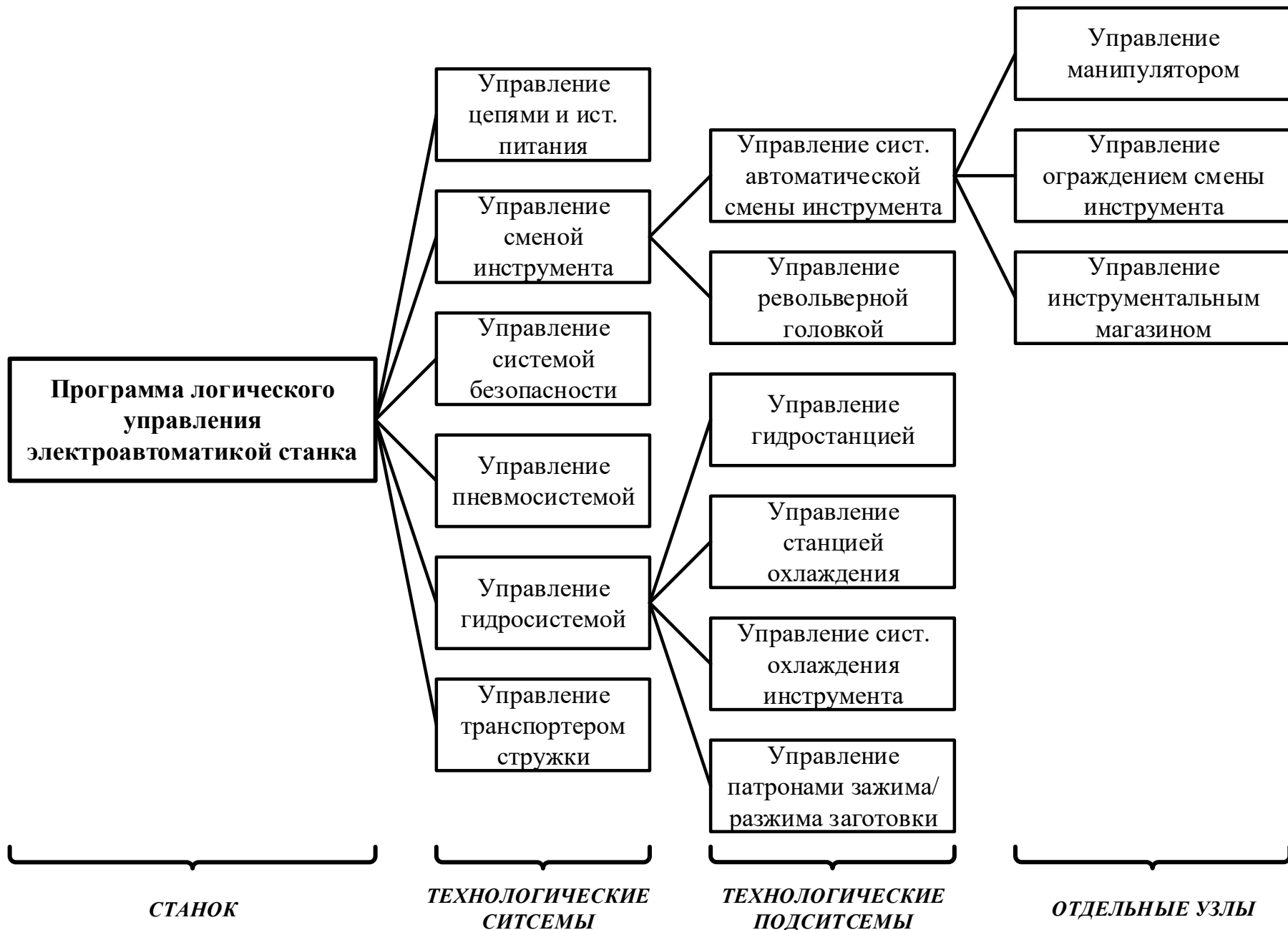
Набор задач по управлению конкретным технологическим оборудованием

Библиотека пользовательских функциональных блоков для управления конкретным технологическим оборудованием

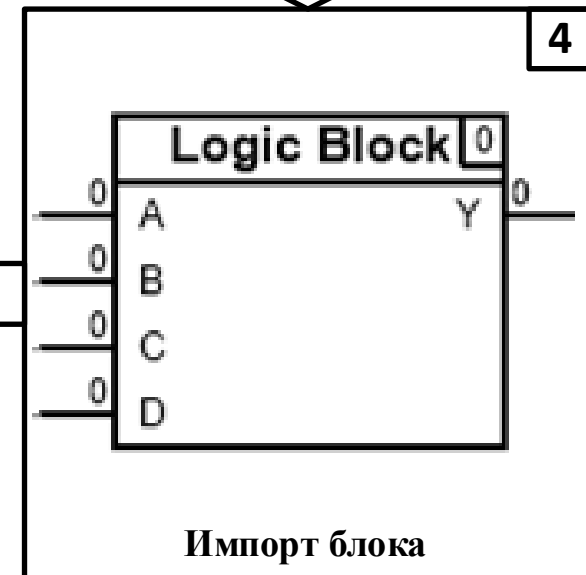
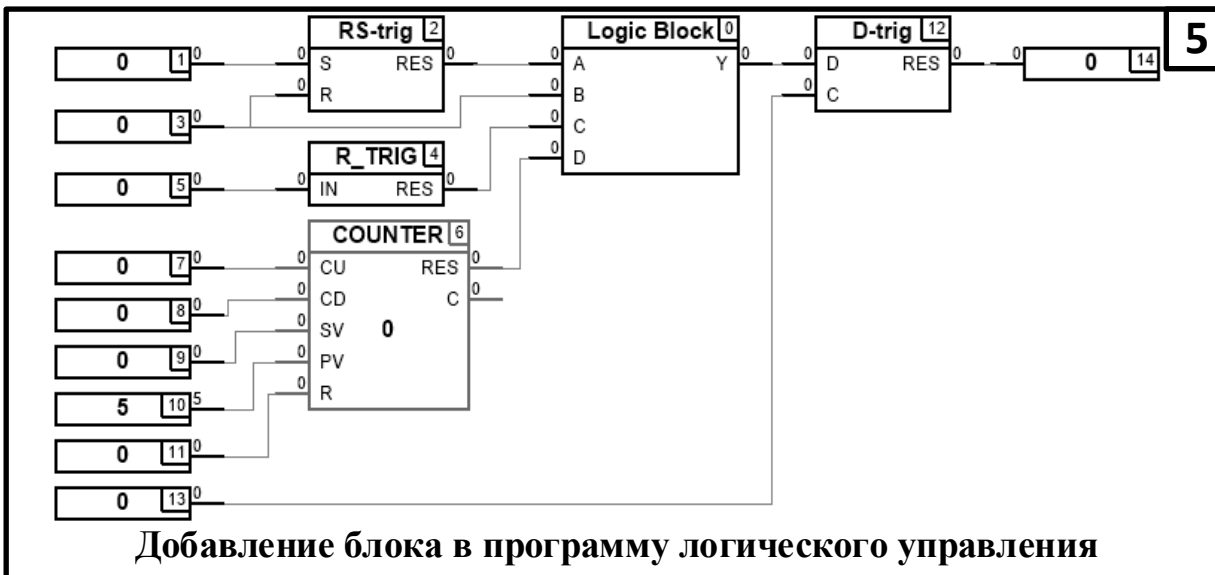
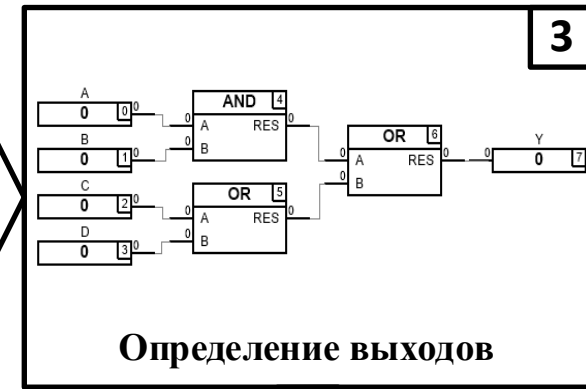
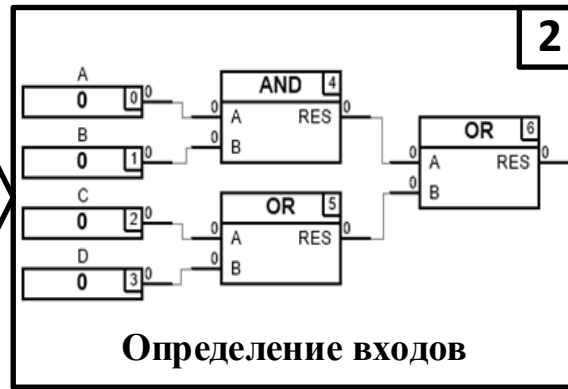
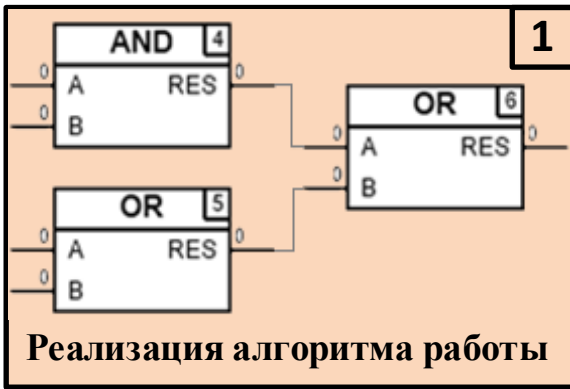
Программа логического управления конкретным технологическим оборудованием

Протокол тестирования программно аппаратного комплекса логического управления

Декомпозиция задач логического управления на примере станков (7 шаг методики)



Последовательность создания пользовательского функционального блока в среде разработки программ логического управления (8 шаг методики)

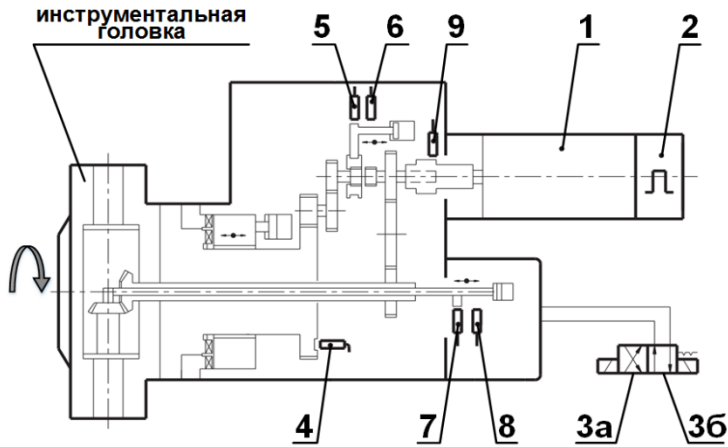


Систематизация методов реализации программ логического управления для языка функциональных блоков (9 шаг методики)

Свойства Тип объекта	Мат. аппарат	Область применения	Способ задания	Графическое представление	Требования к квалификации
Комбинационные схемы	Булева алгебра	Объекты управления, в которых комбинация сигналов на выходе в любой момент времени однозначно определяется комбинацией сигналов на входе.	таблица истинности	функциональная схема	низкие
Технологические объекты	Временные булевы функции	Объекты, поведение которых определяется, в том числе, сигналами задержки времени, реализация которых осуществляется с использованием таймеров.	временная диаграмма, таблица истинности	временная диаграмма	средние
Цикловая электроавтоматика	Автоматные модели	Объекты управления, поведение которых определяется множеством дискретных операций, повторяющихся циклически с определенным периодом.	циклограмма	автоматный граф	средние
Дискретные системы	Разностные уравнения	Объекты управления, в которых можно осуществить квантование непрерывных входных и выходных сигналов по времени.	математическая модель	структурная схема	высокие

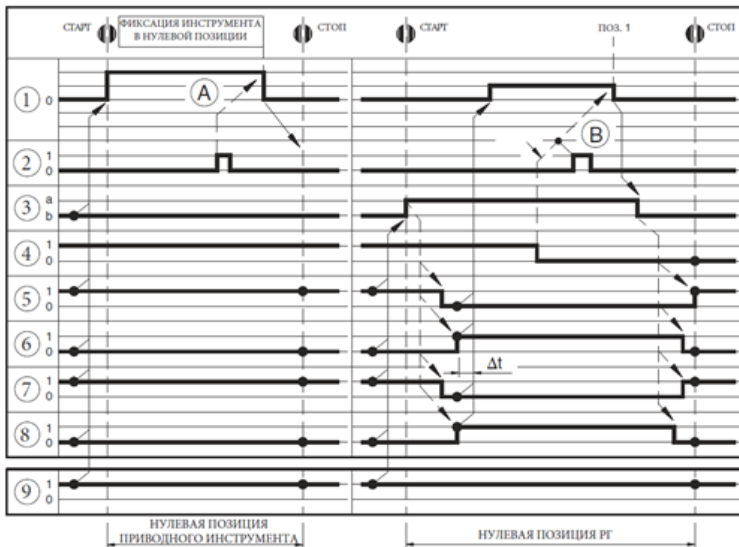
Программирование цикловой электроавтоматики (9 шаг методики, пример 1, слайд1)

Револьверная головка



1 – электродвигатель, 2 – инкрементальный энкодер;
 3 – гидрораспределитель; 4 – нулевая позиция РГ;
 5, 6 – датчики диск РГ зафиксирован/расфиксирован;
 7, 8 – датчики вращения инструмента; 9 – муфта.

Циклограмма работы револьверной головки

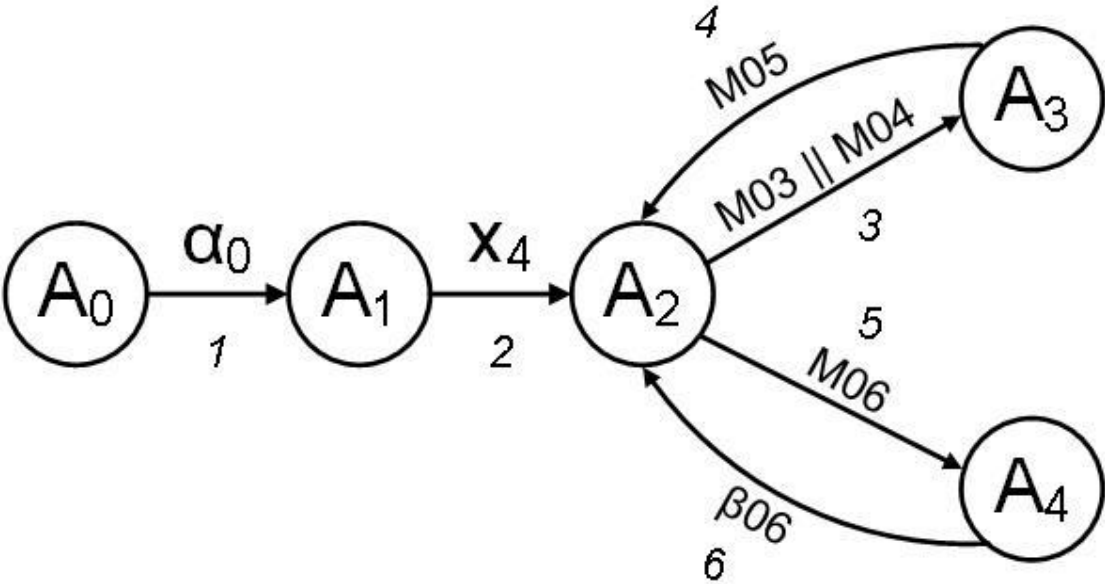


Выделение информационных каналов работы РГ

Обозначение	Описание
<i>Выходные сигналы (сигналы управления)</i>	
Z1	вращение электродвигателя на заданный угол
Z2.1	вращение электродвигателя по часовой стрелке
Z2.2	вращение электродвигателя против часовой стрелки
Z3	включить зажим диска
Z4	отключить зажим диска
Z5	остановить вращение электродвигателя
X100	ошибка
<i>Входные данные с датчиков и элементов управления</i>	
X1	срабатывание предохранительной муфты
X2.1	привод вращения инструмента отключен
X2.2	привод вращения инструмента включен
X3.1	диск револьверной головки зафиксирован
X3.2	диск револьверной головки расфиксирован
X4	нулевая позиция
α0	сигнал начала работы
<i>Команды управления</i>	
M03	вращение шпинделя по часовой стрелке
M04	вращение шпинделя против часовой стрелки
M05	остановка вращающегося шпинделя
M06	смена инструмента
K	вычислить угол поворота двигателя
<i>Вспомогательные информационные каналы</i>	
k	угол поворота двигателя вычислен
β06	подтверждение завершения смены инструмента
U1	воздействие на таймер
Y1	Сигнал истечения времени таймера

Программирование цикловой электроавтоматики (9 шаг методики, пример 1, слайд2)

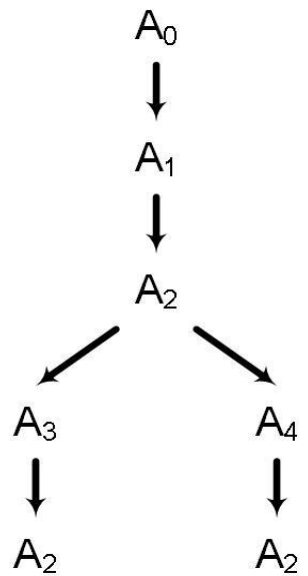
Технологический граф работы револьверной головки



Матрица инцидентов
технологического графа

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
1	1	-1	0	0	0
2	0	1	-1	0	0
3	0	0	1	-1	0
4	0	0	-1	1	0
5	0	0	1	0	-1
6	0	0	-1	0	1

Дерево достижимости
технологического графа



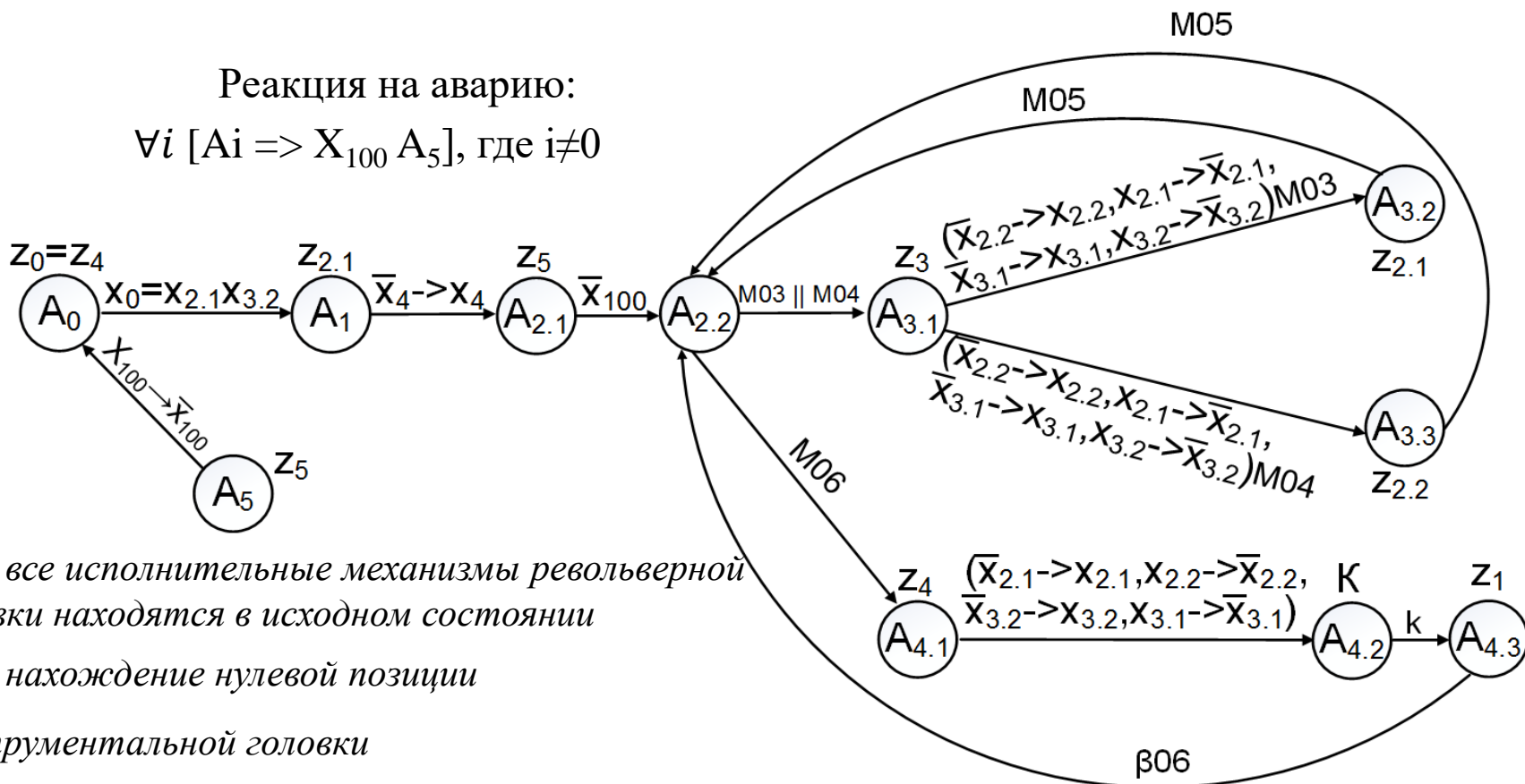
Матрица достижимости
технологического графа

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
A_0	1	1	1	1	1
A_1	0	1	1	1	1
A_2	0	0	1	1	1
A_3	0	0	1	1	0
A_4	0	0	1	0	1

Граф операций работы револьверной головки

Реакция на аварию:

$$\forall i [A_i \Rightarrow X_{100} A_5], \text{ где } i \neq 0$$



A0 – все исполнительные механизмы револьверной головки находятся в исходном состоянии

A1 – нахождение нулевой позиции

инструментальной головки

A2 – режим готовности

A3 – работа револьверной головки в режиме вращения инструмента (шпиндельный режим)

A4 – режим смены инструмента

A5 - обработка ошибочных ситуаций.

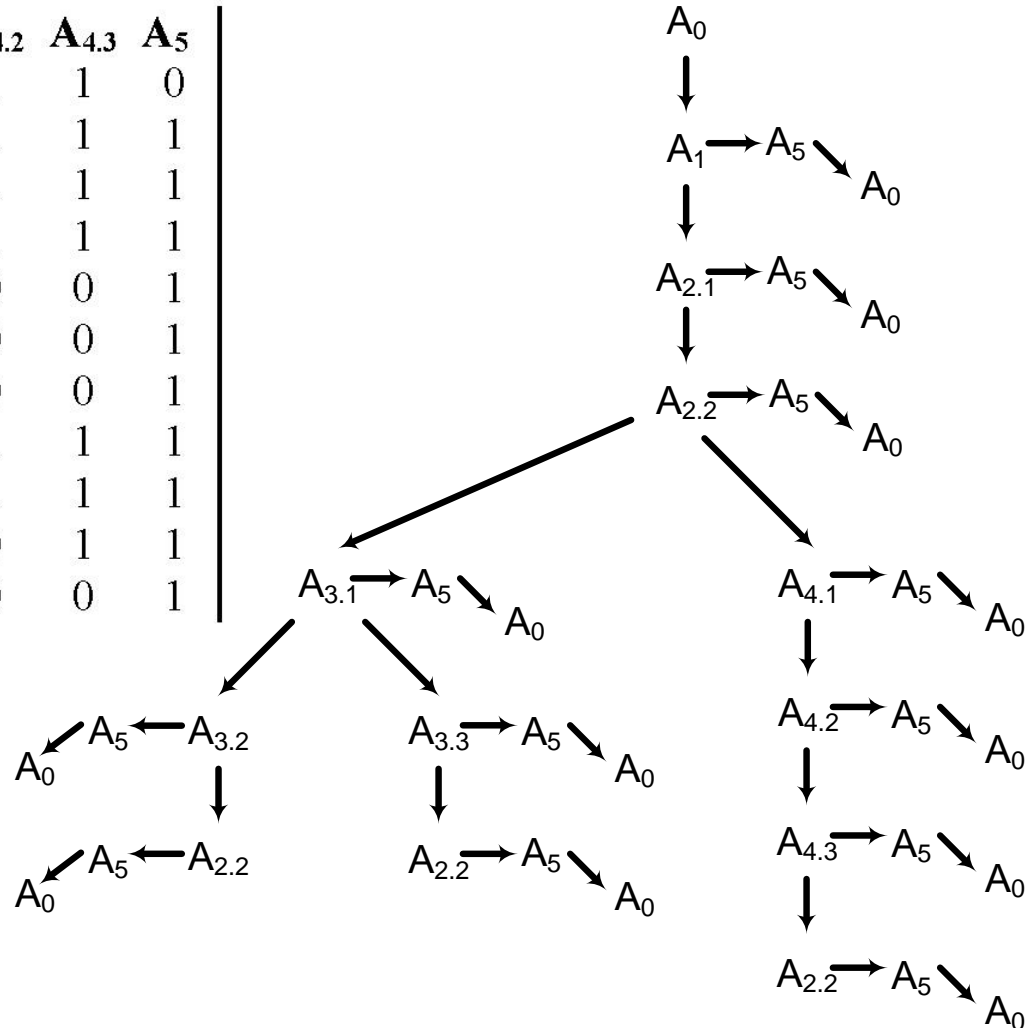
Программирование цикловой электроавтоматики (9 шаг методики, пример 1, слайд4)

Анализ графа операций работы револьверной головки

Матрица достижимости графа операций

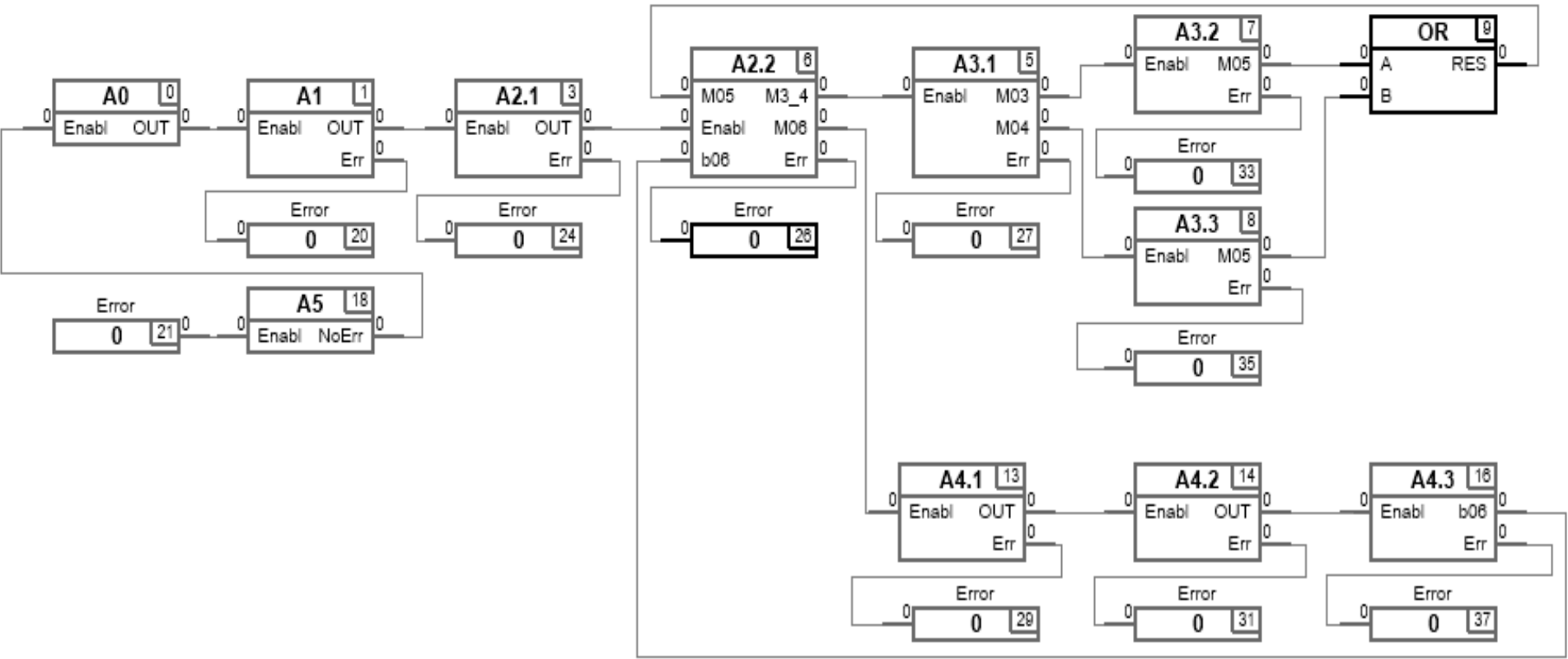
Дерево достижимости графа операций

	A_0	A_1	$A_{2.1}$	$A_{2.2}$	$A_{3.1}$	$A_{3.2}$	$A_{3.3}$	$A_{4.1}$	$A_{4.2}$	$A_{4.3}$	A_5
A_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
A_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$A_{2.1}$	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$A_{2.2}$	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$A_{3.1}$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
$A_{3.2}$	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
$A_{3.3}$	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
$A_{4.1}$	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
$A_{4.2}$	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
$A_{4.3}$	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
A_5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



Программирование цикловой электроавтоматики (9 шаг методики, пример 1, слайд5)

Реализация программы управления револьверной головкой



Программирование дискретных систем (9 шаг методики, пример 2)

Этап 1. Передаточная функция ПИД-регулятора:

$$W(p) = K_p + \frac{1}{T_i p} + T_d p$$

K_p – коэффициент передачи пропорциональной части,

T_i, T_d - постоянная времени интегрирования и дифференцирования

Этап 2. Дифференциальное уравнение описывающее управляющий сигнал ПИД регулятора:

$$U(t) = K_p \varepsilon(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt}$$

$U(t)$ – выходная величина регулятора (управляющий сигнал),
 $\varepsilon(t)$ - сигнал рассогласования (ошибка регулирования).

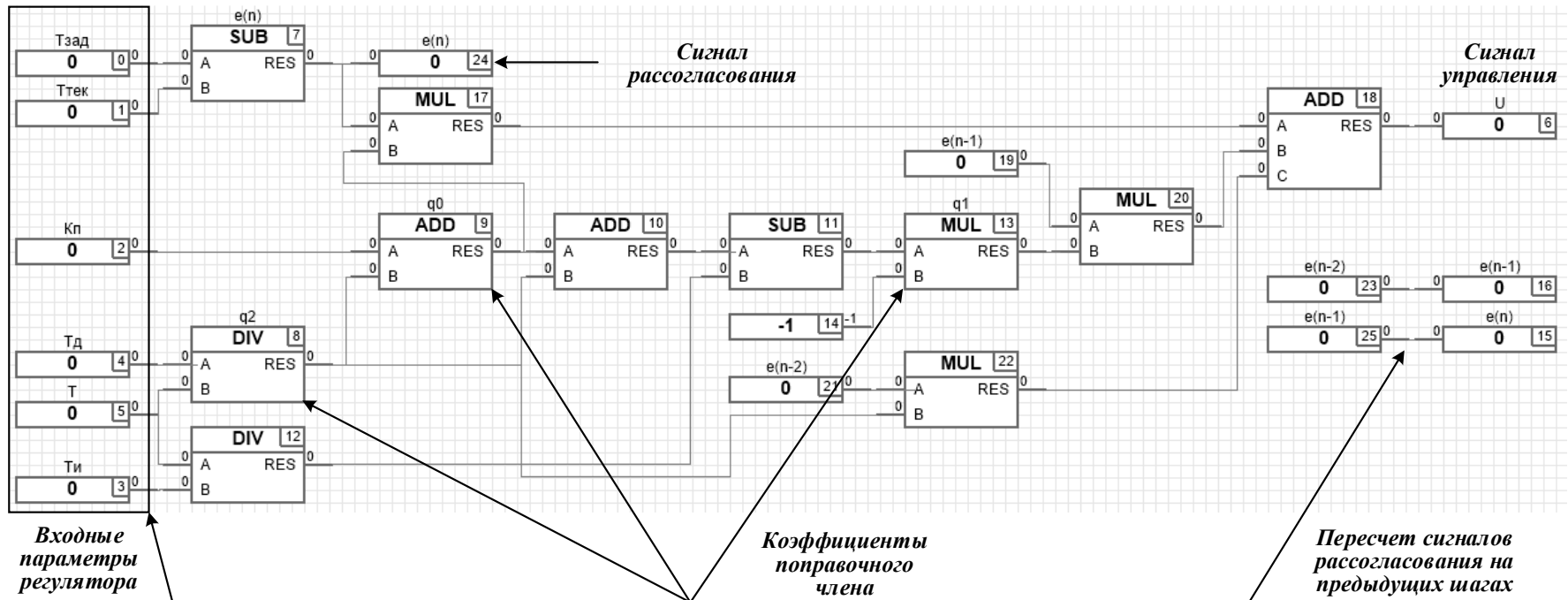
Этап 3. Разностное уравнение описывающее управляющий сигнал ПИД регулятора:

$$U[n] = K_p \varepsilon[n] + \frac{T}{T_i} \sum_{i=1}^n \varepsilon[i] + \frac{T_d}{T} (\varepsilon[n] - \varepsilon[n-1])$$

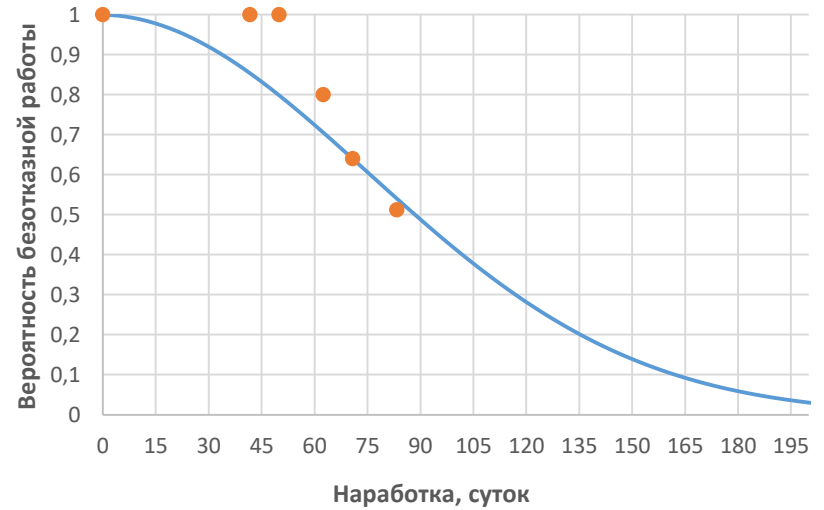
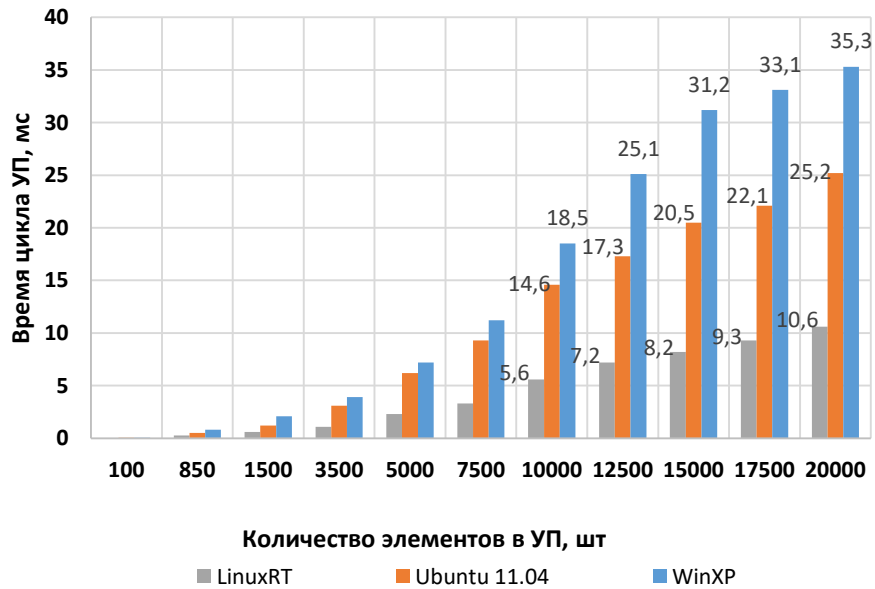
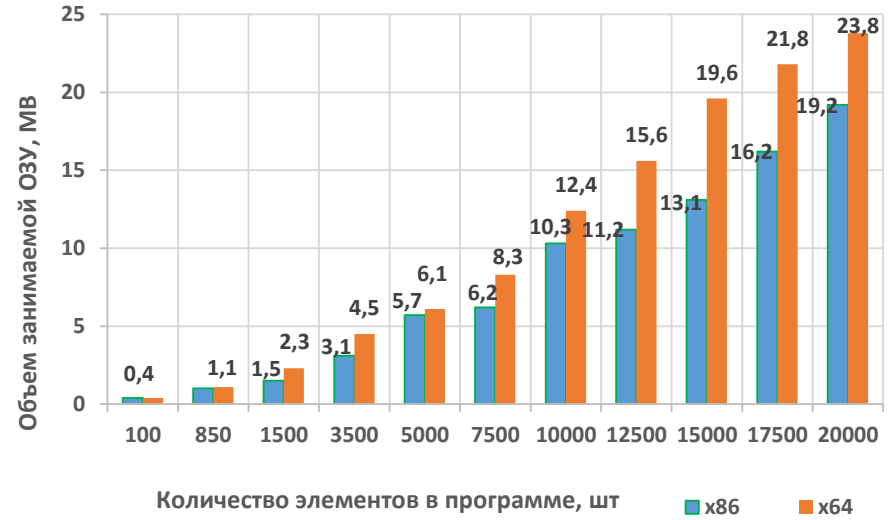
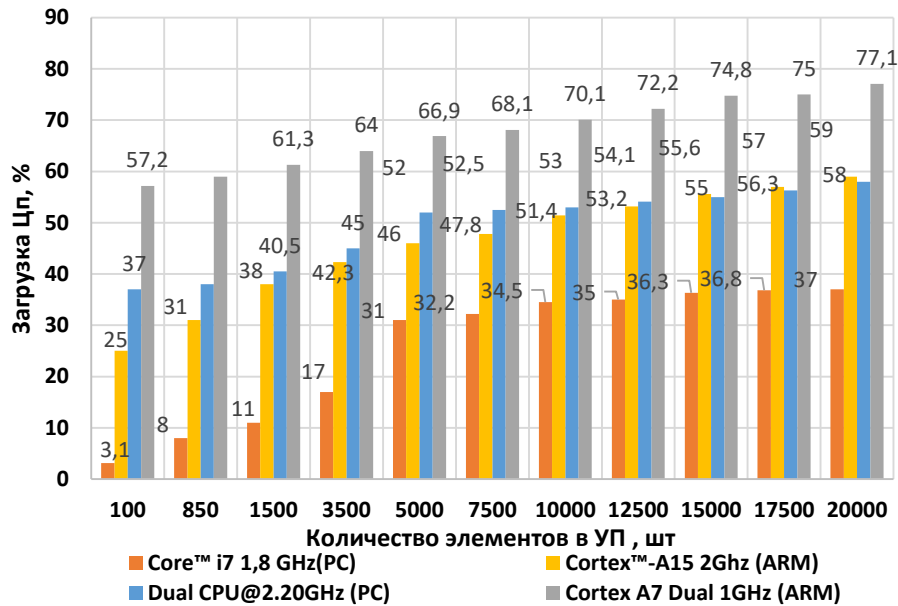
Этап 4. Уравнение в рекуррентном виде описывающее управляющий сигнал ПИД регулятора:

$$\Delta U[n] = U[n] - U[n-1] = q_0 \varepsilon[n] + q_1 \varepsilon[n-1] + q_2 \varepsilon[n-2],$$

$$q_0 = K_p + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T}, \quad q_1 = -K_p - \frac{2T_d}{T}, \quad q_2 = \frac{T_d}{T}$$



Нагрузочное тестирование систем логического управления (10 шаг методики)



— Теоретические значения ● Экспериментальные значения

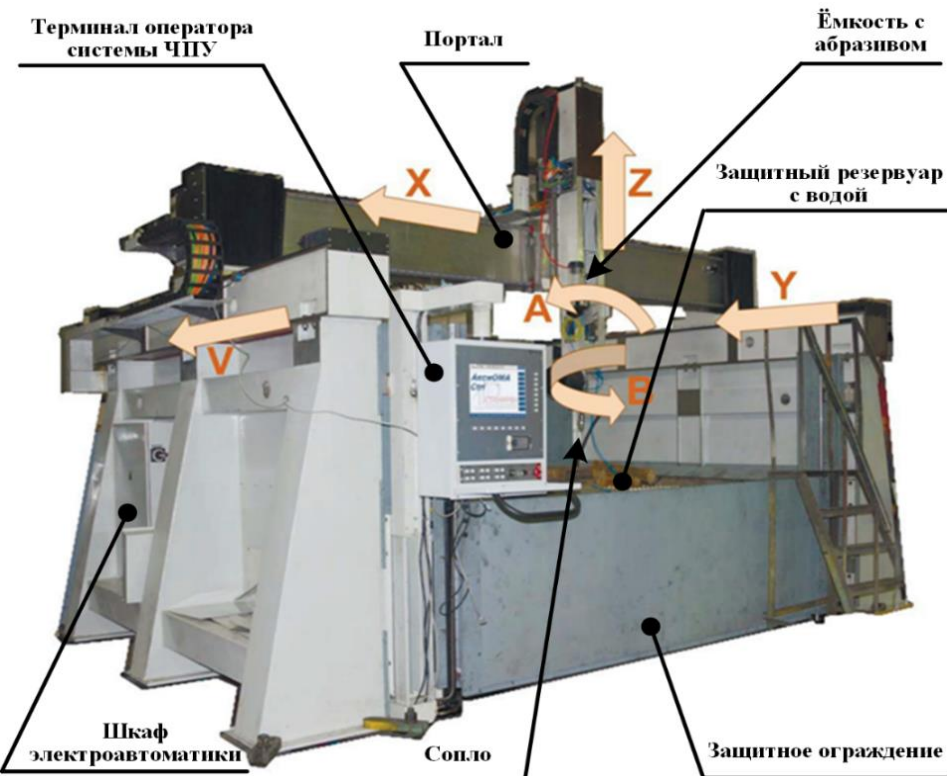
- средняя наработка на отказ

$$T_{cp.} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-a_1 t - a_2 t^2) dt$$

Реализованные системы логического управления технологическим оборудованием

№	Наименование технологического оборудования	Статус оборудования	Производитель	Технические характеристики	Особенности реализации системы управления
1	Установка гидроабразивной резки	Опытный образец	ОАО «Савеловский машиностроительный завод», ОАО «Национальный институт авиационных технологий», МГТУ «СТАНКИН»	<ul style="list-style-type: none"> • 5 координат; • давление воды 600 МПа; • рабочая зона 2500x1500 мм; • высота детали до 1000 мм; • максимальная скорость перемещения 25 000 мм/мин; • погрешность перемещений, 50 мкм. 	Многоуровневая организация системы управления по принципу «ведущий-ведомый»
2	Гамма токарно-фрезерных обрабатывающих центров наклонной компоновки	Опытные образцы	ОАО «Саста», МГТУ «СТАНКИН»	<ul style="list-style-type: none"> • наклонная компоновка, • класс точности А; • 2 канала управления; • 4 координаты на каждый канал; • 2 шпинделя; • 2 револьверные головки; • 150 дискретных вх./выходов; • Размер обрабатываемой детали до 380x1000 мм. 	Большое количество вспомогательного технологического оборудования
3	Вертикально-фрезерный обрабатывающий центра Quaser MV184P	Локализация производимого по лицензии оборудования	ОАО «Ковровский электромеханический завод», МГТУ «СТАНКИН»	<ul style="list-style-type: none"> • 3+1 координата; • Размер обрабатываемой детали до 1020 / 610 / 610; • Инструментальный магазин на 30 инструментов; • Рабочая подача 10 м/мин. 	Мультипротокольное решение

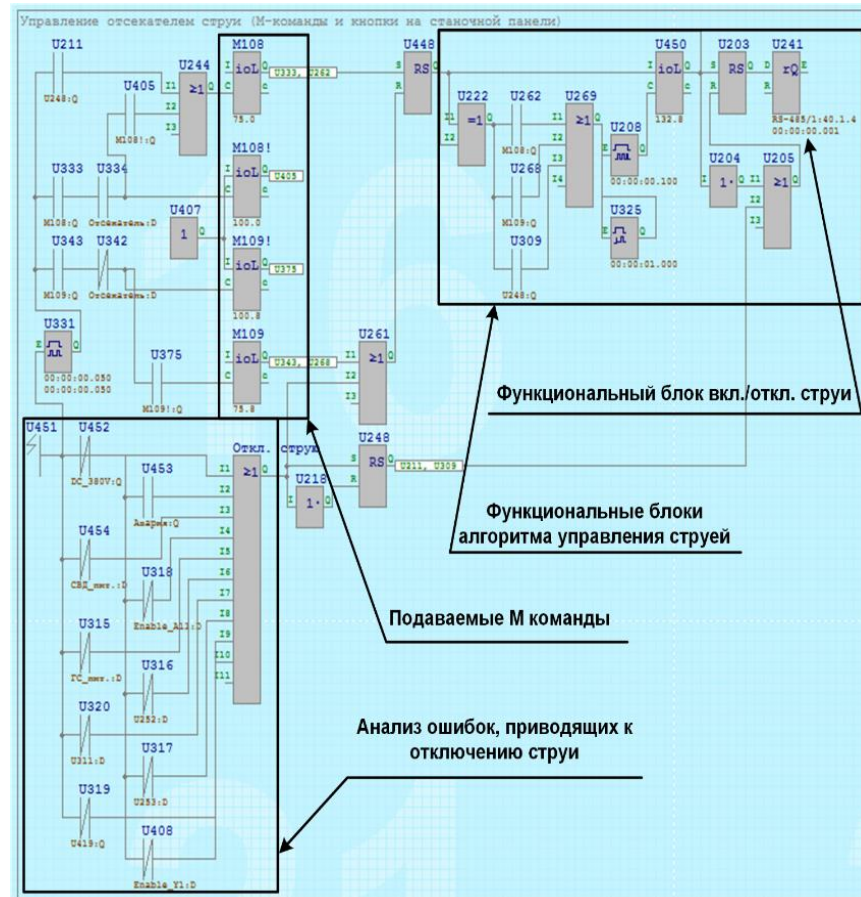
Реализация системы логического управления электроавтоматикой станка гидроабразивной резки (ОАО «СМЗ», ОАО «НИАТ»)



Специализированные функции УГСР

М-функция	Назначение
M108	Открыть заслонку подачи воздуха с абразивом в режущую головку.
M109	Закрыть заслонку подачи воздуха с абразивом в режущую головку после выполнения всех инструкций заданных в кадре.
M110	Задать количество абразивного материала, подаваемого в режущую головку. Команда имеет один параметр, принимающий значения в диапазоне 0...100 и указывает степень открытости заслонки.

Программная реализация управления отсекателем струи



25-30% экономии абразивного материала за счет применения системы логического управления и специализированной технологии обработки

Сетевая структура и схема формирования экрана оператора системы управления станком гидроабразивной резки

Ядро системы
ЦПУ со встроенным
контроллером



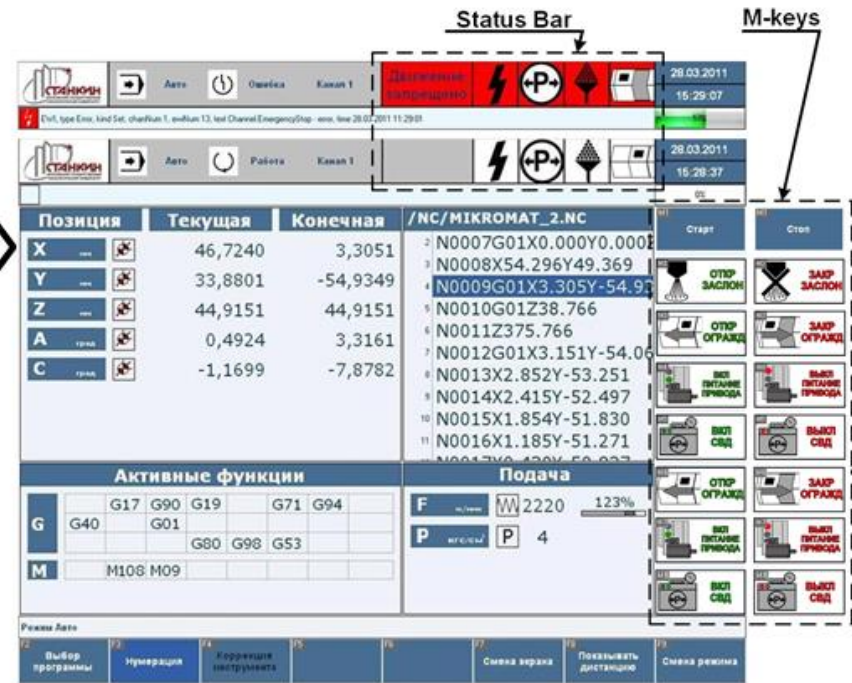
TCP/IP
(Ethernet)
UCSNet
(RS-485)

RS-485
ModBUS
(RS-485)

Терминал оператора



Формирование
экрана
оператора

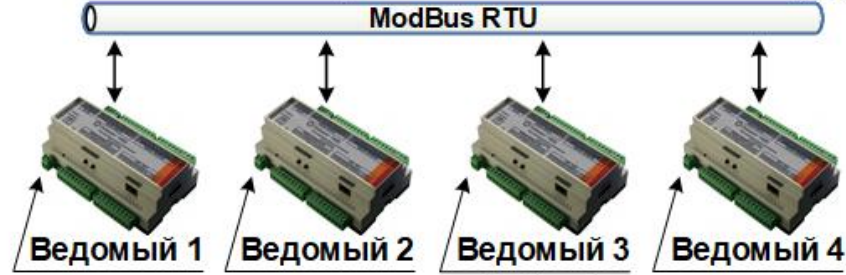


I уровень Ведущий
II уровень Ведомый



III уровень

Ведущий ПЛК
Ведущий
Ведомый



Ведомый 1: Ввод/вывод данных с конечных выключателей
Ведомый 2: Ввод/вывод данных безопасности
Ведомый 3: Ввод/вывод данных с технологического оборудования
Ведомый 4: Управление СВД

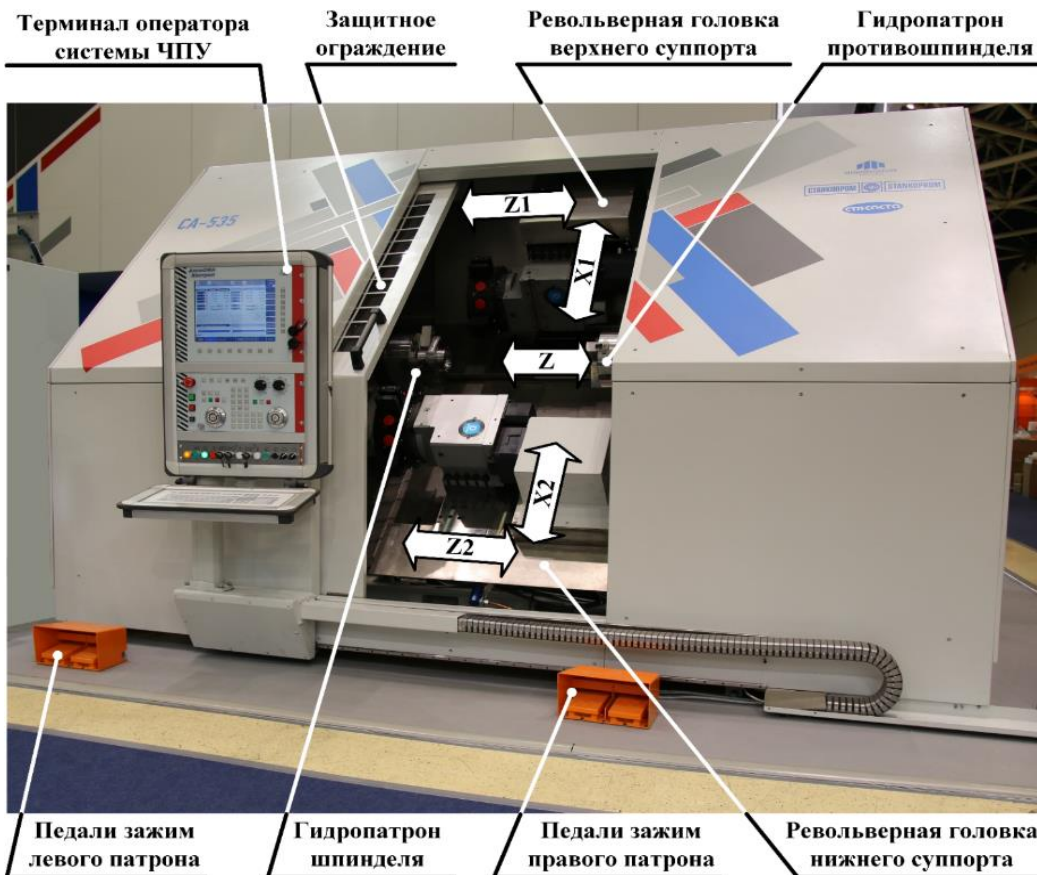


Контроллеры приводов



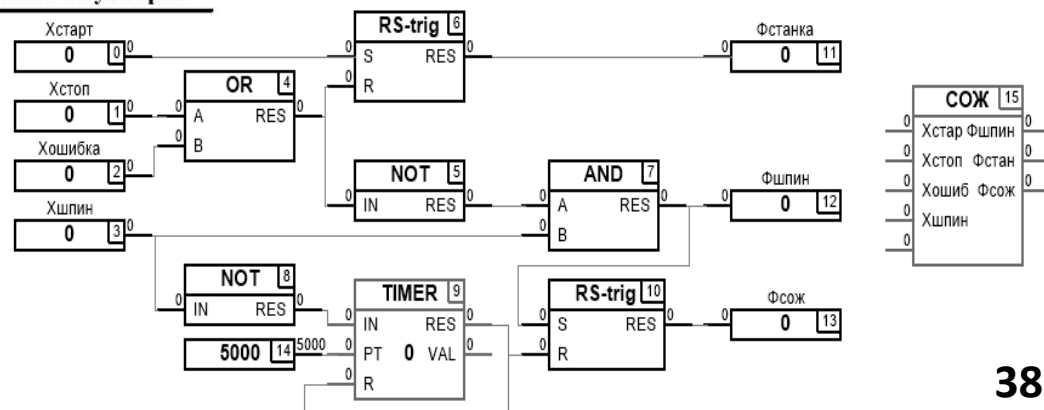
Задействовано: 5 контроллеров, 54 дискретных входа, 19 дискретных выходов, 6 аналоговых входов, 1 аналоговый выход.

Реализация системы логического управления электроавтоматикой гаммы токарно-фрезерных обрабатывающих центров (ОАО «Саста»)

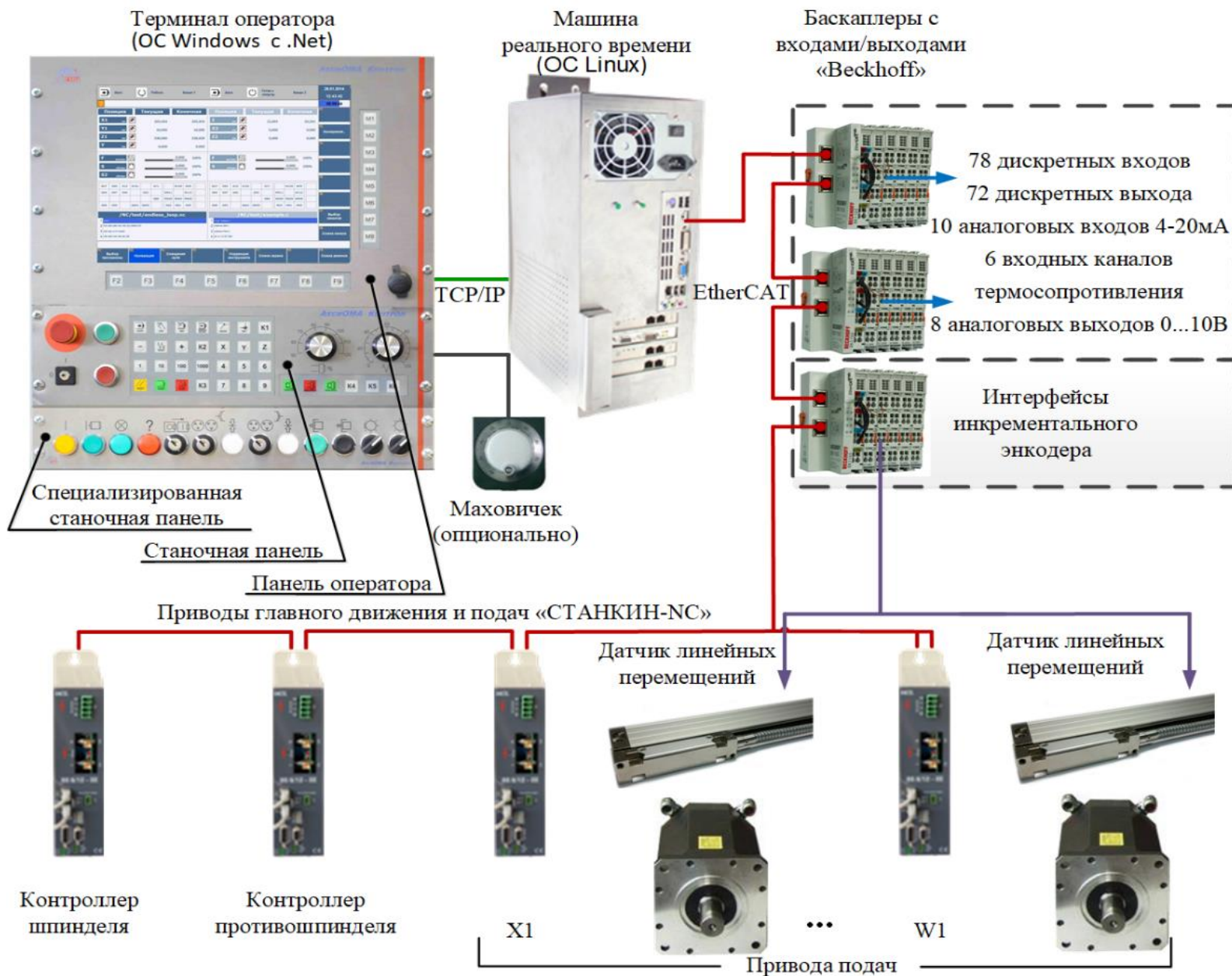


М-функция	Назначение
M21	Осуществить зажим детали в гидравлическом патроне
M22	Осуществить разжим детали в гидравлическом патроне
M50	Включить перемотку ленты транспортера стружки
M51	Выключить перемотку ленты транспортера стружки
M54	Закрыть защитное ограждение обрабатывающего центра
M55	Открыть защитное ограждение обрабатывающего центра

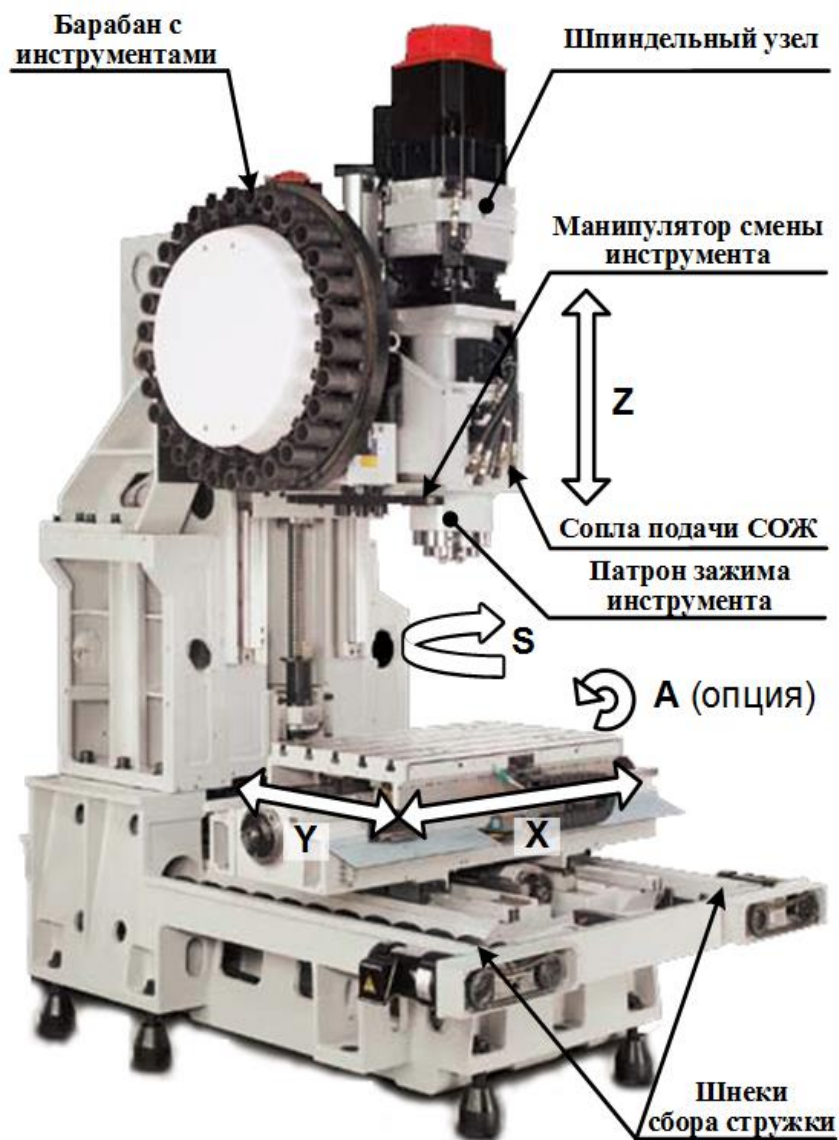
Функциональный блок включения СОЖ и его условное обозначение



Сетевая структура системы логического управления электроавтоматикой гаммы токарно-фрезерных обрабатывающих центров

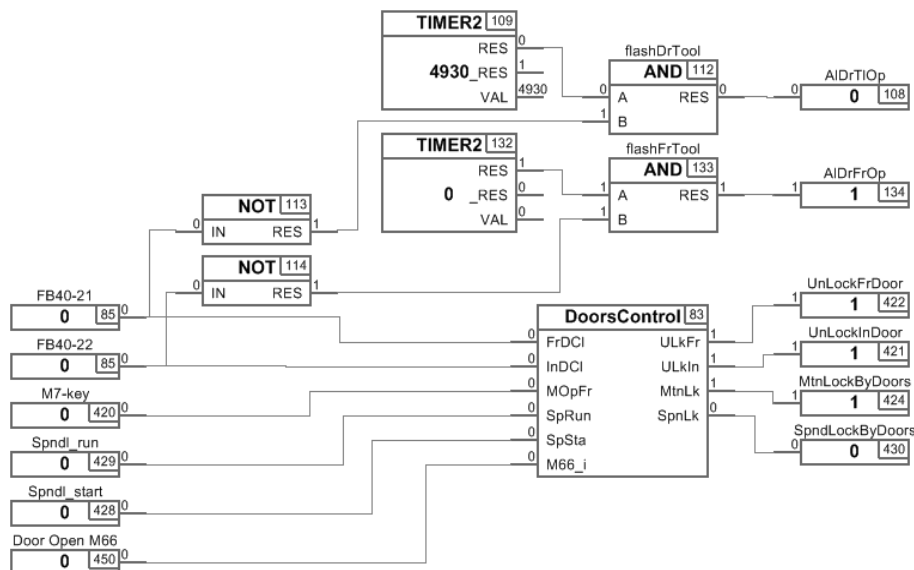


Реализация системы логического управления электроавтоматикой обрабатывающего центра Quaser MV184P (ОАО «КЭМЗ»)



М-функция	Назначение
M3, M4, M5, M13, M14, M19	Функции запуска шпинделя по/против часовой стрелки, с и без включения СОЖ.
M7	Подача стандартной охлаждающей жидкости (Включение режима 1 охлаждения.) помпа B.
M8	Подача охлаждающей жидкости через шпиндель (Включение режима 2 охлаждения) помпа C.
M9	Прекращение подачи всех охлаждающих жидкостей. Выключает M7, M8, M10.
M10	Подача промывочной охлаждающей жидкости помпа A.
M708	M7+M8.
M709	M7+M10.
M710	M8+M10.
M711	M7+M8+M10.
M16	Включение подачи воздуха через шпиндель (опция).
M17	Отключение подачи воздуха через шпиндель (опция).

Реализация функционального блока управления ограждениями



Сетевая структура системы логического управления электроавтоматикой обрабатывающего центра Quaser MV184P

Система ЧПУ
«Аксиома Контрол»

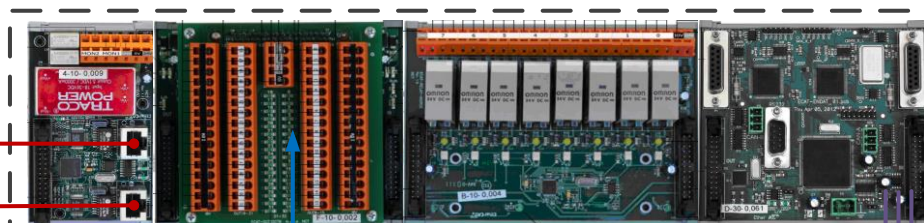


Машина
реального
времени



OS Linux
(реальное время)

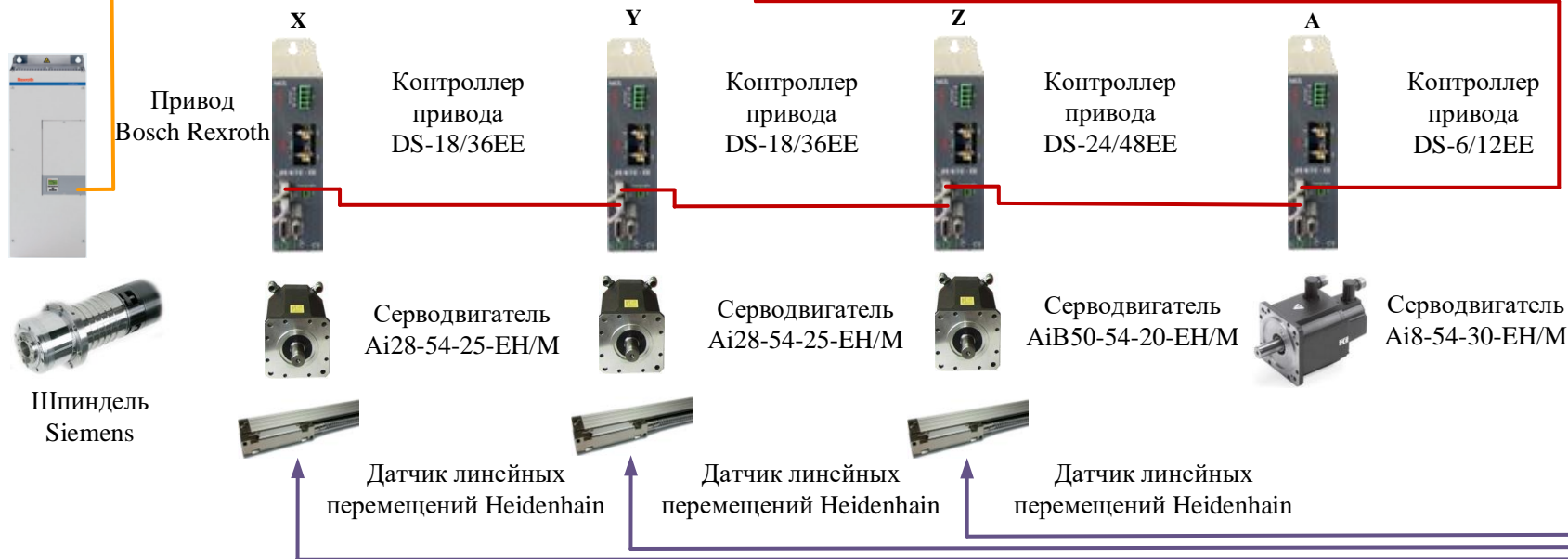
Удаленные входы/выходы «СТАНКИН-NC»



Управление
электроавтоматикой

Интерфейсы
инкрементального энкодера

EnDat 2.2



Привод главного
движения

Привода подачи

Основные выводы по работе:

1. В работе решена актуальная научная проблема, имеющая важное значение для развития промышленности РФ - создание теоретических и методологических основ построения кроссплатформенных, мультипротокольных систем логического управления технологическим оборудованием, реализованных по модульному принципу, имеющих открытую архитектуру и поддерживающих работу с широким классом аппаратных устройств.
2. Установлены и впервые формализованы взаимосвязи между характеристиками технологического оборудования и задачами, функциями, параметрами систем логического управления технологическим оборудованием, влияющими на структуру системы и определяющими состав программно-аппаратных модулей логических контроллеров как основного инструментария автоматизации.
3. Разработаны формальные модели проектирования систем управления, объединенные в логическую схему последовательного их создания и трансформации. Модели каждого уровня описывают определенные аспекты работы системы логического управления и позволяют: определить основные функции системы, выявить зависимость между платформой и прикладной компонентой, систематизировать основные потоки данных, определить структуру системы управления, формализовать этапы проектирования программ логического управления, определить схему функционирования системы в условиях распределения вычислительных ресурсов.
4. Подход к модульной структуре системы логического управления, предложенный в работе, предполагает выделение модулей, имеющих структурное единообразие и общий механизм связей, что позволяет: организовать систему управления как в рамках единой платформы, так и на нескольких платформах, путем разделения группы модулей по единому функциональному признаку; комплектовать систему в зависимости от реализуемой задачи; использовать программные и аппаратные компоненты различных производителей.

6. Предложенная модульная структура позволяет снизить требования к аппаратному обеспечению реального времени, посредством разделения системы логического управления на две подсистемы и закрепления модулей за ними: подсистему программирования, работающая в режиме машинного времени, и исполнительное ядро, работающее в режиме жесткого реального времени. Взаимодействие между двумя подсистемами на физическом уровне реализовано на базе Ethernet, на программном уровне - на базе технологии сокетов.
7. Разработанная методология позволяет предложить комплексное решение проблемы проектирования и реализации систем логического управления. Каждая фаза процесса разработки формирует конкретное решение, набор которых охватывает весь последовательный процесс проектирования системы.
8. Сформирован набор формализованных математических методов, которые позволяют проектировать программы логического управления любой сложности в разработанной среде проектирования.
9. Проведено комплексное тестирование предложенных в диссертации систем логического управления, которое включает: нагрузочное тестирование, тестирование на отказ и проведение приемо-сдаточных испытаний. Указанные виды тестовых испытаний позволяют сделать выводы о возможности эксплуатации разработанной системы управления.
10. Реализованы системы логического управления реальными технологическими объектами с использованием разработанной методики проектирования, подтвердившие эффективность новых принципов построения систем управления.
11. Полученные результаты рекомендуется использовать при создании систем управления технологическим оборудованием для машиностроительных предприятий и в учебном процессе при подготовке инженерно-технических и научно-педагогических кадров по направлению «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Публикации

По теме диссертационной работы опубликовано **89** печатных работы, из которых:

- **29** статья в журналах из перечня научных рецензируемых журналов ВАК РФ,
- **8** печатных работ входящих в реферативные базы Web of Science и SCOPUS,
- **40** материал конференций,
- **11** свидетельств о регистрации программ для ЭВМ,
- **1** патент на полезную модель.

Акты о внедрении результатов работы:

- ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»;
- ОАО «Национальный институт авиационных технологий»;
- ОАО «Ковровский электромеханический завод»;
- ПАО «Тульский оружейный завод».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами»:

п.3. методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и др.;

п.5. теоретические основы, средства и методы промышленной технологии создания АСУТП, АСУП, АСТПП и др.;

п.15. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.).