На правах рукописи

Кулиев Абай Уангалиевич

РАЗРАБОТКА СПОСОБА АППАРАТНО-НЕЗАВИСИМОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКОЙ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВЫПУСКА РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНОВОК ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2016 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»).

Научный руководитель: **Мартинов Георги Мартинов**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», заведующий кафедрой компьютерных систем управления

Официальные оппоненты: **Чадеев Валентин Маркович**
доктор технических наук, профессор,
ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), главный научный сотрудник лаборатории № 41 «Идентификации систем управления»

Холопов Владимир Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Московский технологический университет», Институт информационных технологий, доцент кафедры интеллектуальных технологий и систем

Ведущая организация: ОАО «Национальный институт авиационных технологий» (ОАО НИАТ)

Защита диссертации состоится «___» _____ 2016 года в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.142.03 при ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» по адресу: 127994, Москва, Вадковский переулок, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», www.stankin.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.142.03,
к.т.н., доцент Семячкова Елена Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время большинство российских производственных предприятий испытывает острую необходимость в технологическом перевооружении. Помимо обновления станочного парка, необходимо проводить и модернизацию имеющегося оборудования, оснащая его современными системами управления (СУ).

В целях преодоления технологической зависимости от иностранных поставщиков осуществляется локализация производства современных станков и комплексов ведущих мировых производителей в кооперации с отечественными профильными предприятиями. Особое внимание отводится созданию и развитию собственных технологий, в том числе систем числового программного управления (ЧПУ) и электронных компонентов для их построения.

Современные системы ЧПУ – это сложный программно-аппаратный комплекс для управления технологическим оборудованием различного типа и назначения. Адаптация системы ЧПУ к конкретной модели станка осуществляется, в том числе, посредством реализации алгоритмов управления вспомогательным оборудованием для программируемых логических контроллеров (ПЛК). Повторное использование ранее созданных программ электроавтоматики возможно только в рамках оснащения станка системами ЧПУ единого производителя. Однако выбор системы ЧПУ всегда остается за конечным пользователем (заказчиком) и основан сугубо на его предпочтениях и практическом опыте при работе с какой-либо системой управления. В результате станкостроительным предприятиям необходимо заново выполнять одну и ту же работу по программированию контроллера. При этом следует принимать во внимание, что:

а) для разработки программ для ПЛК производители предоставляют собственный специализированный инструментарий, который необходимо изучать;

б) отечественные станкостроительные предприятия испытывают серьезный дефицит квалифицированных инженерных кадров в области промышленной автоматизации;

в) отсутствуют программное обеспечение для автоматической трансляции программ электроавтоматики.

Вышеперечисленные факты приводят к тому, что наиболее применяемыми являются зарубежные системы числового управления таких фирм, как Fanuc, Siemens и Heidenhain, но решения мировых лидеров не

допускают вариаций с использованием оборудования сторонних производителей. Отечественные системы ЧПУ проигрывают конкуренцию, в том числе из-за ограниченной номенклатуры поддерживаемых периферийных модулей ввода/вывода.

В результате исследования была выявлена необходимость разработки архитектуры и математического обеспечения системы числового программного управления, имеющей интерфейс для интеграции не только собственных закрытых решений, но и аппаратных средств независимых производителей, широко представленных на рынке автоматизации.

Цель работы: сокращение времени на разработку системы управления электроавтоматикой технологического оборудования и выпуска новой станочной продукции на рынок посредством синтеза программ электроавтоматики из готовых библиотечных решений.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать средства реализации логической задачи управления в современных системах ЧПУ;
- разработать структурную модель системы аппаратно-независимого[1] управления электроавтоматикой технологического оборудования, определяющую тип программируемого контроллера, топологию сети и протокол коммуникации, и обеспечивающую возможность варьирования набора периферийных модулей ввода/вывода без изменения программы электроавтоматики;
- разработать способ аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ и методику конфигурирования модулей ввода/вывода;
- разработать алгоритмическое обеспечение расчетов технически требуемых параметров модулей ввода/вывода в зависимости от компоновки станка;
- реализовать прикладные решения для аппаратно-независимого управления электроавтоматикой гаммы токарно-фрезерных станков с ЧПУ на базе полученных теоретических и практических знаний.

Методы исследования. Теоретические исследования в диссертации базируются на использовании методов объектно-ориентированного подхода (декомпозиция, абстракция) и метода наименьших квадратов.

[1] В диссертации аппаратно-независимым называется управление, при котором уровень реализации программы электроавтоматики независим от аппаратного обеспечения ввода/вывода.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие научные результаты:

1. Установлены взаимосвязи между компоновкой станка и библиотеками готовых программ управления электроавтоматикой и функциональных блоков, отражающие структурную схему системы управления и тип используемого программируемого контроллера.

2. На основе установленных взаимосвязей построена структурная модель аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ, отличающаяся переносом выполнения программы электроавтоматики с уровня автономного ПЛК на уровень программно-реализованного контроллера в системе ЧПУ.

3. Предложен способ аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ, обеспечивающий возможность варьировать состав периферийных модулей ввода/вывода без изменения программы электроавтоматики посредством редактирования файла конфигурации.

4. Разработан алгоритм расчета параметров модулей ввода/вывода в зависимости от компоновки станка для инструментария разработки и конфигурирования программы электроавтоматики.

Теоретическая значимость работы заключается в предложенном способе управления электроавтоматикой станков с ЧПУ, обеспечивающем возможность определять и изменять номенклатуру аппаратного обеспечения ввода/вывода без модификации реализованных алгоритмов управления.

Практическая значимость работы заключается в:

- разработанной методике конфигурирования модулей ввода/вывода управляющих сигналов;
- программной реализации алгоритма расчета параметров модулей ввода/вывода для инструментария разработки и конфигурирования программы электроавтоматики;
- разработанной расширяемой библиотеке функциональных блоков управления разнородным вспомогательным оборудованием станков, используемой при разработке программ электроавтоматики.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Диссертационная работа соответствует формуле научной специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические системы) в части п.п. 8, 10, 15 области исследования паспорта специальности.

Апробация работы. Теоретические и практические результаты, полученные автором, докладывались на заседаниях кафедры компьютерных систем управления ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Всероссийской научной школы «Современные технические средства диагностики металлорежущих станков», IV Всероссийской мультиконференции по проблемам управления в 2011г., XII Международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM» в 2012 г., а также используются в учебном процессе по дисциплинам «Управление процессами и объектами» и «Управление цикловой автоматикой», преподаваемым на кафедре компьютерных систем управления ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

Практические разработки по данной тематике отмечены дипломом XI Международной Специализированной выставки Передовые Технологии Автоматизации «ПТА-2011» и Медалью Ассоциации изобретателей и производителей Франции A.I.F.F. 112-го Международного салона изобретений «Конкурс Лепин».

Реализация результатов работы. Полученные результаты использованы в ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» при выполнении работ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по темам «Создание распределенных вычислительных систем управления производственно-технологическим оборудованием на базе логических контроллеров и контроллеров автоматизации» (ГК № П1313), «Обработка, хранение, передача и защита технологической информации в распределенных системах управления» (ГК № П1368), а также гранта Президента РФ по теме «Создание кроссплатформенного программно-реализованного логического контроллера для управления технологическим оборудованием» (№ МК-323.2011.9). Результаты диссертации внедрены в ООО «Инжиниринговая компания «Интермашстрой» (г. Коломна, Московская обл.).

На основе результатов работы созданы 2 объекта интеллектуальной собственности в виде свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 научных статей (из них 3 в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК), включая тезисы докладов, опубликованные в рамках международных и региональных научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 64 наименований. Основная часть работы изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, 14 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы по сокращению времени на разработку системы управления электроавтоматикой металлорежущих станков с ЧПУ, сформулированы цели и задачи исследования, раскрыто основное содержание научной новизны и практической ценности выполняемой работы.

В первой главе, на основе данных из открытых источников и научных трудов М.М. Аршанского, В. Болтона (W. Bolton), В.Ф. Горнева, Г.М. Мартинова, Б.Р. Мехта (B.R. Mehta), Намие М. (Namie M.), В.Г. Митрофанова, В.Л. Сосонкина, Сук-Хван Су (Suk-Hwan Su) и других специалистов в области систем управления, был произведен анализ программно-аппаратного комплекса для реализации логической задачи управления в современных системах ЧПУ различных производителей на предмет портирования программ электроавтоматики и возможности расширения номенклатуры аппаратных средств ввода/вывода. Систематизирована информация о вспомогательном технологическом оборудовании, применяемом в токарных и токарно-фрезерных станках. Выявлены требования, предъявляемые к разрабатываемому способу аппаратно-независимого управления, позволяющему создавать новую или адаптировать существующую систему управления с учетом особенностей разрабатываемого станка.

Пример вариантов комплектации токарного станка вспомогательным оборудованием, управляемым электроавтоматикой, представлен на рисунке 1. В базовую комплектацию входят устройство автоматической смены инструмента, токарный патрон, гидравлическая (пневматическая) система, подвижные защитные ограждения (шпинделя и зоны резания) и система ЧПУ (на выбор заказчика). Дополнительно возможно оснащение системой охлаждения и транспортером стружки.

В зависимости от пожеланий заказчика и наличия оборудования узлы электроавтоматики комплектуются продукцией одного из указанных на рисунке производителей. При этом программная реализация алгоритмов управления, как правило, различается. Таким образом, вариации при выборе

производителя для каждого из независимых друг от друга объектов электроавтоматики увеличивают общее число возможных комбинаций электрооборудования станка.

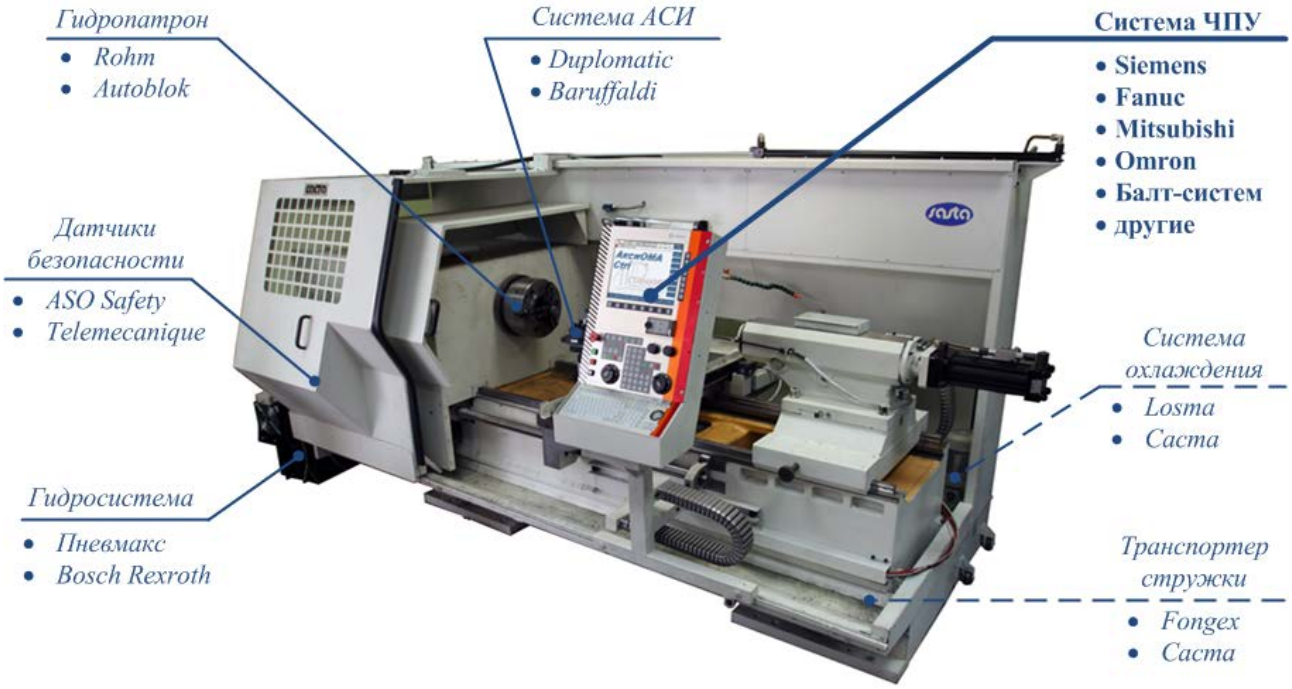

Рисунок 1 – Варианты комплектации токарного станка

Например, на рисунке 2 отражена зависимость числа возможных комбинаций электроавтоматики станков производства «САСТА» (г. Сасово) от степени универсальности технологического оборудования. Для специальных станков, служащих для обработки деталей одного наименования и размера, N < 10. У специализированных станков, предназначенных для обработки деталей одного наименования, но разных размеров, этот показатель лежит в диапазоне от 10 до 25. Для универсальных станков, обрабатывающих широкую номенклатуру деталей, число возможных комбинаций вспомогательного оборудования превышает 25.

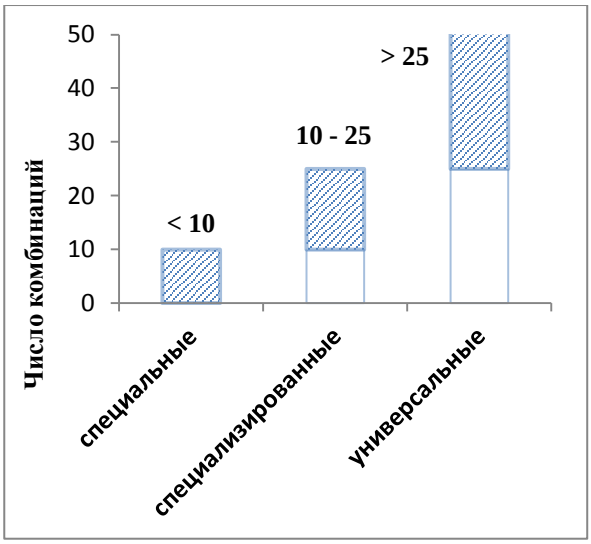

Рисунок 2 – Число возможных комбинаций объектов ЭА станков «САСТА»

Увеличение функциональных возможностей металлорежущего оборудования влечет за собой повышение сложности алгоритмов управления

электроавтоматикой и увеличение числа возможных вариаций их программной реализации.

В различных системах ЧПУ для решения логической задачи управления используется программируемый контроллер, работающий в режиме реального времени. Ему делегированы полномочия по управлению системой цикловой электроавтоматики станка.

В ходе исследования были проанализированы системы ЧПУ ключевых производителей следующих групп: крупных производителей – Fanuc и Siemens, производителей средних объемов – Bosch Rexroth и NUM, и небольших производителей – NCT и Балт-систем, а также отечественная разработка «МГТУ «СТАНКИН» – «АксиОМА Контрол» (таблица 1).

Таблица 1 - Анализ средств решения логической задачи управления

	Системы ЧПУ крупных производителей		**Системы ЧПУ производителей средних объемов**		**Системы ЧПУ небольших производителей**		***«АксиОМА Контрол»***
	Fanuc	***Siemens***	***Bosch Rexroth***	***NUM***	***NCT***	***Балт-систем***	
Тип контролле-ра	Встроен. логический контроллер	ПЛК, SoftPLC	ПЛК, SoftPLC	SoftPLC	Встроен. логический контроллер	Встроен. логический контроллер	ПЛК, SoftPLC
Модули ввода/ вывода	Собств. произв-во	Собств. произв-во, VIPA, Kollewin Technology	Собств. произв-во, Phoenix Contact	Beckhoff	Собств. и сторонние устройства	Собств. произв-во	Bosch Rexroth, Phoenix Contact, Beckhoff, NCT
Протокол коммуни-кации	CC-Link, EtherNet/IP, Profibus, Profinet, DeviceNet	Закрытые протоколы Profibus, Profnet	SERCOS, Profibus, Profinet, DeviceNET	EtherCAT	EtherCAT,	Внутренний протокол обмена	SERCOS, EtherCAT, Modbus, CAN
Языки програм-мирования	IL, LD	LD, FBD, IL	IL, ST, LD, SFC, FBD, CFC	IL, ST, LD, SFC, FBD	LD	Ассембле-роподоб-ный язык	FBD
Инстру-ментарий разработки ПО	Собств. инстр. Fanuc Ladder III	Собств. инстр. Simatic STEP7	IndraWorks (ядро CoDeSys)	Flexium Tools (ядро CoDeSys)	Собств. инстр.	Собств. инстр.	Собств. инстр. FBEditor
Конвер-тирование программ ЭА	*Нет данных*	–	Совместимость аппаратно-независимых программных объектов; поддержка OpenXML		–	–	поддержка OpenXML (через XSLT)

В наиболее распространенных системах ЧПУ Fanuc и Siemens обеспечена поддержка нескольких стандартных языков программирования, наиболее используемым из которых является релейно-контактные схемы (РКС). Развитие технологии ПЛК позволило перейти от проектирования логических схем на основе релейных элементов к программной реализации алгоритмов управления. В целях обеспечения наглядности и интуитивно понятного синтаксиса для

целевых пользователей (инженеров-электриков) язык описывает логические операции в виде электрических цепей с замкнутыми и разомкнутыми контактами.

Для разработки программ электроавтоматики в системах ЧПУ Bosch Rexroth и NUM используется ядро инструментария CoDeSys, поддерживающего 5 языков программирования стандарта IEC 61131-3, в том числе высокоуровневый структурированный текст (ST). Этот текстовый язык ориентирован на «классических» программистов и предоставляет расширенные возможности для разработки пользовательских решений (коммуникационные библиотеки, серверы сбора данных и другие).

Небольшие производители (NCT, Балт-систем) характеризуются поддержкой одного из стандартных, либо специализированного языка программирования контроллеров.

Таким образом, на основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

- отсутствует единый инструментарий для разработки программ электроавтоматики;
- наиболее распространены графические языки (главным образом, релейно-контактные схемы), не позволяющие простым копированием «переносить» программу электроавтоматики между различными инструментариями разработки;
- поддержка нескольких языков программирования стандарта IEC 61131-3 не обеспечивает возможность конвертирования, т.к. выразительные средства языков различны;
- копирование программы электроавтоматики из одного текстового редактора в другой нецелесообразно в связи с тем, что стандарт регламентирует лишь базовый набор операторов, а производители и пользователи могут создавать собственные библиотеки, в том числе в виде исполняемого (бинарного) файла.

Для решения этой проблемы в диссертационной работе систематизированы требования, предъявляемые к подсистеме электроавтоматики в рамках системы ЧПУ: поддержка нескольких протоколов коммуникации, использование единого инструментария разработки программ электроавтоматики, возможность реконфигурирования модулей ввода/вывода без принципиальных изменений в программной реализации алгоритмов управления.

Реализация свойства мультипротокольности и доступность части исходных кодов системы ЧПУ «Аксиома Контрол» обосновали ее выбор в качестве базы для решения поставленных задач.

Во второй главе установлены взаимосвязи между компоновкой станка, библиотекой готовых решений и типом контроллера электроавтоматики. Построена структурная модель системы ЧПУ с аппаратно-независимым управлением (рисунок 3, пунктиром выделена область исследования) на основе программно-реализованного контроллера. В рамках модели осуществлен перенос функции выполнения программы электроавтоматики с уровня автономного ПЛК на уровень программно-реализованного контроллера в системе ЧПУ.

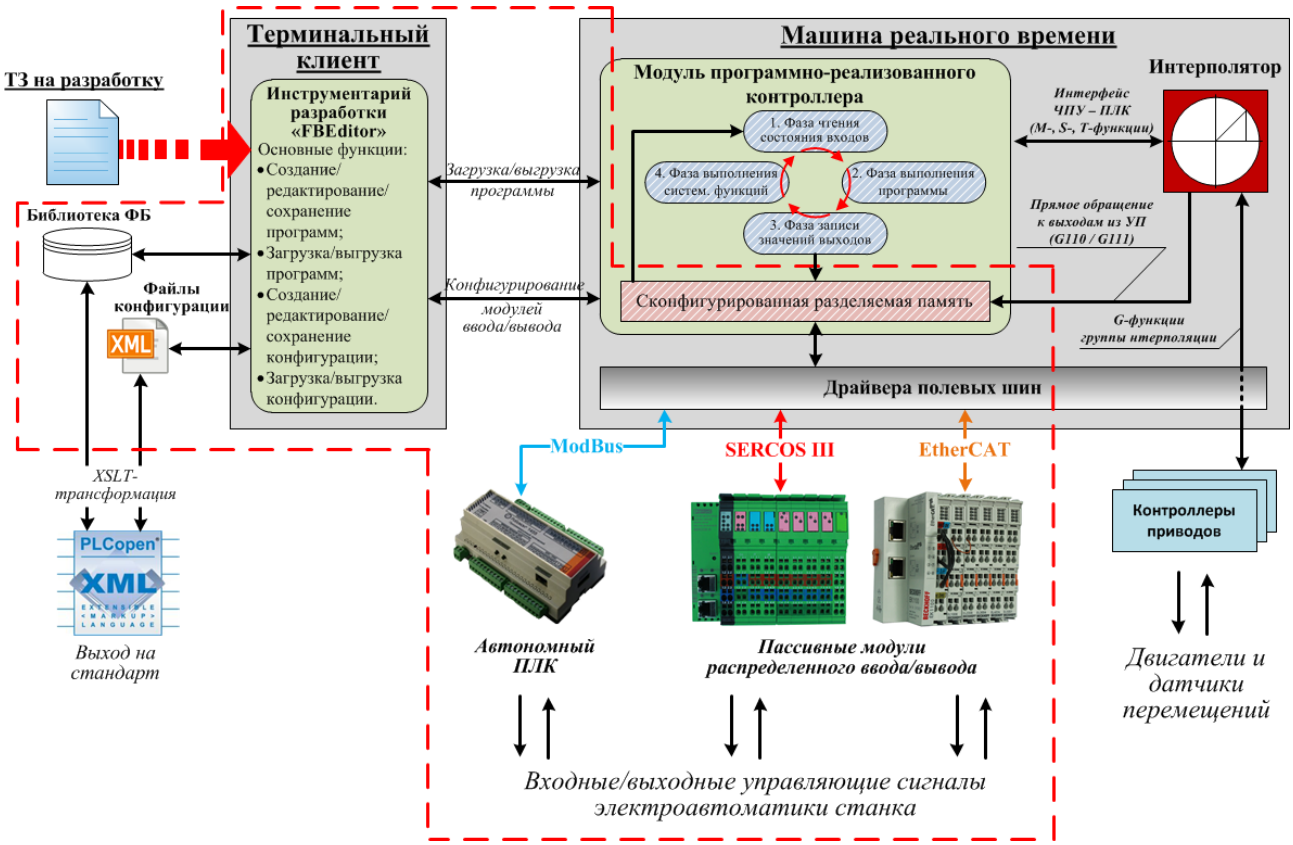

Рисунок 3 – Структурная модель системы ЧПУ с аппаратно-независимым управлением

Передача данных между контроллером и модулем обработчика команд электроавтоматики, содержащихся в кадре управляющей программы или вводимых пользователем вручную, а так же уведомление клиента о статусе их выполнения, осуществляется с использованием интерфейса «ЧПУ–ПЛК».

Создание и редактирование программы ПЛК выполняется в специализированном инструментарии разработки «FBViewer», реализованном в виде терминального клиента системы ЧПУ. В ходе диссертационного исследования функции редактора прикладного программного обеспечения

расширены и для конфигурирования аппаратных модулей, используемых для построения системы управления электроавтоматикой станка.

Согласно предложенному подходу повторяющиеся решения по управлению отдельными подсистемами электроавтоматики сохраняются в расширяемой библиотеке функциональных блоков – в виде совокупности логических элементов, объединенных между собой информационными и управляющими связями. Они доступны для повторного использования при построении систем управления электроавтоматикой станков со схожим набором вспомогательного оборудования.

Файл конфигурации аппаратных средств, как и файл программы ПЛК, описывается с использованием языка разметки XML. Он содержит параметрическое описание аппаратных модулей ввода/вывода сигналов, входящих в состав системы ЧПУ, на основе которого осуществляется идентификация данных каждого отдельного модуля в общем массиве данных.

В качестве аппаратного обеспечения для ввода/вывода физических сигналов используются модули распределенного ввода/вывода – пассивные устройства, не способные осуществлять самостоятельную алгоритмическую обработку данных. Они объединяются в единую сеть с программируемым контроллером по полевой шине. Широкая номенклатура этих устройств обусловлена такими параметрами, как число каналов управления, тип обрабатываемого сигнала и его вольт-амперные характеристики и другими. Использование модулей – это уже общепринятое решение, которое позволяет расширять число входных/выходных сигналов, не создавая избыточную функциональность всей системы управления.

Опциональным вариантом является структурная модель с комбинированным управлением, предполагающая разделение функционала между внешним и интегрированным контроллерами электроавтоматики. Этот вариант целесообразен при построении системы управления электроавтоматикой с использованием решения, ранее разработанного на базе классического ПЛК, с добавлением новых функций в SoftPLC-контроллер. По мере расширения пользовательской библиотеки функциональных блоков уменьшается число задач, реализуемых автономным ПЛК. Таким образом, происходит поэтапный переход от использования аппаратного контроллера к программно-реализованному.

Предложенный подход по реализации аппаратно-независимого управления позволяет абстрагировать исполняемый код от особенностей аппаратного обеспечения (т.е. освобождает от необходимости компилировать

программу ПЛК под конкретную модель программируемого контроллера). В систему управления, при необходимости, могут быть интегрированы модули ввода/вывода различных производителей при условии поддержки системой ЧПУ протокола полевой шины. При этом разработка и внедрение системы управления электроавтоматикой требует изменения не программы ПЛК, а только файла, описывающего конфигурацию аппаратных средств.

В третьей главе предложен способ аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ (рисунок 4) и алгоритм расчета параметров конфигурирования периферийных модулей, сопоставляющий адресное пространство разделяемой памяти ПЛК адресному пространству физической памяти модулей ввода/вывода.

Рисунок 4 – Способ аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ

В качестве исходных данных, детализирующих техническое задание (ТЗ) на разработку используется сопроводительная техническая документация (паспорт оборудования, циклограммы и алгоритмы работы, схемы электрические принципиальные и схемы соединений, перечень элементов, входящих в состав оборудования), а также распечатка аналогичных программ электроавтоматики, разработанных ранее, и соответствующее словесное описание программного кода.

Первый шаг заключается в разделении программной реализации разрабатываемой системы управления электроавтоматикой на три составляющие: уже имеющийся функционал, реализованный в ПЛК;

функционал, уже реализованный в SoftPLC; новый функционал, требующий реализации в SoftPLC.

На основе результатов разделения выбирается один из вариантов построения структурной модели системы ЧПУ:

- с автономным ПЛК, если присутствует только функционал, реализованный с помощью внешнего ПЛК (рекомендуется при модификации станков на основе уже существующего аналога);
- с контроллером типа SoftPLC, если используется только функционал, реализованный на основе контроллера типа SoftPLC (рекомендуется при создании гаммы металлорежущих станков, отличающихся, в основном, габаритами);
- комбинированная модель с разделением общего функционала между автономным ПЛК и SoftPLC-контроллером (рекомендуется для быстрой доработки системы управления электроавтоматикой без изменения базовой программы внешнего ПЛК);
- контроллер SoftPLC с пассивным режимом – для управления вспомогательным оборудованием напрямую из кадра управляющей программы с помощью функции G110/G111 (рекомендуется для станков с малым количеством компонентов электроавтоматики, что делает применение ПЛК избыточным).

Второй шаг предполагает определение структуры системы управления – топологии сети, протокола коммуникации, типа (производитель, модель) и количества аппаратных модулей ввода/вывода.

На третьем шаге осуществляется расчет параметров на основе данных о номенклатуре и количестве требуемых модулей ввод/вывода и последующее их конфигурирование для интеграции в состав системы управления электроавтоматикой.

Все рассчитываемые величины по принадлежности делятся на параметры головных модулей и параметры слотов ввода/вывода (рисунок 5).

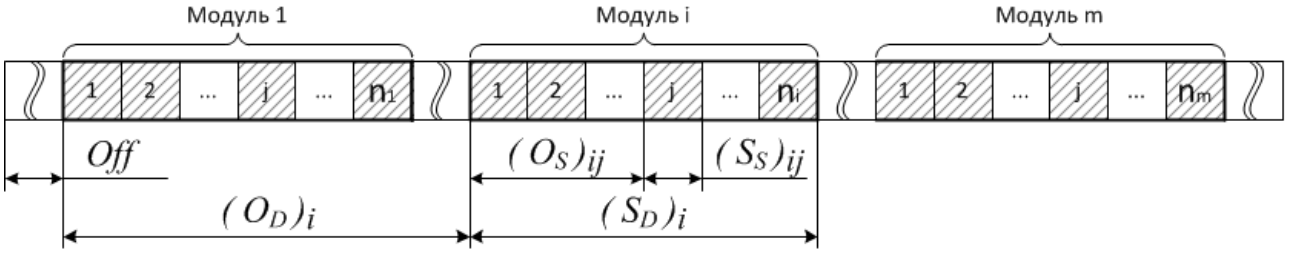

Рисунок 5 – Параметрическое описание отображения слотов ввода/вывода в разделяемой памяти CommonPLCMemory

Исходной характеристикой является размер данных слота S_S (неизменяемая величина). На его основе рассчитывается смещение O_S начального байта данных слота ввода/вывода относительно начального байта данных головного модуля. Величина смещения для j-того слота i-того модуля равна сумме длин пакетов данных предыдущих слотов i-того модуля:

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

Аналогично по формулам (2) и (3) рассчитывается суммарный размер S_D пакета данных модулей ввода/вывода и смещение O_D начального байта данных модулей ввода/вывода относительно нулевого байта разделяемой памяти.

$$(S_D)_i = \sum_{j=1}^{n_i} (S_S)_{ij} = (O_S)_{in_i} + (S_S)_{in_i} \quad (2)$$

$$(O_D)_i = Off + \sum_{p=1}^{i-1} (S_D)_p = (O_D)_{i-1} + (S_D)_{i-1} \quad (3)$$

В заключении номеру N начального байта каждого слота присваивается адрес ячейки разделяемой памяти, в которой хранятся значения этого слота:

$$(N)_{ij} = (O_D)_i + (O_S)_{ij} \quad (4)$$

В результате последовательного выполнения всех шагов получаем XML-файл конфигурации (рисунок 6) подключаемых аппаратных модулей ввода/вывода, в котором содержится информация для идентификации каждого индивидуального модуля и слота ввода/вывода (протокол коммуникации, тип, общий размер данных, адрес в общем массиве синхронизируемых данных).

В четвертой главе продемонстрировано решение логической задачи управления электроавтоматикой станка модели СА535, входящего в Гамму токарно-фрезерных обрабатывающих центров наклонной компоновки (производитель – ОАО «САСТА»), оснащаемых системой ЧПУ «АксиОМА Контрол».

Гамма металлорежущего оборудования является принципиально новой, готовые решения для программируемого контроллера отсутствуют. Несмотря на различия типоразмерных характеристик узлов, новые образцы имеют схожую, либо идентичную друг с другом номенклатуру вспомогательного оборудования и компонентов электроавтоматики. Поэтому для реализации управления системой цикловой электроавтоматики выбрана структурная модель с SoftPLC-контроллером, обеспечивающая сокращение времени на

разработку за счет унифицированной программы (в виде параметризованных функциональных блоков) с последующей адаптацией к каждой модели Гаммы.

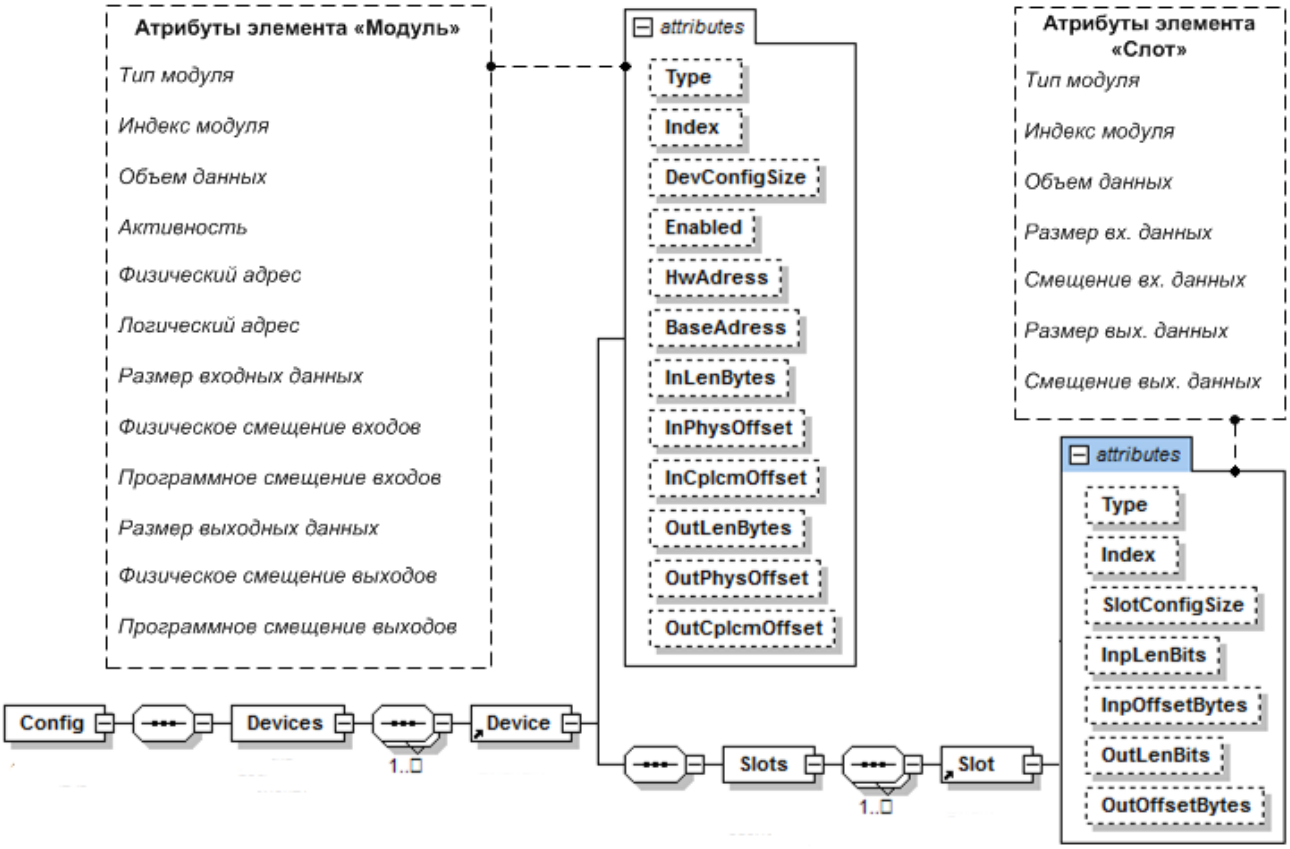

Рисунок 6 – Структура XML-файла конфигурации

Параметризованный функциональный блок представляет собой подпрограмму, реализующую управление отдельным независимым узлом электроавтоматики станка. При этом алгоритмические различия в управлении оборудованием различных производителей описываются с помощью входных параметров, определяющих последовательность выполнения действий и используемых для оперативных вычислений. Например, ФБ управления процедурой автоматической смены инструмента (рисунок 7) использует в качестве параметров число позиций в накопителе, способ ориентирования (по датчику положения инструмента/гнезда накопителя или по датчику двигателя), дискретность датчика двигателя и передаточное отношение (опционально), а также опцию поиска кратчайшего пути. На основе этих данных, а также командной и текущей позиций осуществляется вращение накопителя (поиск инструмента) и фиксация положения (тормоз).

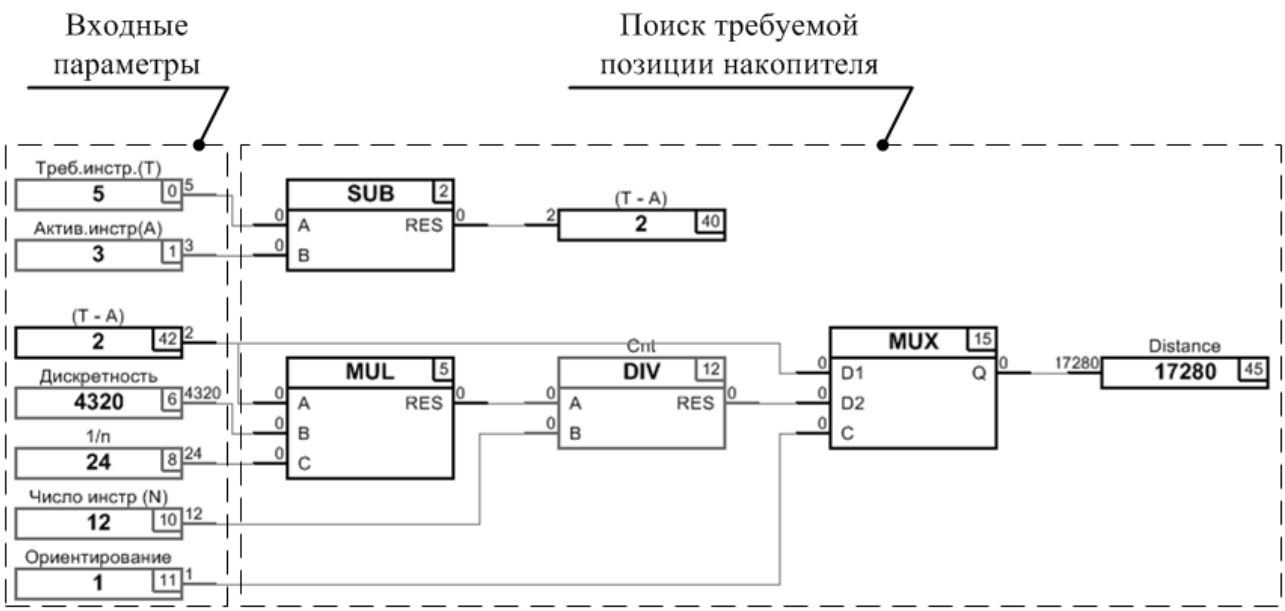

Рисунок 7 – Фрагмент реализации ФБ для автоматической смены инструмента

Выбор единого коммуникационного протокола EtherCAT для управления движением и для управления электроавтоматикой сокращает число вспомогательного оборудования (соответственно, снижается общая стоимость и увеличивая надежность системы). Специфика системы управления заключается в том, что линейные преобразователи перемещений и концевые выключатели обрабатываются не контролером приводов, а в ПЛК. Поэтому для ввода/вывода используются модули расширения Beckhoff, имеющие широкую номенклатуру и поддерживающие высокоскоростной протокол EtherCAT. Обобщенная структурная модель системы управления для моделей, входящих в Гамму, представлена на рисунке 8 (опциональное оборудование выделено точечным пунктиром).

В рамках исследования (область исследования выделена пунктирной линией) проведен эксперимент по оценке быстродействия работы мастера сети «SOEM», выполняющего протокольный обмен данными. Программно-реализованный контроллер, интегрированный в систему ЧПУ, обрабатывает данные, полученные не непосредственно от периферийных модулей, а их копию, хранимую в разделяемой памяти. Актуальность хранимой копии обеспечивается, если период цикла обновления данных меньше периода цикла выполнения программы электроавтоматики. Так как количество модулей ввода/вывода индивидуально для каждого разрабатываемого станка, то для определения функции зависимости периода (T) цикла обновления данных от передаваемого объема данных (V) необходимо решить интерполяционную задачу.

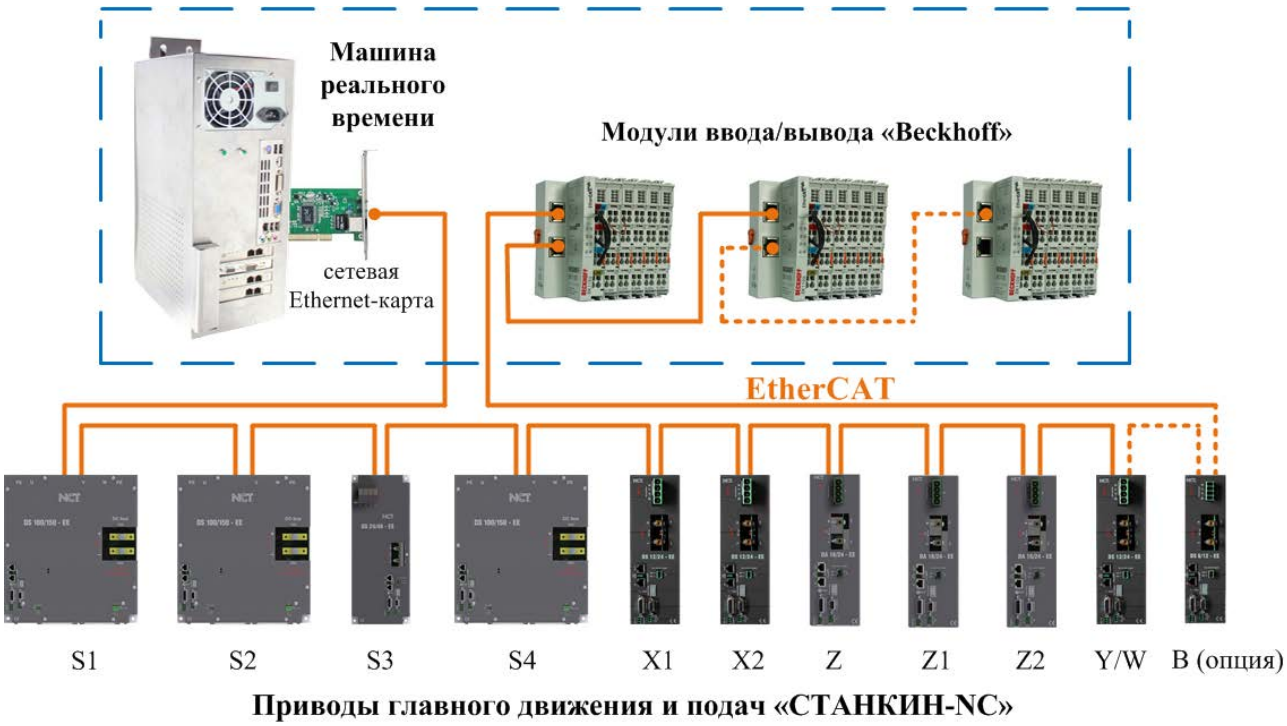

Рисунок 8 – Структурная модель системы ЧПУ для Гаммы токарно-фрезерных станков

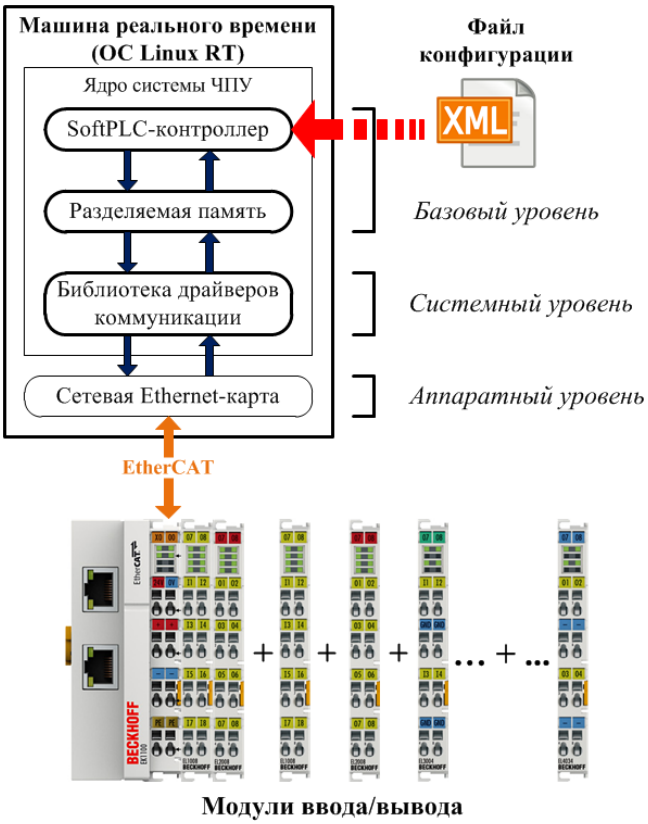

Рисунок 9 – Схема экспериментального стенда

Для проведения эксперимента был собран испытательный стенд (рисунок 9), состоящий из машины реального времени (МРВ) под управлением ОСРВ Linux RT и установленным ядром системы ЧПУ «АксиОМА Контрол».

В состав ПО ядра входит модуль программно-реализованного контроллера типа SoftPLC. В качестве модулей ввода/вывода используются слоты Beckhoff, объединенные с ядром системы ЧПУ по протоколу EtherCAT: «передатчик» 8-ми канальный слот дискретных выходных сигналов EL2008, «приемник» - 8-ми канальный слот EL1008 дискретных входных сигналов. Канал выхода №8 слота EL2008 физически соединен с каналом входа №1 слота EL1008.

Мастер сети программно генерирует импульс уровня логической единицы, передаваемый модулем вывода отображением в области входов разделяемой памяти. Время между записью сигнала в область выходов и его отображением в области входов разделяемой памяти является количественной характеристикой быстродействия системы управления при обмене данными между физической памятью устройств и ее логическим одномоментным отображением в разделяемой памяти.

Цикл измерений проводится с поочередным добавлением новых слотов для увеличения суммарного объема передаваемых данных. В целях исключения резко отклоняющихся результатов для каждого индивидуального набора слотов ввода/вывода проводится по 10 измерений. По результатам измерений построим график зависимости периода (T) от объема передаваемых данных (V) (рисунок 10).

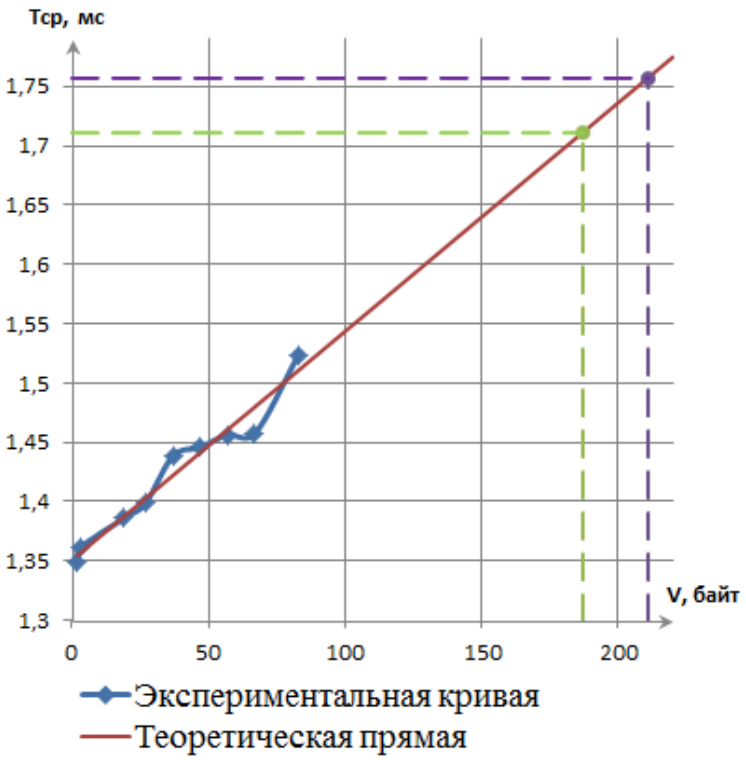

Рисунок 10 – График зависимости периода цикла обновления от объема данных

Зависимость времени передачи данных от объема передаваемых данных близка к линейной. Для аппроксимации точечных значений экспериментальных данных и определения коэффициентов (k) и (b) уравнения прямой

$$T = k * V + b$$

воспользуемся методом наименьших квадратов. Этот математический метод основан на минимизации суммы квадратов отклонений теоретических данных от экспериментальных.

Коэффициент k ≈ 0,001927, коэффициент b ≈ 1,350837. Погрешность метода наименьших квадратов σ ≈ 0,000114. Таким образом, уравнение зависимости периода обновления от объема передаваемых данных имеет вид:

$$T = (0{,}001927 * V + 1{,}350837) \pm 0{,}000114 \quad (5)$$

Суммарный объем входных/выходных данных программы электроавтоматики для токарно-фрезерного обрабатывающего центра модели

СА535 составляет 187 байт, для моделей СА650 / СА720 – 211 байт. В соответствие с эмпирически полученной формулой (10) период цикла синхронизации данных между разделяемой памятью программно-реализованного контроллера и физической памятью модулей ввода/вывода:

- T = 1,711186 ± 0,000114 (мс) – для станка модели СА535;
- T = 1,757434 ± 0,000114 (мс) – для станков модели СА650 и СА720.

Рассчитанные теоретические значения периодов синхронизации данных для входящих в Гамму станков существенно меньше установленного периода цикла выполнения программы электроавтоматики ($T_{ПЛК}$ = 5мс). Это подтверждает обоснованность применения предложенного способа для построения систем управления электроавтоматикой металлорежущих станков, оснащенных широкой номенклатурой вспомогательного оборудования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Выполнена научно-квалификационная работа, в которой содержится решение задачи обеспечения аппаратно-независимого управления электроавтоматикой для сокращения времени выпуска различных компоновок токарно-фрезерных станков с ЧПУ на основе выделения уровня исполнения программного обеспечения, абстрактного от специфики аппаратных модулей ввода/вывода.

2. Установлены взаимосвязи между компоновкой станка и библиотеками готовых программ управления электроавтоматикой и функциональных блоков, отражающие структурную схему системы управления и тип используемого программируемого контроллера.

3. На основе установленных взаимосвязей построена структурная модель аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ, отличающаяся переносом выполнения программы электроавтоматики с уровня автономного ПЛК на уровень программно-реализованного контроллера в системе ЧПУ.

4. Предложен способ аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ, обеспечивающий возможность варьировать состав периферийных модулей ввода/вывода без изменения программы электроавтоматики посредством редактирования файла конфигурации.

5. Разработан алгоритм и осуществлена программная реализация расчета параметров модулей ввода/вывода в зависимости от компоновки станка для

инструментария разработки и конфигурирования программы электроавтоматики.

6. Эффективность разработанного способа аппаратно-независимого управления электроавтоматикой технологического оборудования доказана внедрением результатов диссертации в ООО «Инжиниринговая компания «Интермашстрой» (г. Коломна, Московская обл.).

7. Полученные результаты рекомендованы к применению на предприятиях машиностроительного профиля, разрабатывающих металлообрабатывающие станки и комплексы с ЧПУ, а также в учебном процессе при подготовке научных кадров по направлению «Автоматизация технологических процессов и производств».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в периодических изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Мартинов, Г.М. Организация распределенного управления станком гидроабразивной резки с ЧПУ / Г.М. Мартинов, Р.А. Нежметдинов, С.В. Рыбников, А.У. Кулиев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – №11. – с. 35-39

2. Пушков, Р.Л. Практические аспекты построения многотерминального человеко-машинного интерфейса на примере системы ЧПУ "АксиОМА Контрол" / Р.Л. Пушков, С.В. Евстафиева, С.В. Соколов, Р.А. Абдуллаев, П.А. Никишечкин, А.У. Кулиев, А.Е. Сорокоумов // Автоматизация в промышленности. – 2013. – №5. – с. 37-41.

3. Нежметдинов, Р.А. Практические аспекты построения систем управления электроавтоматикой токарных и токарно-фрезерных станков / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев, А.Ю. Николушкин, Н.Ю. Червоннова // Автоматизация в промышленности. – 2014. – №4. – с. 49-51

Другие публикации:

4. Кулиев, А.У. Организация управления электроавтоматикой токарно-фрезерных станков на базе контроллера SoftPLC / А.У. Кулиев // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и техники», Выпуск II. – 2015. – с.20-23.

5. Кулиев, А.У. Способ аппаратно-независимого управления электроавтоматикой станков с ЧПУ / А.У. Кулиев // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения», Выпуск II. – 2015. – с.21-23.

6. Кулиев, А.У. Разработка способа аппаратно-независимого управления электроавтоматикой в системе ЧПУ. Тезисы 12-й Международной конференции / А.У. Кулиев // XII Международная конференция и выставка «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» (CAD/CAM/PDM-2012). – 2012. – с.65.

7. Кулиев, А.У. Построение распределенной системы управления электроавтоматикой станка гидроабразивной резки на базе автономных ПЛК / А.У. Кулиев // Всероссийская молодежная конференция "Автоматизация и информационные технологии" (АИТ-2012), ФГБОУ ВПО МГТУ "СТАНКИН". – 2012.

8. Нежметдинов, Р.А. Контроль коммуникации между автономными ПЛК в распределенных системах управления технологическим оборудованием с ЧПУ / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев // Всероссийская молодежная конференция "Инновационные технологи в машиностроении" (ИТМ - 2011), ФГБОУ ВПО МГТУ "СТАНКИН". – 2011. – с.259-263.

9. Нежметдинов, Р.А. Особенности применения систем ЧПУ для станков комбинированной обработки / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев // XIX Международная научно-техническая конференция "Информационные средства и технологии". – 2011. – с.94-99.

10. Нежметдинов, Р.А. Построение распределённых систем управления на базе автономных ПЛК для управления электроавтоматикой станков гидроабразивной резки / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев, Н.Ю. Червоннова // Материалы IV Всероссийской мультиконференции по проблемам управления (МКПУ - 2011), с. Дивноморское. – 2011. – с.361-363.

11. Кулиев, А.У. Разработка системы ЧПУ для станка механо-лазерной обработки / А.У. Кулиев, Р.А. Нежметдинов // Всероссийская научная школа "Современные технические средства диагностики металлорежущих станков" (6-7 сентября 2011 г., МГТУ им. Баумана). – 2011. – с.40-42.

12. Кулиев, А.У. Диагностика коммуникационной связи в распределенных системах управления технологическим оборудованием с ЧПУ / А.У. Кулиев, Р.А. Нежметдинов // Материалы XI Международной конференции "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2011)». – 2011. – с.46.

13. Нежметдинов, Р.А. Интеграция аппаратных средств электроавтоматики в состав системы ЧПУ / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев // Труды III

Международной научно-технической конференции "Модернизация машиностроительного комплекса России на научных основах технологии машиностроения" (ТМ-2011). – 2011. – с.305-307.

14. Нежметдинов, Р.А. Принципы построения распределенных систем управления электроавтоматикой на базе взаимодействия автономных ПЛК / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев, Н.Ю. Червоннова // Труды Международной научно-практической конференции "Передовые информационные технологии, средства и автоматизации и их внедрение на российских предприятиях" (AITA-2011). – 2011. – с. 725-728.

15. Нежметдинов, Р.А. Реализация системы управления электроавтоматикой токарного станка с ЧПУ 16А20Ф3 на базе логического контроллера / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев // II Международная интернет-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (InnoTech 2010) – 2010.

16. Кулиев, А.У. Реализация системы управления электроавтоматикой для фрезерного обрабатывающего центра с ЧПУ МС-400 / А.У. Кулиев, Р.А. Нежметдинов // Материалы III Научно-образовательной конференции «МАШИНОСТРОЕНИЕ – ТРАДИЦИИ И ИННОВАЦИИ» (МТИ-2010), МГТУ «Станкин». – 2010. – с.105-110.

17. Нежметдинов, Р.А. Реализация распределенной системы управления гибкой производственной ячейкой на базе логических контроллеров Российского производства / Р.А. Нежметдинов, А.У. Кулиев // Материалы X Международной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2010)». –2010.

Объекты интеллектуальной собственности:

1. Григорьев А.С., Нежметдинов Р.А., Кулиев А.У. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010617381 «Универсальная виртуальная панель управления технологическим оборудованием» от 10.11.2010.

2. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Кулиев А.У., Никишечкин П.А., Ковалев И.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012660015 «Программный компонент проектирования и редактирования управляющих программ для ПЛК на языке Functional Blocks» от 08.11.2012.