«Модели и алгоритмы синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов»

Цель работы:

Сокращение времени разработки специализированных средств автоматизации технологических процессов и производств на основе синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации в зависимости от конкретного технического задания на объект управления.

Задачи работы:

1. Разработать структурную модель компонентов кроссплатформенного контроллера автоматизации для работы в виде автономного устройства (автономное решение) или в составе системы ЧПУ (встраиваемое решение).
2. Разработать обобщенную архитектурную модель автономного решения и встраиваемого решения;.
3. Разработать способ синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов;
4. Реализовать на базе предложенных моделей и комбинированного алгоритма синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации прикладные решения для управления электроавтоматикой гаммы резьбошлифовальных станков в составе системы ЧПУ и при управлении гидроцилиндром в качестве автономного решения.

Научная новизна

1. Установлены взаимосвязи между технологической задачей производственного оборудования и нагрузкой на вычислительное ядро системы управления, позволяющие определить необходимый состав и количество модулей для синтеза ядра кроссплатформенного контроллера автоматизации.
2. На основе установленных взаимосвязей построена структурная модель кроссплатформенного контроллера автоматизации для автономного решения и встраиваемого решения в систему управления, отличающаяся выделением набора обязательных и выбираемых модулей, привязанных к программно-аппаратной платформе исполнения .
3. Разработан и реализован комбинированный алгоритм нахождения граничных условий по количеству модулей для синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации и количеству компонентов программы управления, учитывающий техническое задание на объект управления, а также программно-аппаратную платформу исполнения.
4. Предложен способ синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов на основе матрицы выбора модулей.
5. Разработан инструментарий определения вычислительных возможностей программно-аппаратной платформы и проверки работоспособности синтезируемого контроллера автоматизации.

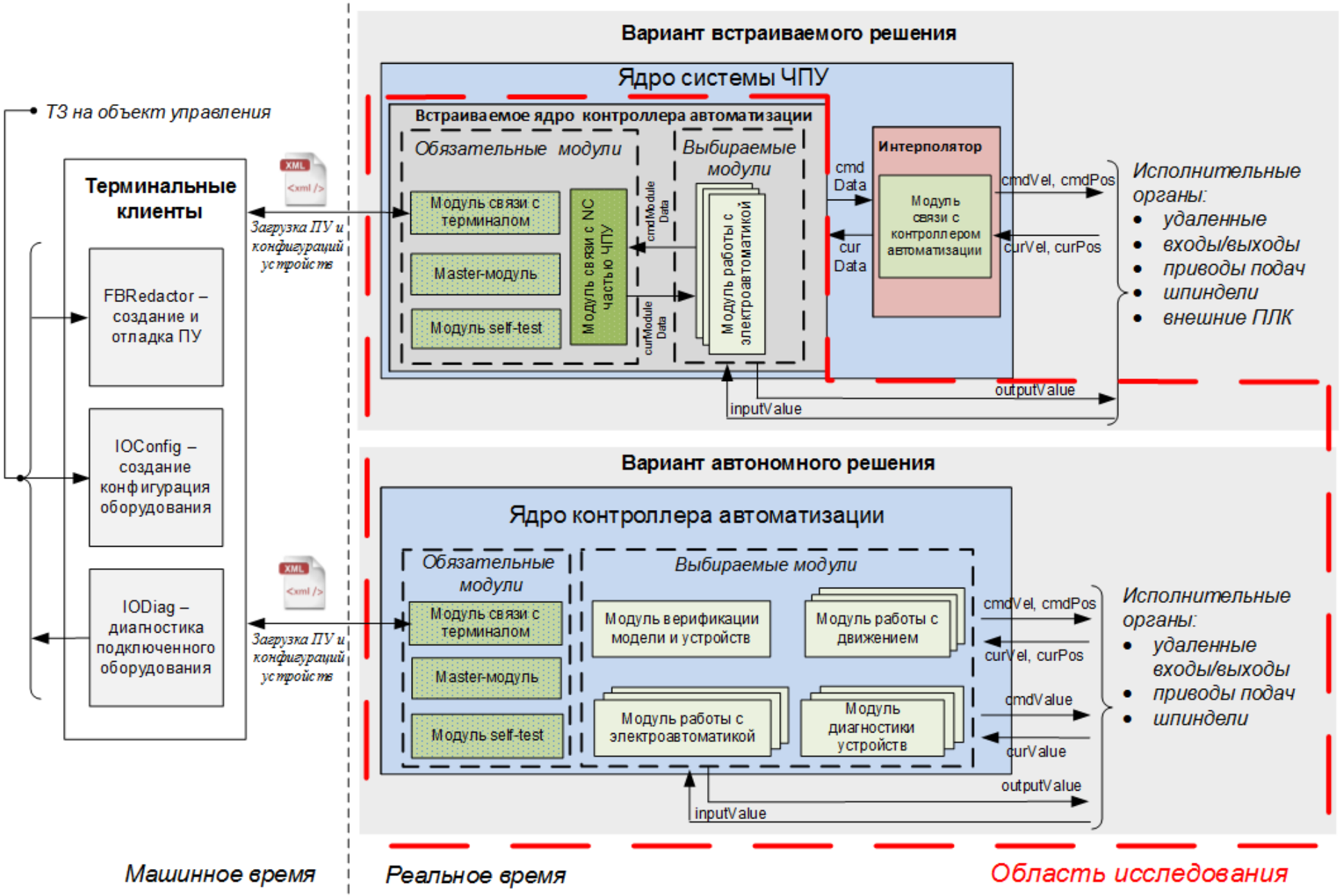
Практическая значимость работы заключается в:

1. Созданной методике определения набора модулей для синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов на основе технического задания на объект управления;
2. Разработке базового набора обязательных и выбираемых модулей и программных компонентов, обеспечивающих синтез кроссплатформенного контроллера автоматизации;
3. Наборе специализированных оценочных тестов для определения вычислительных возможностей программно-аппаратной платформы исполнения;
4. Разработанном программном инструментарии определения вычислительных возможностей программно-аппаратной платформы и проверки работоспособности синтезируемого контроллера автоматизации.

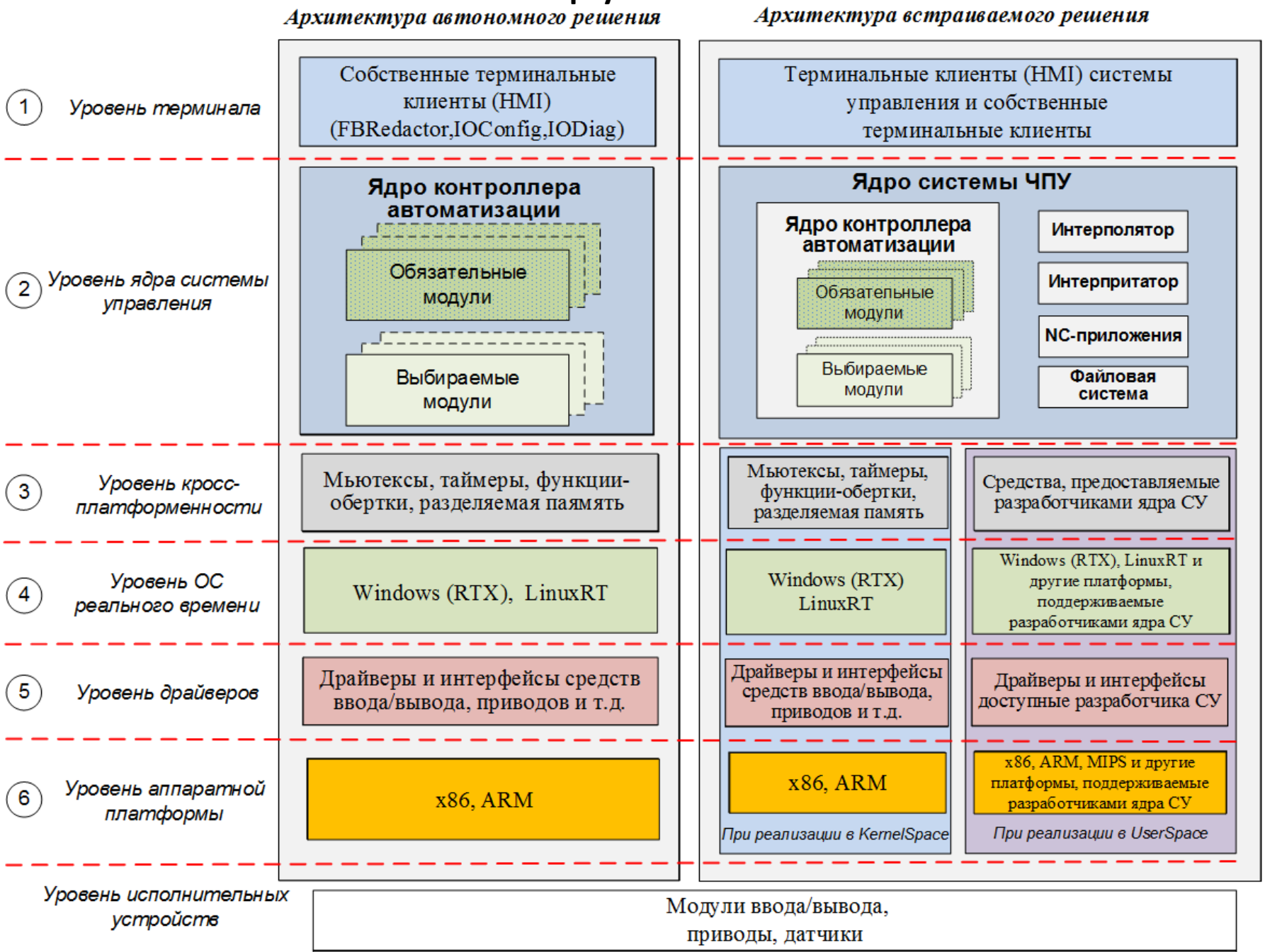
Анализ архитектурных решений систем ЧПУ и РАС

Характеристики	Системы ЧПУ				РАС системы		
	Fanuc 30i	*Fagor 8055*	*УЧПУ NC-301*	*«АксиОМА Контрол»*	*IndraControl XM*	*WinAc*	*WinPAC ICP*
Открытость системы управления, возможность масштабирования							
Открытость системы	Закрытая	Открытая	Закрытая	Открытая	Открытая	Закрытая	Закрытая
Масштаби-рование	Нет	Для ПО	Нет	Для ПО и аппаратной	Для ПО	Нет	Нет
Особенности технических характеристик							
Управление движением	Да	Да	Да	Да	Доп.пакет MC	Доп.пакет Easy MC	Нет
Тип решения логической задачи	SoftPLC	SoftPLC	Собственные входы/выход	SoftPLC	SoftPLC	ПЛК S7	Собственные входы/выходы
Протоколы связи	FSSB Genius	CANOpen Sercos II	Аналогоые интерфейсы	SercosIII, CAN,EtherCAT	SercosIII, EtherNet IP	ProfiBus DP ProfiBus IO	CANOpen, RS-485/422
ОС ядра	Windows Embedded	Linux	MS-DOS	Win RTX LinuxRT	UNIX	Win RTX	Win CE
Особенности работы системы управления							
Синтез ядра в зависимости ТЗ	Широкая линейка	Нет	Нет данных	Нет	Набор библиотек	Нет	Нет
Портируемость		На уровне ОС	Нет	Да	Широкая линейка	Нет	Нет
Стоимость,$	~15000	~8000	~2000	~4000	~1100	~700	~1000

Структурная модель кроссплатформенного контроллера автоматизации (встраиваемое/автономное решение)



Обобщенная архитектурная модель кроссплатформенного контроллера по типу виртуальной машины



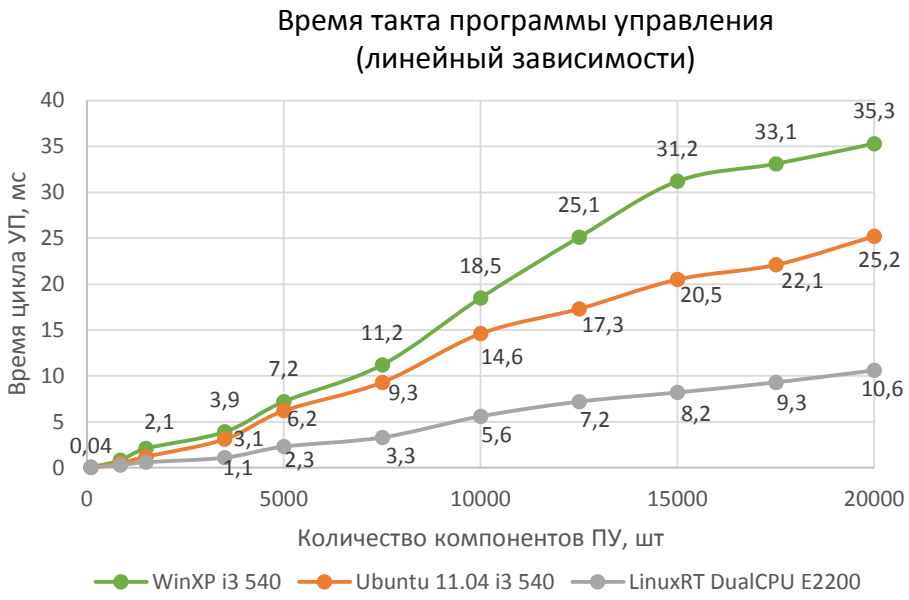
Способ синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов

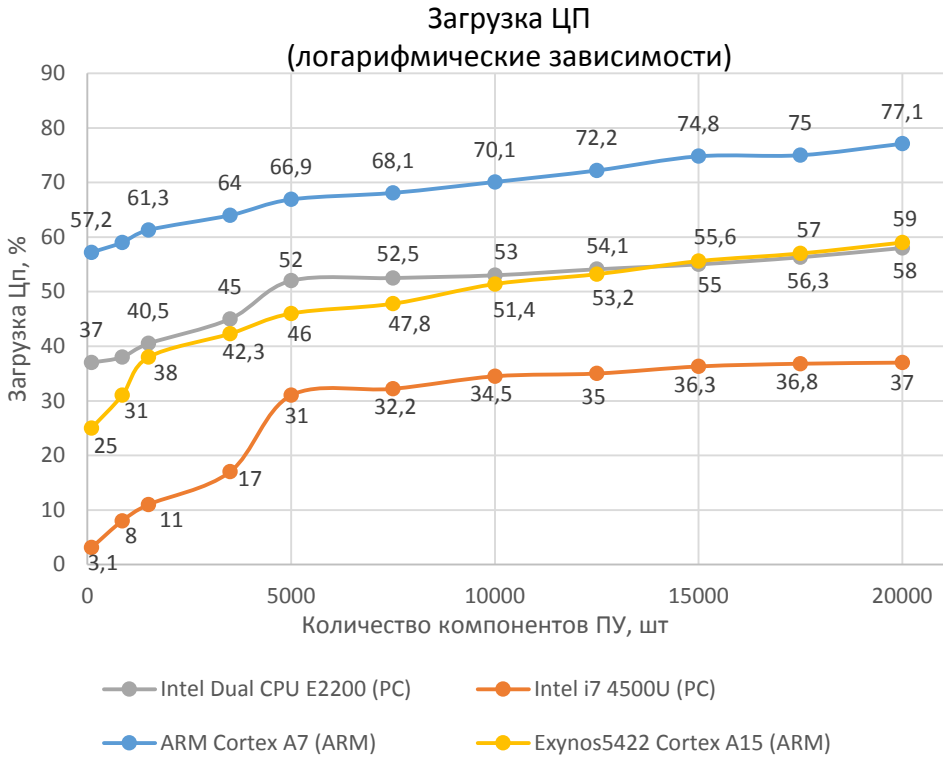
Шаг 1: Матрица выбора модулей для синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов

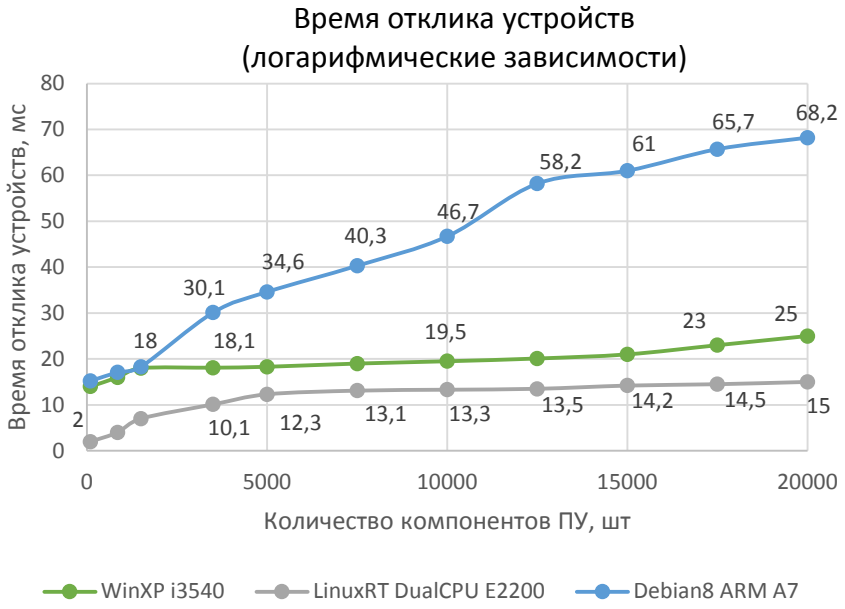
	Модули	Обязательные модули			Выбираемые модули							
		Связь с терми-налом	Мастер-модуль	Self-test	Электроавто-матика		Работа с движением			Диагностика		Связь с NC частью ЧПУ
	Подмодули	Терминальный клиент	Сборка выбранных модулей	Проверка работоспособ-ности	Решение логической задачи	Дискретные/аналоговые входы/выходы	Решение геометрич. задачи	Синхронные/асинхронные двигатели	Шаговые двигатели	Внешние устройства	Канал обмена данными	Расширение возможностей системы управления
Функциональность	Подсистема электроавто-матики											
	Измерение инструмента и заготовки											
	Управление сменой инструмента											
	Гидромоторы и гидроцилиндры											
	Диагностика подсистем и оборудования											

Шаг2: Определение вычислительных способностей программно-аппаратной платформы

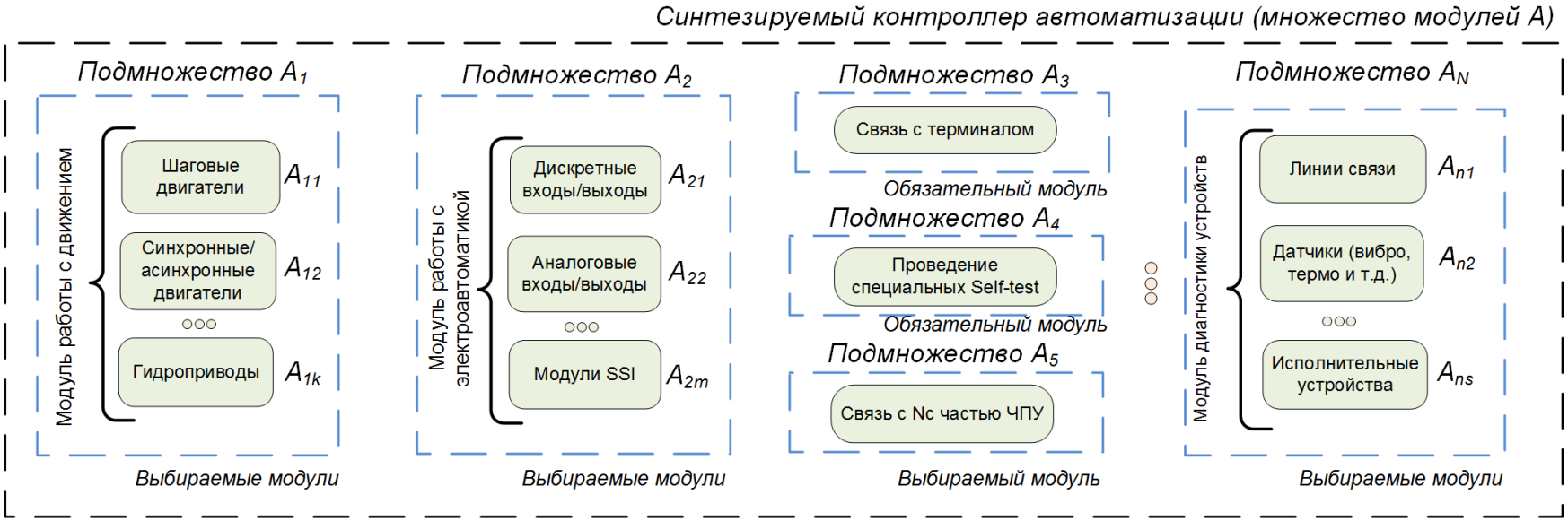
Ограничивающие параметры	Вид анализа	Описание (набор специализированных тестов)
Используемая ОЗУ	Статический анализ	Обязательные и выбираемые модули, компоненты программы управления
Загрузка ЦП	Анализ исходя из конкретной программно-аппаратной платформы исполнения	Табличные характеристики с последующей аппроксимацией значений
Время цикла программы управления		
Время отклика устройств		В зависимости от конфигураций конкретного оборудования







Шаг 3: Синтез контроллера автоматизации с выстраиванием взаимосвязей



$$\mathbf{A} = \{\mathbf{A_1}, \mathbf{A_2} \dots \mathbf{A_n}\} = \{\{\mathbf{A_{11}}, \mathbf{A_{12}} \dots \mathbf{A_{1k}}\}, \{\mathbf{A_{21}}, \mathbf{A_{22}} \dots \mathbf{A_{2m}}\} \dots \{\mathbf{A_{N1}}, \mathbf{A_{N2}} \dots \mathbf{A_{Ns}}\}\} \quad \text{при } k, m, n, s\ i \in \mathbb{N}$$

Синтез модулей

ТЗ на объект управления →

Набор спец.тестов →

$$\sum_{i=1}^{N} X(A_i)$$

→ *Технологические операции*

$f|_A : A \to \mathbb{N};\ f|_A(x) = f(x)$ где f| A – функция ограничения функции f на множестве A

f(x) – определяется из изменений загрузки процессора, загрузки ОЗУ, цикла УП, времени отклика устройств

Функция ограничения при линейной зависимости данных тестирования

$$f|_A(x) = \left(\frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n}(x_i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}\right)x + \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \sum_{i=1}^{n}(x_i \cdot y_i)}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

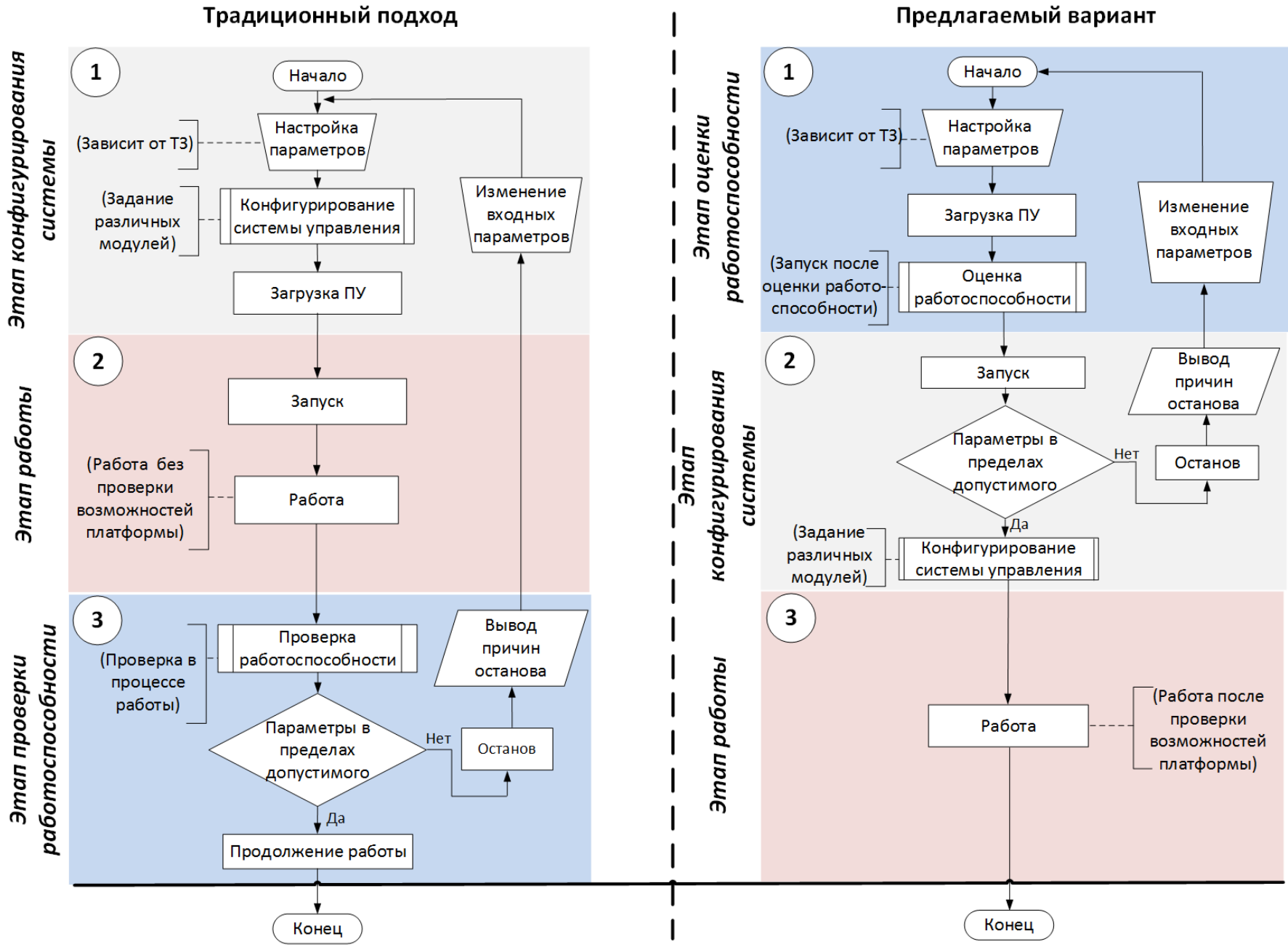
при $i, n \in \mathbb{N}$

Функция ограничения при логарифмической зависимости данных тестирования

$$f|_A(x) = \ln\left(\frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n}(\ln x_i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^{n} \ln x_i \cdot \sum_{i=1}^{n} y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^{n}(\ln x_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} \ln x_i\right)^2}\right)x + \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i \cdot \sum_{i=1}^{n}(\ln x_i)^2 - \sum_{i=1}^{n} \ln x_i \cdot \sum_{i=1}^{n}(\ln x_i \cdot y_i)}{n \cdot \sum_{i=1}^{n}(\ln x_i^2)^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} \ln x_i\right)^2}$$

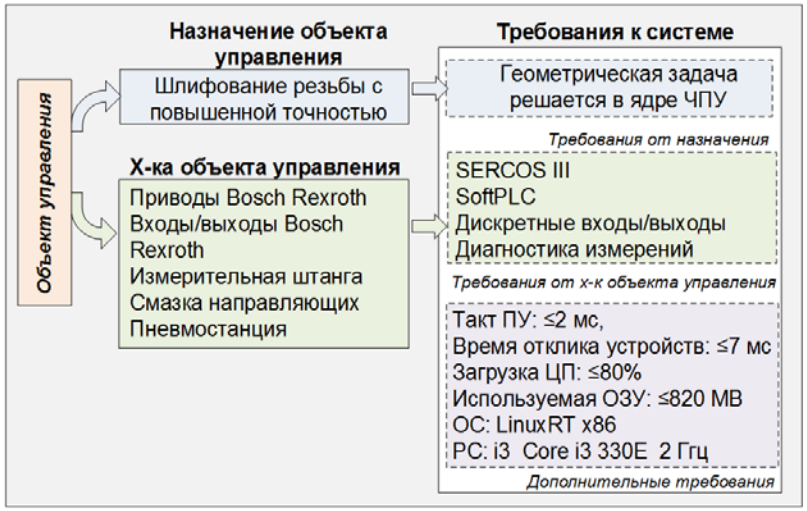
при $i, n \in \mathbb{N}$

Шаг 4: Проверка работоспособности синтезированного кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов

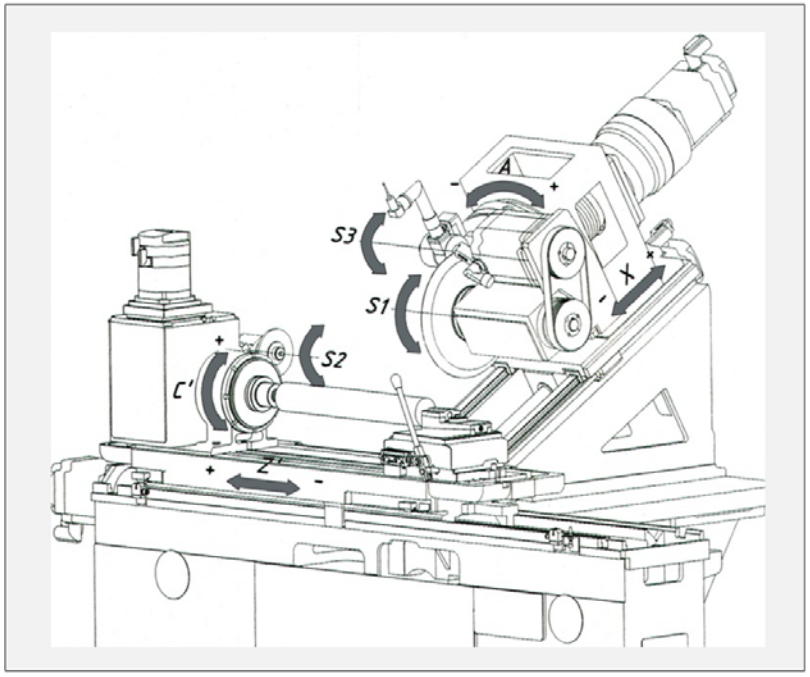


Контроллер автоматизации, встраиваемый в систему ЧПУ «АксиОМА Контрол» для управления электроавтоматикой резьбошлифовального станка модели 80/480

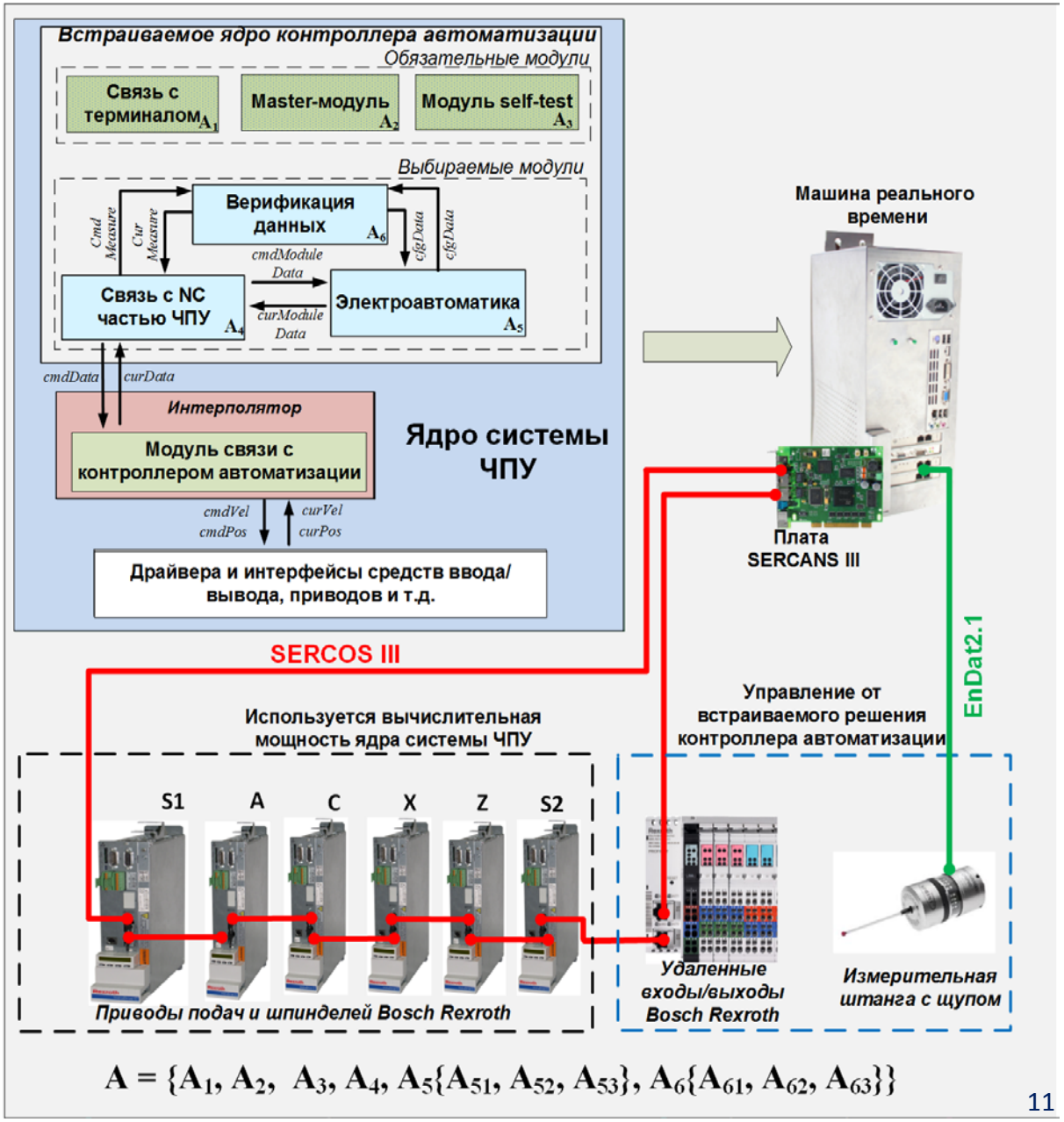
Карта технического задания



Эскиз резьбошлифовального станка (80/480)



Структурная модель встраиваемого решения



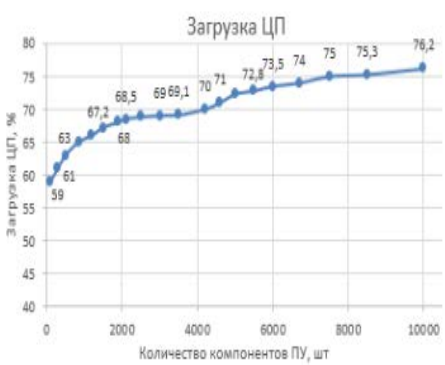
$$A = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5\{A_{51}, A_{52}, A_{53}\}, A_6\{A_{61}, A_{62}, A_{63}\}\}$$

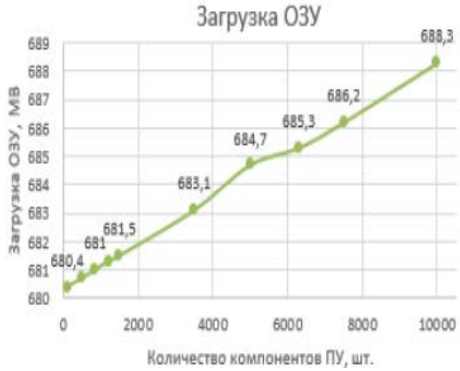
Определение функций ограничений на множестве (встраиваемое решение)

Начальные характеристики платформы

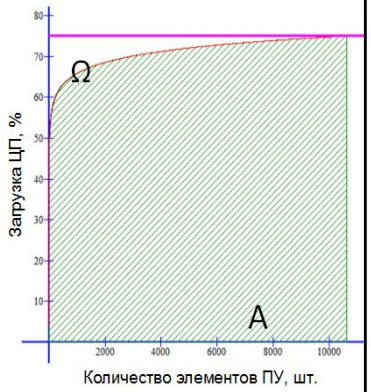
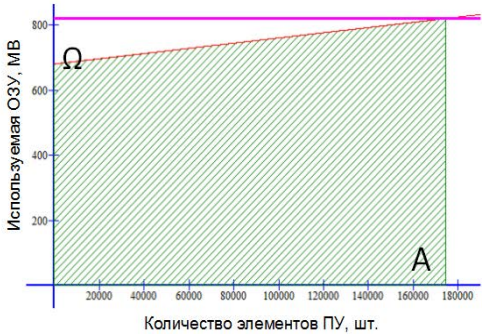
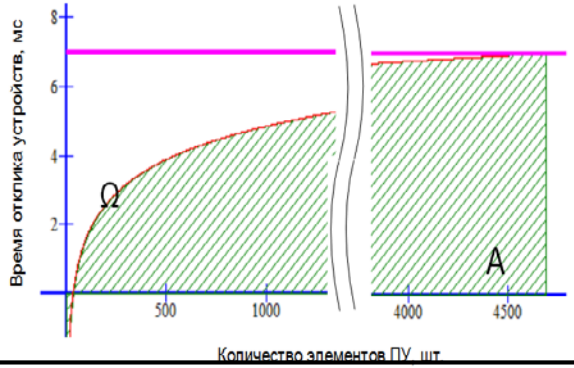
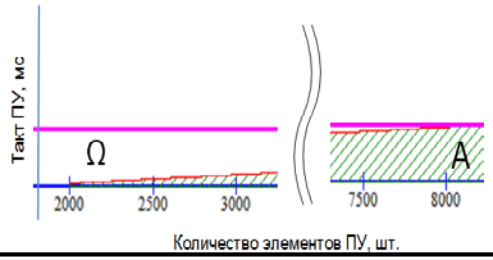
	Модули без компонентов ПУ	ЧПУ (в простое)	ЧПУ (нагрузка)
Загрузка ЦП, %	18	25	41
Загрузка ОЗУ, МВ	150	410	530
Такт пустой ПУ, мс	0,05	0,1	0,3

Проведение оценочных тестов





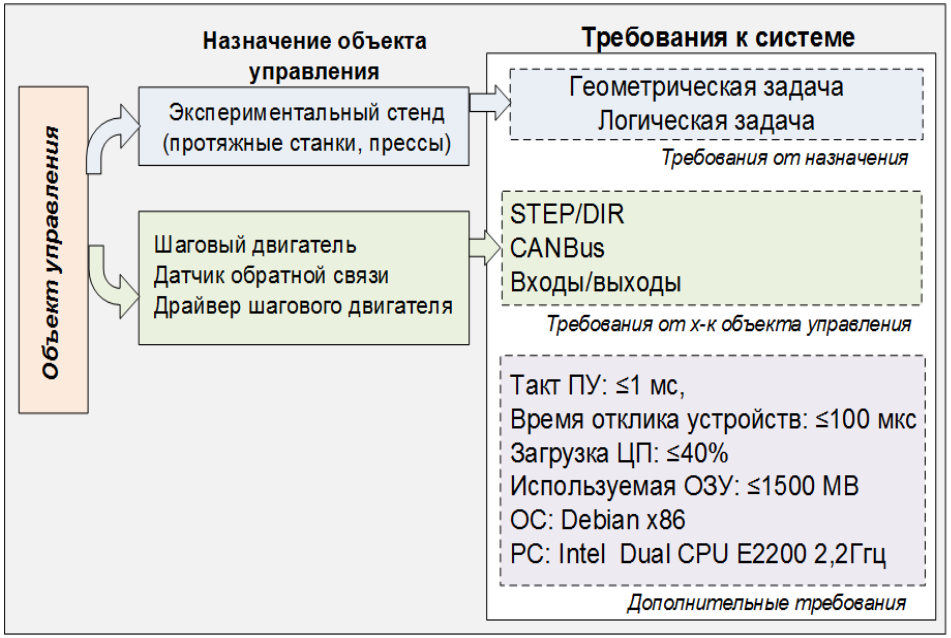
Функции ограничения множества

Ограничение по загрузке ЦП	Ограничение по загрузке ОЗУ	Ограничение по времени отклика устройств	Ограничение по времени такту программы управления
			
$\begin{cases} f\|_A(x) = 3{,}86\ln(x) + 39{,}21 \\ y(x) = 80 \end{cases}$	$\begin{cases} f\|_A(x) = 0{,}0008x + 680{,}34 \\ y(x) = 820 \end{cases}$	$\begin{cases} f\|_A(x) = 1{,}39ln(x) - 4{,}75 \\ y(x) = 7 \end{cases}$	$\begin{cases} f\|_A(x) = 0{,}0003x + 0{,}47 \\ y(x) = 2 \end{cases}$
К = 10626 шт.	К = 174575 шт.	***К = 4690 шт.***	К = 8233 шт.

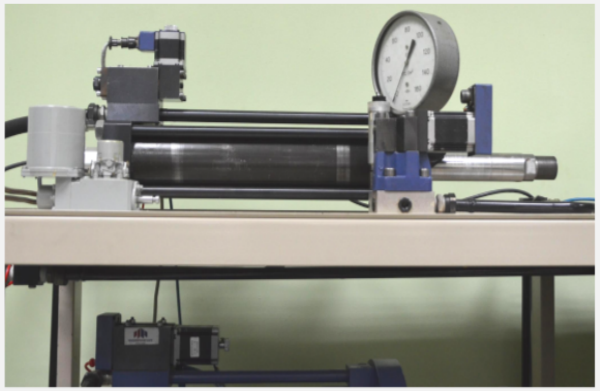
<u>4300 шт. – компонентов программы управления потребовалось в итоге</u>, при рекомендованном среднем максимальном значение компонентов 4690 шт.

Контроллер автоматизации, применяемый как автономное решение при управлении гидроцилиндром

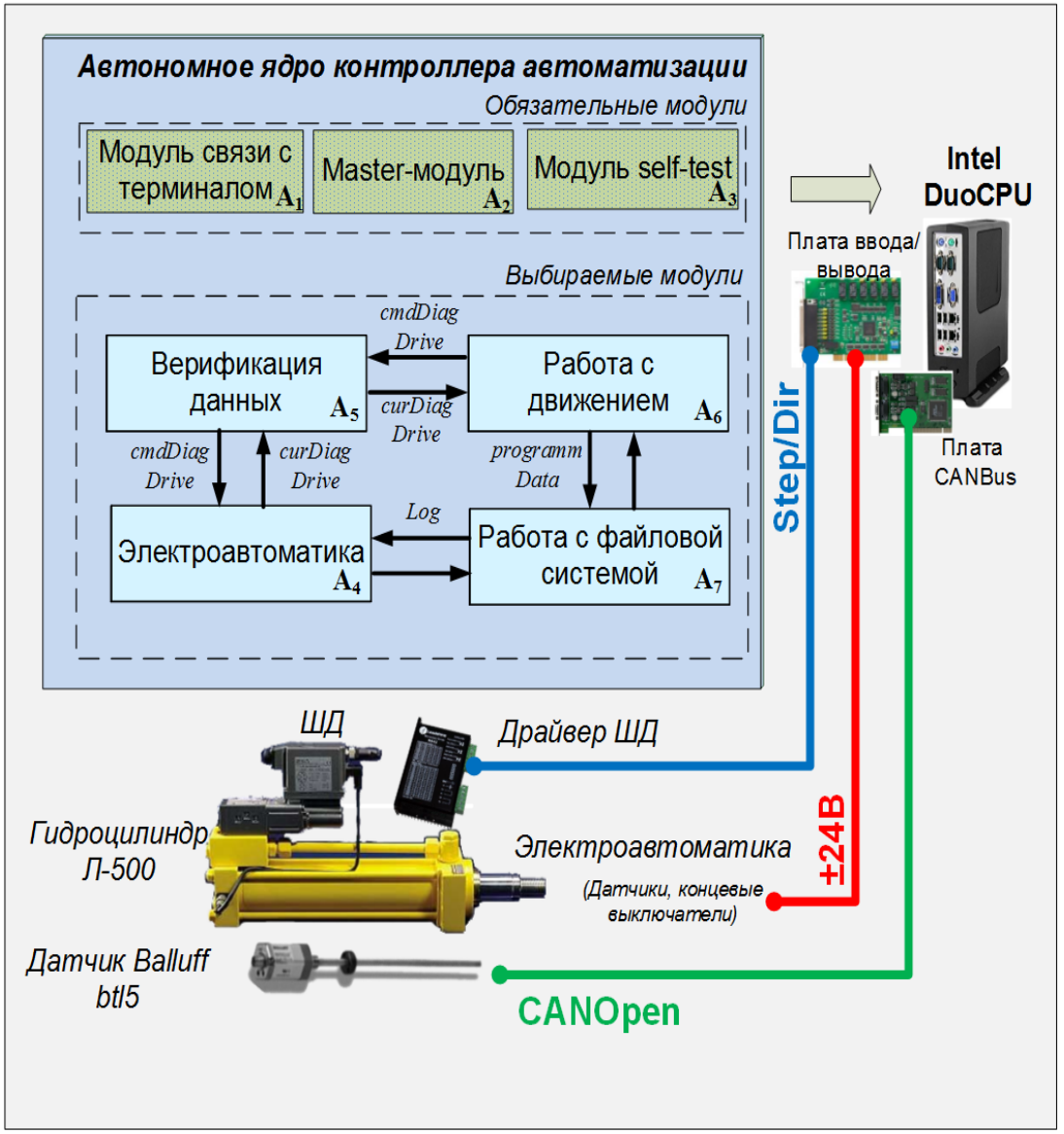
Карта технического задания



Экспериментальный стенд гидроцилиндра Л-500



Структурная модель автономного решения

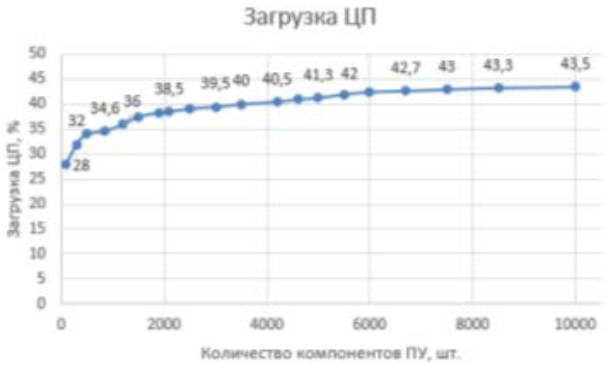


Определение функций ограничений на множестве (автономное решение)

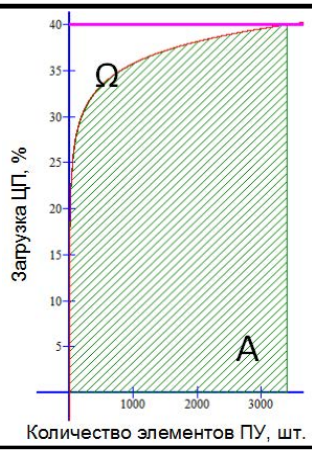
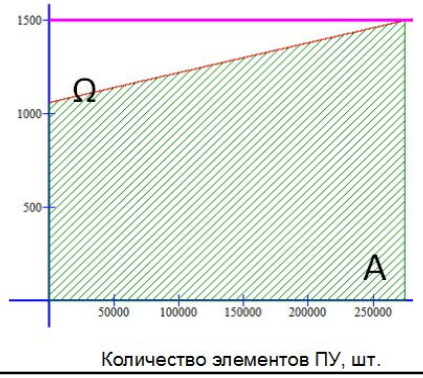
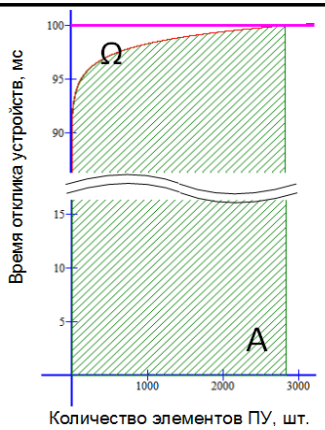
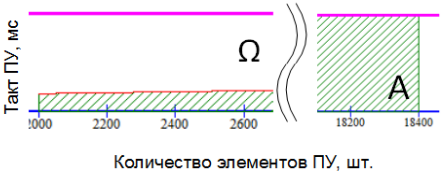
Начальные характеристики платформы

	Без ядра контроллера	Пустые модули
Загрузка ЦП, %	10	18
Загрузка ОЗУ, МВ	800	260
Такт пустой ПУ, мс	0,1	-

Проведение оценочных тестов



Функции ограничения множества

Ограничение по загрузке ЦП	Ограничение по загрузке ОЗУ	Ограничение по времени отклика устройств	Ограничение по времени такту программы управления
			
$\begin{cases} f\|_A(x) = 3{,}42\ln(x) + 12{,}1 \\ y(x) = 40 \end{cases}$	$\begin{cases} f\|_A(x) = 0{,}0016x + 1060{,}9 \\ y(x) = 1500 \end{cases}$	$\begin{cases} f\|_A(x) = 1{,}63ln(x) + 87{,}04 \\ y(x) = 100 \end{cases}$	$\begin{cases} f\|_A(x) = 0{,}0001x + 0{,}16 \\ y(x) = 1 \end{cases}$
K = 3407 шт.	K = 274436 шт.	***K = 2836 шт.***	K = 18400 шт.

<u>2300 шт. – компонентов программы управления потребовалось в итоге</u>, при рекомендованном среднем максимальном значение компонентов 4690 шт.

Основные выводы и результаты

1. Выполнена научно-квалификационная работа, в которой содержится решение актуальной задачи, связанной с разработкой моделей и алгоритмов синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации, направленной на сокращение времени разработки специализированных средств систем управления технологическими процессами.
2. В процессе работы установлены взаимосвязи между технологической задачей и нагрузкой на вычислительное ядро системы управления, отличительной особенностью которых является возможность определения необходимого набора модулей для синтеза ядра кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов и предельно допустимого количества компонентов программы управления.
3. На основе установленных взаимосвязей построена структурная модель кроссплатформенного контроллера автоматизации, отличающаяся выделением набора базовых и выбираемых модулей.
4. Разработан алгоритм и осуществлена программная реализация нахождения граничных условий по количеству модулей для синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации, а также определение предельного количества компонентов программы управления, учитывающие ТЗ на объект управления и программно-аппаратную платформу исполнения.
5. Предложен способ синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов, позволяющий сократить время разработки специализированных средств систем управления технологическими процессами без потери качества.
6. Эффективность разработанного способа синтеза кроссплатформенного контроллера автоматизации технологических процессов доказана внедрением результатов диссертации на ЗАО «МСЗ Салют» (г. Москва), что позволило сократить время разработки подсистемы электроавтоматики на 27 % (с 720 чел.-час часов до 525,6 чел.-час).
7. Полученные результаты рекомендованы к применению на предприятиях машиностроительного профиля, разрабатывающих металлообрабатывающие станки и комплексы с ЧПУ, а также в учебном процессе при подготовке инженерных кадров по направлению «Автоматизация технологических процессов и производств»