

На правах рукописи



ЛЕ БА ЧУНГ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ
ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С ВАРИАТИВНОЙ
МОДЕЛЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(информационные и технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2018 г.

Работа прошла апробацию на кафедре «Электронных вычислительных машин»
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Московский физико-технический институт
(государственный университет)»

Научный руководитель:

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Преображенский Николай Борисович

Ведущая организация: Акционерное общество «Научно-исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры «Прогресс» (АО «НИИМА «Прогресс»).

Защита состоится 07.12.2018 в 13:00 на заседании диссертационного совета ФРКТ 05.13.01.005 по адресу 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Московского физико-технического института (государственного университета)
<https://mipt.ru/education/post-graduate/soiskateli-tekhnicheskie-nauki.php>

Работа представлена «17» сентября 2018 г. в Аттестационную комиссию федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» для рассмотрения советом по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук в соответствии с п.3.1 ст. 4 Федерального закона «О науке и государственной научно-технической политике».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа посвящена разработке информационной среды цифровых систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования, а также архитектуре централизованной цифровой системы управления с удаленными узлами, обладающими минимальной алгоритмической сложностью.

Актуальность исследования. Цифровые системы управления (ЦСУ) традиционно строятся по принципу разбиения общей задачи на несколько локальных слабосвязанных подзадач. Как правило, каждая из таких подзадач, управляет одной из степеней функциональной (механической, электрической и т.п. – по реализации) свободы объекта управления (ОУ). При таком подходе, структура ЦСУ отражает структуру степеней свободы объекта управления. В настоящее время, существуют объекты управления, модель функционирования которых не определена, либо не полностью установлена, пока объекты не начали жизненный цикл. Поэтому сложно построить ЦСУ для таких объектов, придерживаясь традиционного иерархического подхода. Отсутствие, на этапе разработки информационной среды (ИС) цифровых систем управления, управленческой модели таких объектов управления, заставляет задуматься о более универсальном, независимом от алгоритмов управления, подходе к организации информационного взаимодействия элементов и всей вычислительной среды цифровых систем управления. Разработка аппаратно алгоритмических средств, обеспечивающих независимость ЦСУ от алгоритмов управления, является актуальной темой.

При проектировании современных ЦСУ, наибольшее внимание разработчики уделяют алгоритмам управления объектом, пытаются обеспечить максимальную скорость их выполнения. Как правило, алгоритмы управления объектом реализуются на мощных вычислительных средствах. Однако исследование показывает, что повышение производительности вычислительных устройств не влечёт за собой пропорционального повышения динамики работы цифровых систем управления. По всей видимости, потеря времени на предобработку данных, на организацию связи объекта с вычислительным устройством, вносит значительную долю. Разработка информационной среды ЦСУ,

минимизирующей задержки времени в обработке: входных сигналов для вычислительного устройства, выходных сигналов для выдачи их на объект управления, является актуальной задачей.

Аппаратные средства систем управления, как правило, конструктивно распределены в нескольких узлах. В точках их размещения, возможны неблагоприятные условия эксплуатации, такие как высокая температура, вибрация, агрессивная среда и т.п., а сами точки размещения после окончательной сборки ОУ становятся физически недоступными, что исключает возможность изменения алгоритмов управления узлами через локальные технологические интерфейсы. Тем не менее, возможность коррекции управляющих программ должна быть предусмотрена, и функция коррекции, должна быть доступной в течение всего жизненного цикла объекта управления. Таким образом, актуальна разработка подхода построения информационной среды ЦСУ с корректируемыми управляющими программами.

В силу возрастания сложности объектов управления, возможность формирования явной аналитической модели ОУ может отсутствовать. При построении цифровых систем управления для таких объектов нельзя использовать традиционный подход. Поэтому, в настоящее время разрабатываются подходы создания ЦСУ, которые ориентированы на неопределённость алгоритмов управления на момент создания их информационной среды. Еще более актуально создание информационной среды ЦСУ, не зависящей от алгоритмов управления.

Объектом исследования являются цифровые системы управления с большим количеством периферийных устройств, подключенных к центральному вычислителю через канал связи. Особое внимание уделено цифровым системам управления с вариативной моделью функционирования объекта, то есть, модель функционирования объекта либо неизвестна на этапе проектирования цифровых систем управления, либо может корректироваться в ходе их эксплуатации.

Предметом исследования являются методы построения аппаратных решений цифровых систем управления, ориентированные на создание информационной среды, не зависящей от алгоритмов управления. Кроме того,

предметом исследования также являются методы организации контроля и мониторинга цифровых систем управления на основе предлагаемой информационной среды.

Постановка задачи. Задача состоит в поиске новых аппаратно-архитектурных решений построения информационной среды цифровых систем управления, в том числе – цифровых систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования.

Цели работы состоят в разработке: архитектуры централизованной системы управления с удаленными узлами, обладающими минимальной алгоритмической сложностью (принцип «вынесенной руки»); унифицированной информационной среды цифровых систем управления, построенных по принципу «вынесенной руки»; технологии построения регистратора параметров на основе сегнетоэлектрической памяти FRAM.

Задачи диссертации. Исходя из постановки задачи и сформулированных целей работы, были поставлены и решены следующие конкретные задачи:

1. анализ существующих способов построения распределённых систем управления и поиск новых архитектурных решений;
2. разработка архитектуры цифровой системы управления с аппаратной реализацией функции управления периферией;
3. разработка архитектуры централизованной цифровой системы управления, построенной по принципу «вынесенной руки»;
4. разработка унифицированной информационной среды цифровых систем управления, построенных по принципу «вынесенной руки»;
5. выделение базовых информационных технологий, определяющих способы построения аппаратного обеспечения цифровых систем управления, обладающих новыми качественными характеристиками;

6. разработка унифицированного межмодульного интерфейса для обменов данными между центральным вычислителем и периферийными устройствами в цифровых системах управления, построенных по принципу «вынесенной руки»;
7. разработка технологии контроля, мониторинга и построения регистратора параметров на основе сегнетоэлектрической памяти FRAM для цифровых систем управления (в том числе – для цифровых систем управления с вариативной моделью функционирования объекта);
8. разработка новых способов подключения регистратора параметров к информационной среде цифровых систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Унифицированная информационная среда цифровых систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования;
2. Архитектура цифровой системы управления, построенной по принципу «вынесенной руки»;
3. Архитектура цифровой системы управления с аппаратной реализацией функции управления периферией;
4. Структура периферийных устройств автоматного типа;
5. Варианты подключения регистратора параметров в цифровых системах управления, построенных по принципу «вынесенной руки»;
6. Унифицированный асимметричный межмодульный интерфейс для обменов данными между центральным вычислителем и оконечными устройствами в цифровых системах управления объектами с вариативной моделью функционирования. Возможность организации быстрых связей с удалёнными периферийными устройствами;

7. Технология построения регистратора параметров на основе сегнетоэлектрической памяти FRAM.

Научная новизна исследования в диссертационной работе заключается в следующем:

1. Предложен новый подход построения цифровых систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования. В отличие от традиционного, предложенный подход предлагает иные принципы связи центрального вычислителя с периферией, обладает удобством для изменения алгоритмов управления, в силу независимости от них, и позволяет упростить функциональный состав периферийных устройств до автоматного уровня;
2. Предложена унифицированная информационная среда цифровых систем управления, в том числе – цифровых систем управления объектами с вариативной моделью функционирования. Разработанная информационная среда ЦСУ обладает алгоритмической независимостью и полной автономностью функции связи между центральным вычислителем и оконечными устройствами;
3. Разработан типовой унифицированный асимметричный межмодульный интерфейс для обменов информацией между центральным вычислителем и оконечными устройствами. Интерфейс, ориентированный на предлагаемую архитектуру системы управления, имеет простую структуру пакетов, не сложный механизм управления обменами, максимальную пропускную способность в полудуплексном режиме и возможность согласованной работы с процедурами измерения и выдачи уставок;
4. Предложены новые способы подключения регистратора параметров, позволяющие эффективно вести на контроль и мониторинг цифровых систем управления. Предложенные способы подключения регистраторов позволяет использовать их для организации новых приемов наладки систем, то есть, изменить методику наладки систем;

5. На основе предложенной информационной среды, разработан регулярный механизм формирования событий фиксации с гибкой настройкой списка регистрируемых событий и возможностью удалённого изменения режимов работы регистратора;
6. Разработана новая технология построения регистратора параметров на основе сегнетоэлектрической памяти FRAM. Предложенный регистратор представляет собой автономный узел, который отслеживает информационное сечение цифровой системы управления, но не нагружает ее. Кроме того, благодаря перспективным свойствам FRAM, регистратор обладает дополнительной возможностью сохранения нескольких последних кадров данных, вплоть до аварии.

Практическая и научная значимость работы. Предложенный подход построения информационной среды цифровых систем управления, реализованных по принципу «вынесенной руки» позволяет:

1. проектировать информационную среду систем управления, не ориентируясь на алгоритмы управления;
2. изменить методику наладки цифровых систем управления: отдельно налаживаются информационная среда, подключение периферийных устройств, и отдельно налаживаются алгоритмы управления;
3. модифицировать, развивать, а также радикально изменять алгоритмы управления объектом, не затрагивая периферийную подсистему;
4. упростить функциональный состав периферийных устройств до автоматного уровня.

В результате, получена единая информационная среда, на основе которой, кроме выше перечисленных возможностей, с минимальными затратами реализуется автономная функция протоколирования параметров цифровых систем управления.

Апробация и внедрение результатов. Результаты диссертации опубликованы в 6 научных статьях в рецензируемых научных журналах. По теме

диссертации сделано 14 сообщений и докладов. Положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. 56-й Всероссийской научной конференции МФТИ «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе», Долгопрудный, ноябрь 2013 г.;
2. 40-й Международной молодёжной научной конференции МАТИ «Гагаринские чтения», Москва, апрель 2014 г.;
3. 11-ом Международном симпозиуме РУДН «Интеллектуальные системы», Москва, июль 2014 г.;
4. конкурсе молодёжных научных работ МФТИ, Долгопрудный, июль 2014 г.;
5. 1-й Международной конференции ФРТК-МФТИ «Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T», Долгопрудный, ноябрь 2014 г.;
6. 7-ой Международной научно-практической конференции «Научные перспективы 21-ого века. Достижения и перспективы нового столетия», Новосибирск, 2014 г.;
7. 42-й Международной молодёжной научной конференции МАТИ «Гагаринские чтения», Москва, апрель 2016 г.;
8. XXI Международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития», Москва, 20 мая 2016 г.;
9. 9-й Российской мультikonференции по проблемам управления, Санкт-Петербург, 4-6 октября 2016 г.;
10. 3-й Международной конференции ФРТК-МФТИ «Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T», Долгопрудный, 29-30 ноября 2016 г.;
11. 43-й Международной молодёжной научной конференции МАИ «Гагаринские чтения», Москва, 05-20 апреля 2017 г.;

12. XIX Международной научно-технической конференции «Нейроинформатика-2017», Москва, 2017 г.;

13. 4-й Международной конференции ФРТК-МФТИ «Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T», Долгопрудный, ноябрь 2017 г.;

14. 5-й Международной конференции ФРТК-МФТИ «Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T», Долгопрудный, ноябрь 2018 г.

Основные положения и результаты диссертационной работы также докладывались автором на научных семинарах кафедры электронных вычислительных машин при Институте точной механики и вычислительной техники имени С.А. Лебедева (ИТМ и ВТ), на факультете радиотехники и кибернетики при Московском физико-техническом институте (МФТИ). Предложенные приемы построения цифровых систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования прошли апробацию на ряде макетных проектов в ИТМ и ВТ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка из 52 наименований. Работа изложена на 108 страниц, содержит 25 рисунков и 1 таблицу.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и постановка задачи, представлены основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и публикации по теме исследования, показаны научная новизна, практическая ценность работы и область применения полученных результатов, и описана структура диссертации.

Глава 1 посвящена особенностям цифровой реализации систем управления. В **разделе 1.1** рассматриваются понятие и классификация систем управления. В **разделе 1.2** выделены базовые информационные технологии, определяющие способы построения аппаратного обеспечения централизованных цифровых систем управления. Показана возможность создавать централизованные цифровые

системы управления, структура которых не повторяет структуру аналоговых систем управления, что позволяет получить новые качества управления. В **разделе 1.3** представлена обобщённая структура цифровой системы управления. Отмечена проблема, связанная с программным управлением вводом-выводом данных. Обсуждается необходимость более рационального способа управления интерфейсами ввода-вывода. В **разделе 1.4** представлена функциональная последовательность событий в цифровой системе управления. Отмечены статичность состава задач ввода-вывода и цикличность информационных процессов в системах управления. Следовательно, принципиально возможен режим автономной работы периферийных устройств (ПУ). В **разделе 1.5** представлена обобщённая структура контура регулирования нижнего уровня в цифровой системе управления. В **разделе 1.6** предложена архитектура цифровой системы управления с аппаратной реализацией функции управления периферией. Статичность аппаратного состава периферийных устройств и набора задач ввода-вывода, – позволяет вынести из центрального вычислителя функции взаимодействия с периферийными устройствами и аппаратно реализовать их в отдельных, автономных узлах – узле управления датчиками и узле управления актуаторами. Данные узлы представляют собой единую периферийную подсистему цифровой системы управления (рис. 1).

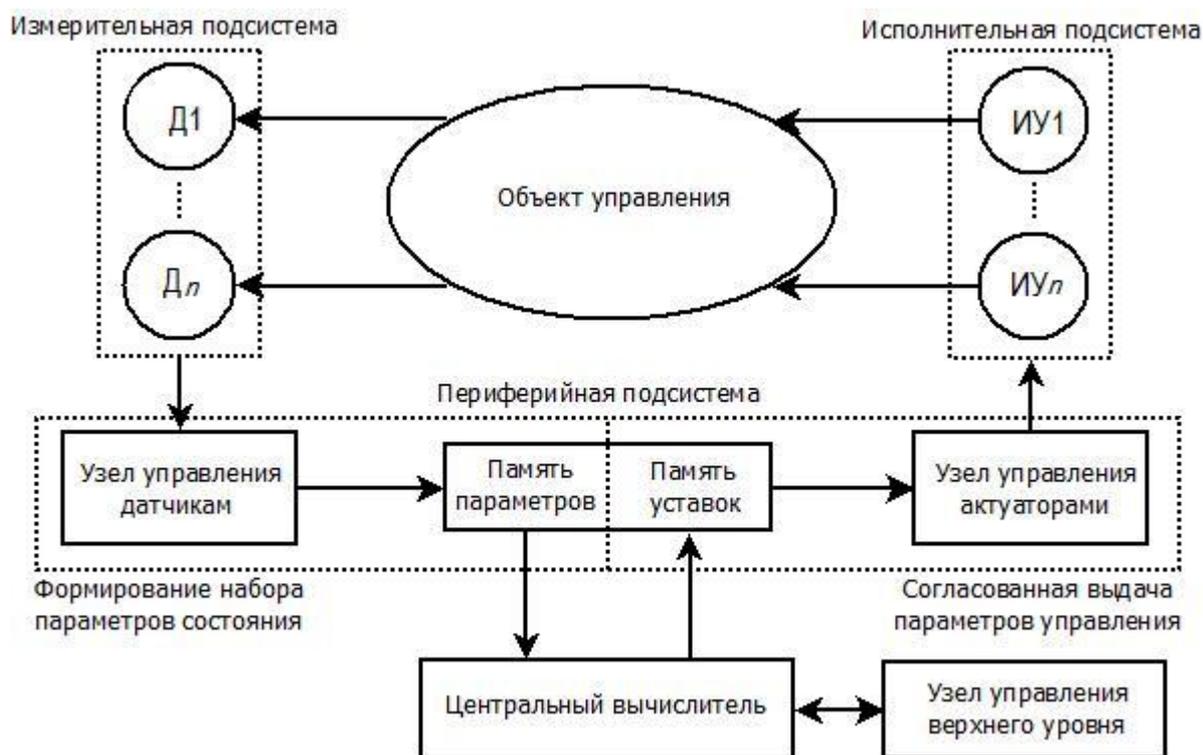


Рис. 1. Структура цифровой системы управления с аппаратной реализацией функции управления периферией

Преимущества предложенной структуры ЦСУ заключаются в следующем:

- ✓ Выделение функции опроса датчиков в отдельный аппаратный узел позволит исключить фазовые искажения при измерении состояния объекта управления;
- ✓ Центральный вычислитель освобождается от непрофильной для него задачи программного управления периферийными устройствами, и теперь занимается только расчётом управляющих воздействий и связью с узлом управления верхнего уровня.

В **разделе 1.7** зафиксированы преимущества аппаратной реализации функции управления периферией в цифровых системах управления.

Глава 2 посвящена архитектуре цифровой системы управления, построенной по принципу «вынесенной руки» (ЦСУВР). В **разделе 2.1** рассматривается типовой подход построения распределённых систем управления (РСУ) по принципу разбиения общей задачи на несколько отдельных,

слабосвязанных между собой подзадач (рис. 2). Зафиксированы основные особенности характеристик такой информационной среды. Отмечены необходимость и возможность коррекции алгоритмов управления объектом в процессе эксплуатации систем.

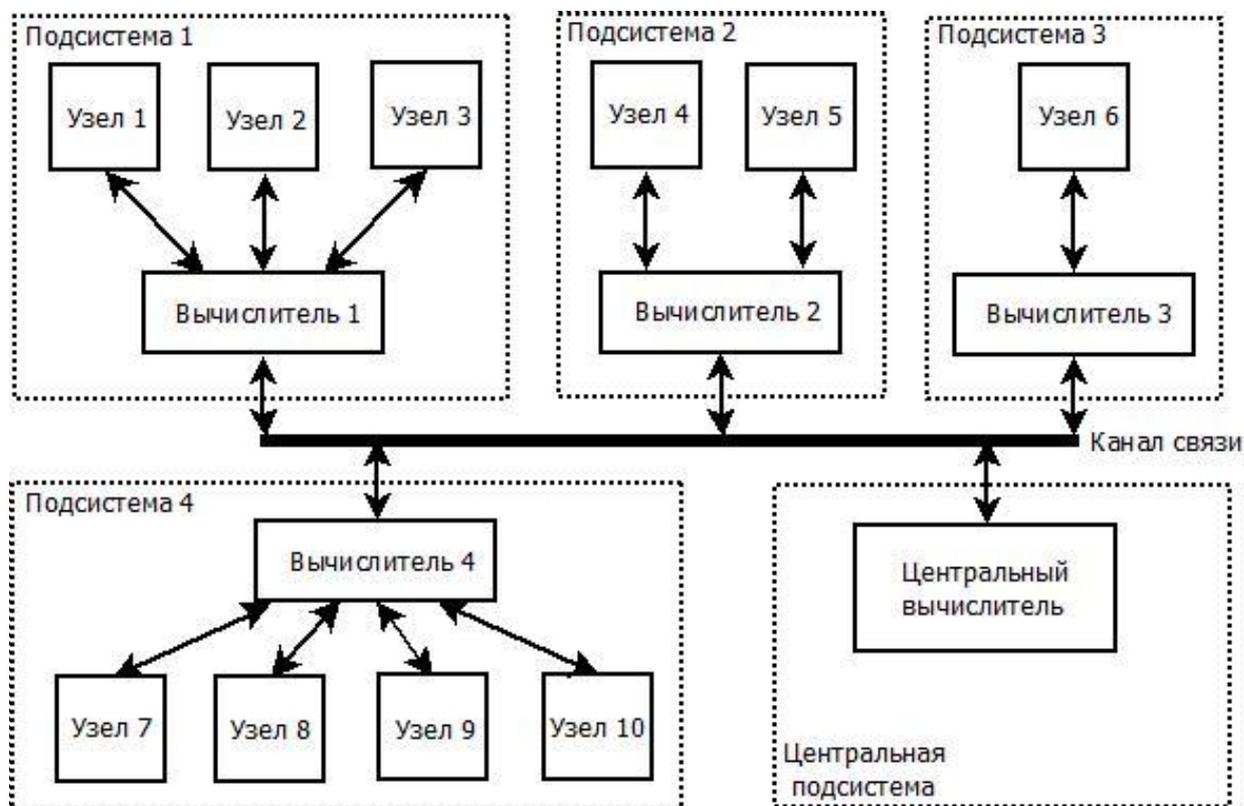


Рис. 2. Структура распределённой системы управления

В разделе 2.2 обсуждается возможность изменения алгоритмов управления в РСУ, построенных по традиционному подходу. Перечислены недостатки данного подхода. Вариативность модели функционирования объекта затрудняет построить ЦСУ по обычно используемому подходу. Поэтому, актуально построение информационной среды ЦСУ, которая позволяет изменять алгоритмы управления. Разрабатываемый подход должен расширять возможности создания цифровых систем управления, вплоть до систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования. Искомая технология предполагает изначальное отсутствие ориентации на конкретный класс задач управления и привязки архитектурных решений к конкретной модели функционирования объекта управления. В разделе 2.3 предложена архитектура ЦСУ, построенной по

принципу «вынесенной руки». Эта архитектура предполагает использование центрального вычислителя, как единственного исполнителя расчётной части алгоритмов управления объектом (рис. 3).

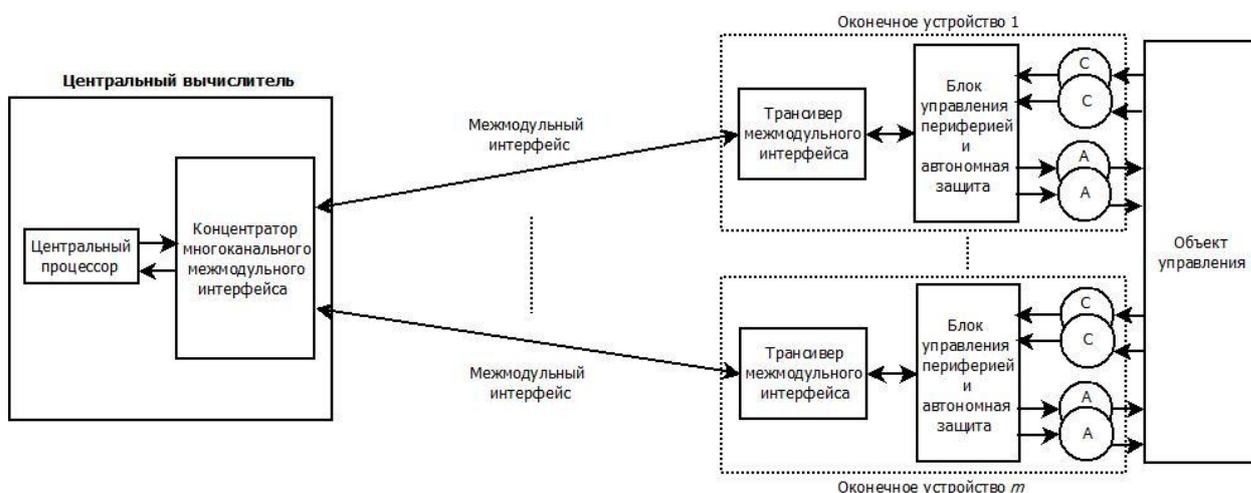


Рис. 3. Структура цифровой централизованной системы управления, построенной по принципу «вынесенной руки»

Суть принципа «вынесенной руки» состоит в построении технологии взаимодействия центрального вычислителя с удалёнными ПУ как с ПУ, непосредственно подключенными в его адресное пространство, причём для организации такого подключения, счётный ресурс центрального вычислителя не используется. Скорость каналов связи выбирается такой, чтобы в системе не была заметна эта «удалённость», а взаимодействие центрального вычислителя с оконечными устройствами происходило в режиме непосредственного управления, то есть с прямым отображением параметров управления и состояния в память центрального вычислителя. Из рисунка 3 видно, что все вынесенные оконечные устройства примерно одинаковы по интерфейсу и сходны по исполнению. Состав каждого оконечного устройства минимален и включает в себя: трансивер междоульного интерфейса, измерительную и исполнительную подсистемы. Из-за реализации режима непосредственного подключения к центральному вычислителю, вынесенные оконечные устройства могут выполнять теперь только функции ввода-вывода параметров, а вся переменная алгоритмическая часть, связывающая параметры состояния и управления, переносится в центральный

вычислитель. В ЦСУВР, изменение алгоритма в любой подсистеме управления производится только в центральном вычислителе.

В **разделе 2.4** перечислены свойства оконечных устройств в ЦСУВР: минимальный и фиксированный набор функций нижнего уровня; возможность взаимодействия с центральным вычислителем через однотипный унифицированный интерфейс; отсутствие функции управления на уровне периферии, из-за чего не требуется перепроектировать оконечные устройства при модернизации системы управления; функциональная простота оконечных устройств; малое энергопотребление периферийных устройств. В **разделе 2.5** описаны преимущества предложенной архитектуры «вынесенной руки».

Главе 3 посвящена аппаратной реализации элементов информационной среды цифровых систем управления для объектов с вариативной моделью функционирования. В **разделе 3.1** расширяется понятие «информационная среда» для дальнейшего изложения материала. Сформулированы основные требования к разрабатываемой ИС цифровых систем управления с вариативной моделью функционирования объекта. В **разделе 3.2** рассматривается аппаратная реализация подсистемы датчиков, ориентированная на предложенную архитектуру системы управления. Наличие скоростного межмодульного интерфейса для обменов данными между оконечными устройствами и «центром» позволяет упростить датчики до уровня исполнения только измерительной функции. Они теперь превращаются в циклические автоматы, которые запускают аналого-цифровые преобразователи (АЦП) или преобразуют временные параметры в цифровой код (рис. 4).

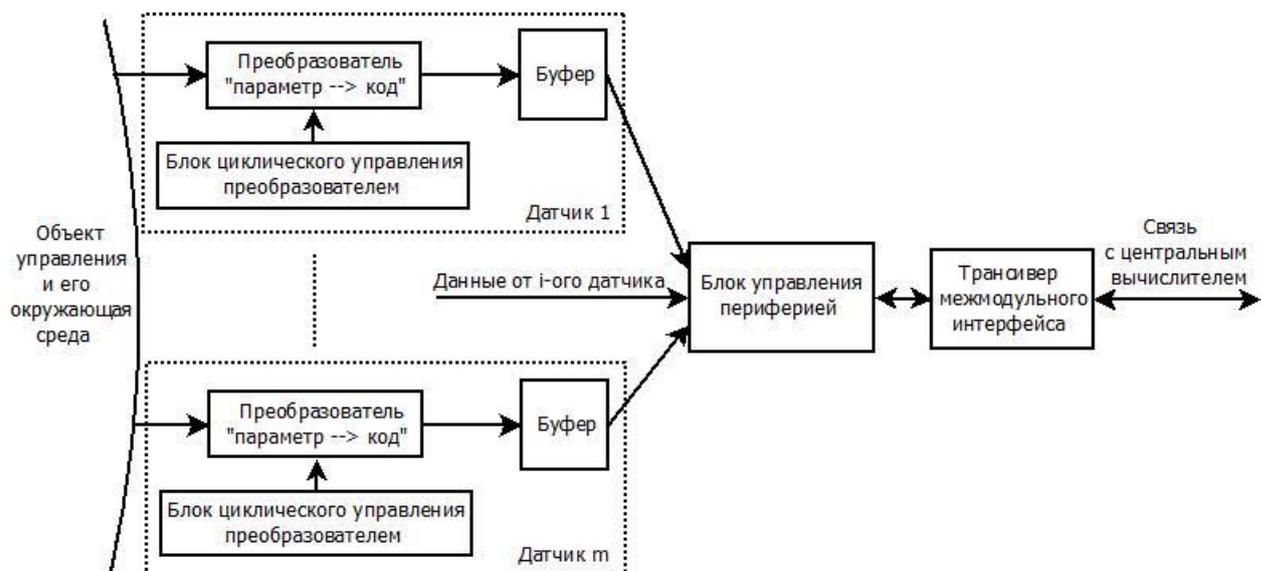


Рис. 4. Аппаратная структура подсистемы датчиков

В результате переноса всей обработки данных из периферийных устройств в центральный вычислитель, датчики теперь измеряют только первичные параметры, а все вторичные параметры вычисляются в центральном вычислителе. Блок управления периферией запускает работу датчиков, и получает от них измеренные данные, работает он автономно. Межмодульный интерфейс не синхронизируется с блоком управления периферией. Его задача – циклическая пересылка обновленных параметров состояния ОУ в память центрального вычислителя с максимально возможной скоростью.

В разделе 3.3 рассматривается аппаратная реализация подсистемы исполнительных устройств, ориентированные на предложенную архитектуру системы управления. Функциональный состав информационной части исполнительных устройств минимален и включает в себя только функции нижнего уровня – обработку управляющих воздействий (уставок) от уровня широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и ниже. На самом нижнем уровне ЦСУВР, исполнительные устройства имеют минимальную автоматную структуру, и в общем случае превращаются в многоканальный генератор ШИМ (рис. 5).

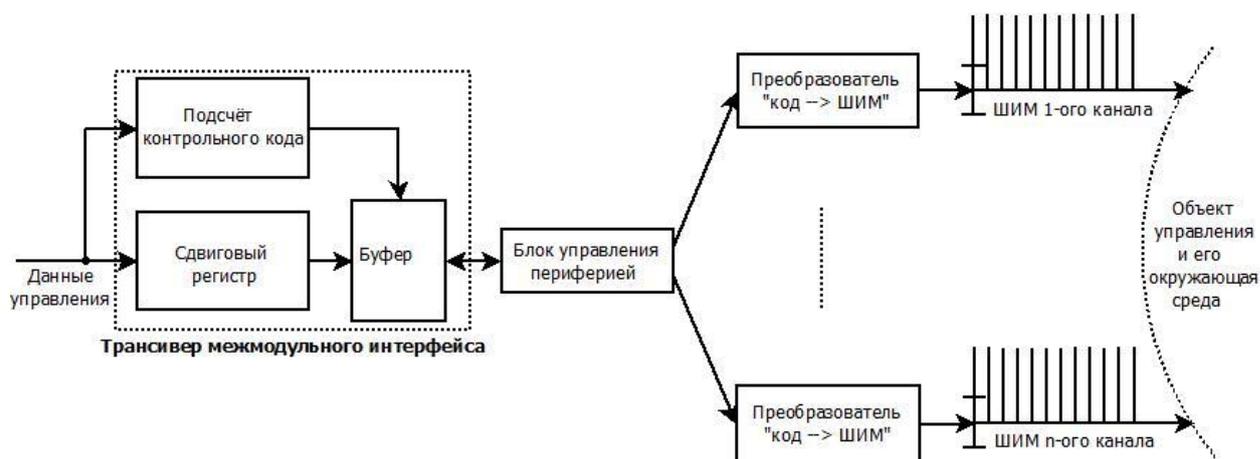


Рис. 5. Аппаратная структура подсистемы исполнителей

Для обменов данными между каждым конечным устройством и центральным вычислителем можно использовать только один трансивер межмодульного интерфейса, работающего в полудуплексном режиме. Прямая пересылка средством межмодульного интерфейса используется для передачи параметров состояния от датчиков в память центрального вычислителя, а обратная пересылка используется для выдачи параметров управления из памяти центрального вычислителя на исполнительные устройства.

Раздел 3.4 посвящен разработке асимметричного межмодульного интерфейса, предназначенного для обменов данными между центральным вычислителем и периферийными устройствами. В **подразделе 3.4.1** рассматриваются способы комплексирования периферийных устройств к центральному вычислителю в цифровых системах управления. В **подразделе 3.4.2** рассматривается возможность применения цифровых технологий для комплексирования периферийных устройств в цифровых системах управления. В **подразделе 3.4.3** проведен анализ существующих стандартных интерфейсов в терминах их пригодности для цифровых систем управления. Перечислены их недостатки при использовании в качестве интерфейса для обменов информацией между центральным вычислителем и ПУ автоматного типа в предложенной архитектуре ЦСУ. Сформулированы основные требования к разрабатываемому межмодульному интерфейсу. В **подразделе 3.4.4** рассматривается принцип работы асимметричного межмодульного интерфейса, предназначенного для обменов

информацией между оконечными устройствами и центральным вычислителем в ЦСУ с вариативной моделью функционирования объекта. Разработанный межмодульный интерфейс обладает следующими свойствами:

- ✓ аппаратно реализованная цикличность обменов;
- ✓ последовательная пакетная передача данных с минимальным количеством сигнальных связей между абонентами;
- ✓ максимальная пропускная способность обменов потоками данных за счёт отсутствия пауз и за счёт сокращения служебных полей в информационных пакетах;
- ✓ работа в полудуплексном режиме.

В **разделе 3.5** рассматривается информационное взаимодействие элементов информационной среды цифровых систем управления объектами с вариативной моделью функционирования. В ЦСУВР, периферийные устройства напрямую не подключаются к центральному вычислителю, а к блокам управления периферией, расположенным непосредственно в оконечных устройствах. Центральный вычислитель обменивается данными с оконечными устройствами через унифицированный скоростной интерфейс, с фиксированным временем доставки данных – для обеспечения бесконфликтной коммуникационной среды с простым автоматом управления приёмом и передачей. Межмодульный интерфейс асинхронно работает относительно центрального вычислителя. Периферийные устройства работают в автоматном режиме: датчики постоянно измеряют состояние объекта, а исполнительные устройства обрабатывают управляющие воздействия (формируют ШИМ-сигналы) с заданной частотой. В **разделе 3.6** на основе предложенных схемных решений показаны преимущества разработанного асимметричного межмодульного интерфейса.

Главе 4 посвящена организации контроля, мониторинга и реализации функции протоколирования параметров в цифровых системах управления, построенных по принципу «вынесенной руки». В **разделе 4.1** рассматривается традиционный подход реализации узлов регистрации параметров в цифровых системах управления. Отмечены недостатки данного подхода. В **разделе 4.2**

сформулированы требования к разрабатываемому регистратору параметров (РП) для современных цифровых систем управления: максимальная автономность; активность во всех циклах управления объектом, включая последний – аварийный; гибкое формирование списка регистрируемых параметров; работа в двух режимах: отладки и основном – рабочем; универсальная архитектура; возможность специализации РП по группам параметров. В **разделе 4.3** обсуждаются 3 варианта подключения регистратора параметров в цифровых системах управления, построенных по принципу «вынесенной руки». Выделен оптимальный вариант: прямое подключение регистратора к концентратору многоканального межмодульного интерфейса. В этом подключении, регистратор является автономным устройством. Он не вмешивается в процесс обменов данными между центральным вычислителем и оконечными устройствами, а отслеживает информационное сечение в концентраторе, в режиме подсматривания (рис. 6).

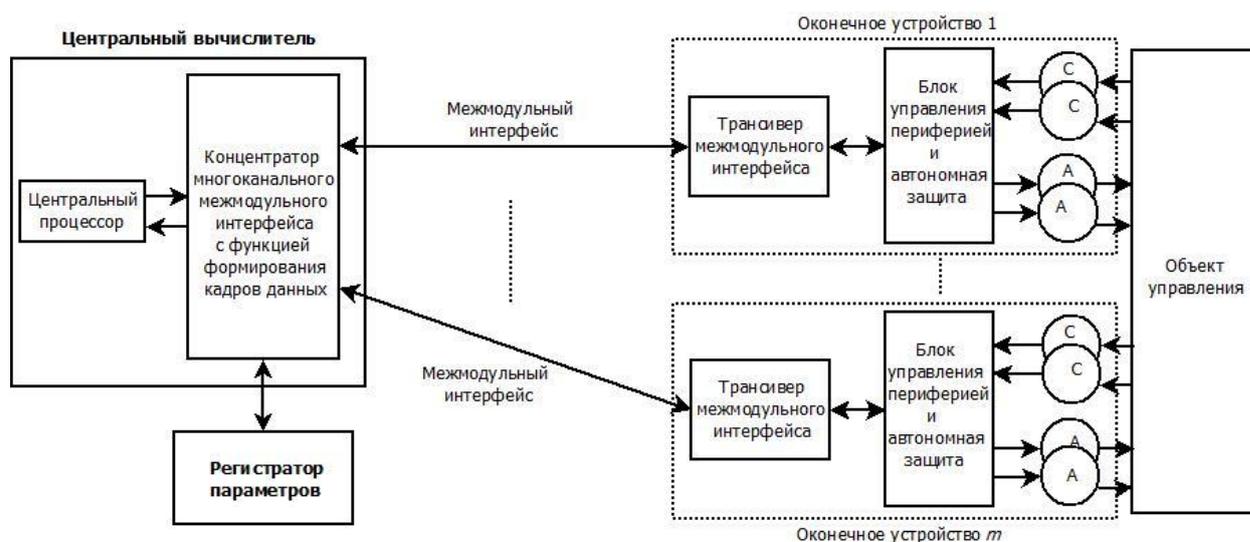


Рис. 6. Прямое подключение регистратора к концентратору многоканального межмодульного интерфейса

Раздел 4.4 посвящен технологии построения регистратора параметров на основе сегнетоэлектрической памяти FRAM. В **подразделе 4.4.1** описаны характеристики энергонезависимой памяти FRAM. В **подразделе 4.4.2** рассматривается подход построения регистратора параметров цифровых систем управления, работающего в фоновом режиме. Рассматриваемый подход заключается в прямом подключении регистратора параметров к информационному

сечению концентратора многоканального межмодульного интерфейса, в котором циркулируют все параметры состояния и управления. В отличие от классических решений, селекцию данных для последующего сохранения регистратор производит самостоятельно, без участия центрального вычислителя (рис. 7).

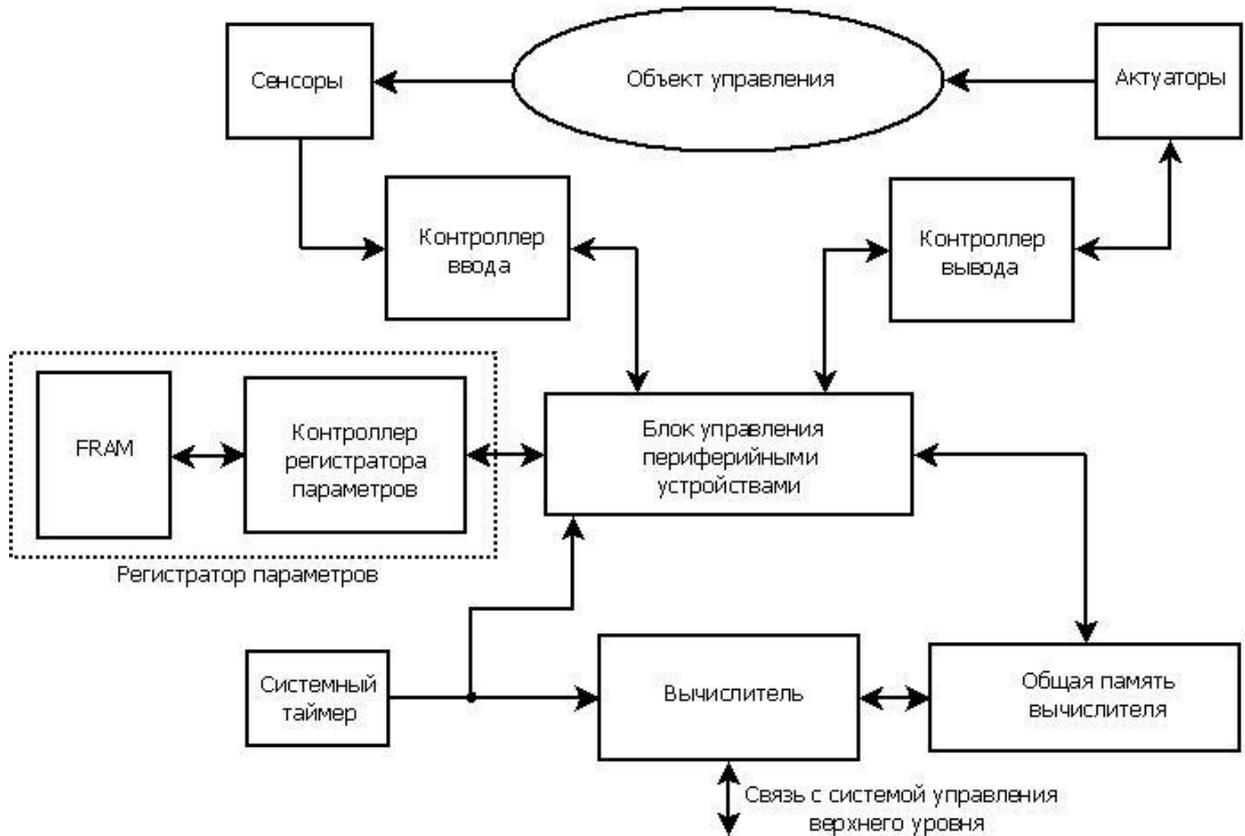


Рис. 7. Структурная схема подключения автономного регистратора в системе управления

Принцип работы данного автономного регистратора заключается в следующем:

- ✓ регистратор подключается к концентратору ЦСУ, как одно из активных периферийных устройств. Таким образом, сокращается количество дополнительных связей и блоков обработки входных данных, повышается степень эффективности и экономичности реализации данного решения, не усложняются структурные связи и процесс функционирования системы;
- ✓ регистратор имеет доступ к первичным параметрам состояния объекта управления. Это обеспечивает фиксацию параметров состояния в реальном масштабе времени;

- ✓ выбор информации для записи в РП управляется унифицированными параметрическими шкалами. Шкалы определяют не только селекцию данных, но и временные параметры фиксации. Параметрические шкалы загружаются из памяти вычислителя в начале работы системы или при изменении режима работы регистратора;
- ✓ параметры каждого цикла управления, выбранные селектором данных, последовательно сохраняются в регистраторе.

В подразделе 4.4.3 приведены диаграммы формирования событий фиксации параметров, показывающие эффективность реализованных аппаратных решений.

В разделе 4.5 описаны выводы по реализации функции протоколирования параметров в ЦСУВР. Отмечены преимущества предложенного подхода построения регистратора параметров.

В заключении сформулированы основные выводы по диссертационной работе:

В диссертационной работе предложена архитектура ЦСУ с аппаратной реализацией функции управления периферией. Подсистема ввода-вывода такой ЦСУ представляет собой активную периферийную подсистему. Общее быстродействие системы повышено за счёт выделения в отдельные аппаратные подсистемы и отдельной обработки задач: ввода, расчёта и вывода. Активные узлы управления периферийными устройствами занимаются задачами ввода-вывода данных, а вычислитель освобождается от непрофильных для него задач и теперь занимается только расчётом управляющих воздействий.

Разработана концепция для управления периферией в цифровых системах управления объектами с вариативной моделью функционирования. Предложенная концепция «вынесенной руки» позволяет реализовать любую ЦСУ в виде централизованной системы управления с унифицированной информационной средой передачи информации, вплоть до цифровых систем управления объектами с вариативной моделью функционирования.

Архитектура ЦСУВР предоставляет возможность упростить состав оконечных устройств до автоматного уровня, и исключает тем самым необходимость их изменения при модернизации системы. Периферийные устройства теперь превращаются в циклические автоматы, выполняющие простые функции нижнего уровня: измерения и обработки управляющих воздействий.

Центральный вычислитель обменивается данными с оконечными устройствами по асинхронному принципу. Датчики постоянно измеряют и циклически отображают измеренные значения о состоянии ОУ в память центрального вычислителя, а параметры управления циклически доставляются на исполнительные устройства. Поэтому, предложенная информационная среда ЦСУВР фактически представляет собой асинхронную информационную среду.

Опишем архитектуру «вынесенной руки» в терминах её отличия от стандартной архитектуры распределённой системы управления. Отличие состоит:

- ✓ в изменении модели организации вычислений в распределённой ЦСУ: от набора распределённых слабосвязанных вычислителей, назначенных по степеням свободы объекта к централизованной модели, с возможной сильной связностью контуров регулирования нижнего уровня;
- ✓ в переносе алгоритмов управления из контуров регулирования нижнего уровня в мощный центральный вычислитель;
- ✓ в переносе в центральный вычислитель функции начального конфигурирования встроенных в узел первичных интерфейсов ввода-вывода, для исключения их каждого узла ЦСУ энергонезависимой памяти, необходимой для хранения параметров начальной настройки;
- ✓ в упрощении оконечных устройств до уровня циклических автоматов с простым набором функций.

Перспективное направление исследования заключается в возможности организации взаимодействия между центральным вычислителем и оконечными устройствами по синхронному принципу. Обоснование перехода от асинхронной к синхронной модели ИС выходит за рамки данной диссертационной работы.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**Статьи в рецензируемых научных журналах, индексируемых на базах данных
Scopus и RSCI:**

1. Холопов Ю.А., Ле Ба Чунг, Нгуен Тхань Чунг, Чан Ван Хань. Особенности реализации распределенных систем управления на основе аппаратных сетевых решений // Информационные технологии. – 7/2016. – №7(22). – С.494-498. – ISSN 1684-6400.
2. Ю.А. Холопов, Ле Ба Чунг, Нгуен Тхань Чунг. Согласованная информационная среда для высокодинамичной системы управления // Мехатроника, автоматизация, управление. – 12/2016. – №12(17). – С.816-820. – ISSN 1684-6427.
3. Ле Ба Чунг, Холопов Ю.А. Технология построения регистратора параметров на основе сегнетоэлектрической энергонезависимой памяти // Труды МФТИ. – 2017. – Т9 №2(34). – С.136-142. – ISSN 2072-6759.
4. Le Ba Chung, Holopov Y.A. Information environment for neural-network adaptive control system // Springer. – 09/2017. – V.736. – С.59-64. – ISBN 978-3-319-66603-7.
5. Ле Ба Чунг, Холопов Ю.А. Асимметричный межмодульный интерфейс // Информационные технологии. – 2/2018. – №2(24). – С.138-143. – ISSN 1684-6400.
6. Ле Ба Чунг, Холопов Ю.А. Информационная среда цифровых систем управления, использующая для управления периферией концепцию «вынесенной руки» // Информационные технологии. – 8/2018. – №8. – С.538-545. – ISSN 1684-6400.

Публикации в материалах научных конференций:

1. Ле Ба Чунг. Контроллер периферии с CAN-интерфейсом // Труды 56-ой всероссийской научной конференции МФТИ «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе. Москва, 25-30 ноября 2013г. ». – М.: МФТИ, 2013. – С.59-60. – ISBN 978-5-7417-0492-9.
2. Ле Ба Чунг. Особенности применения интерфейса USB 2.0 в вычислителях для системы управления // Сборник «XL ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 9 томах. Москва, 7-11 апреля 2014 г.». – М.: МАТИ, 2014. – Т.5. – С.237-239. – ISBN 978-5-93271-666-3.
3. Ле Чунг Ба. Способ подключения периферийных устройств к системе управления через интерфейс USB 2.0 // Сборник «Интеллектуальные системы. Научные труды одиннадцатого международного симпозиума. Москва, 30 июня - 4 июля 2014г.». – РУДН. – 2014. – С.118-122. – ISBN 978-5-209-05851-9.
4. Чан Ван Хань, Дам Чонг Нам, Ле Ба Чунг, Преображенский Н.Б.. Некоторые особенности реализации сетевых решений в системах управления // Сборник «Тезисы докладов. Научные труды Международной конференции En&T 2014». – М.: МФТИ. – 2014. – С.217-218. – ISBN 978-5-7417-0522-3.
5. Н.Б. Преображенский, Ю.А. Холопов, В.Х. Чан, Ч.Н. Дам, Б.Ч. Ле. Сетевые решения в системах управления // Труды 7-ой международной научно-практической конференции «Научные перспективы 21-ого века. Достижения и перспективы нового столетия». – Новосибирск.: Educatio. – 2014. – С.68-71.
6. Ле Ба Чунг, Нгуен Тхань Чунг. Сетевая информационная среда бортовых систем управления // Сборник тезисов докладов 42-ой Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения». Москва, 12-15 апреля 2016 г.». – М.: МАИ, 2016. – Т.1. – С.351-352. – ISBN 978-5-90363-071-4.

7. Ле Ба Чунг, Нгуен Тхань Чунг. Особенности подключения периферийных устройств к микропроцессору в высокодинамичной системе управления // Сборник XXI Международной научно-практической конференции «Техника и технология: новые перспективы развития». Москва, 20 мая 2016 г.». – М.: Спутник +, 2016. –С.15-18. – ISBN 978-5-9973-3847-3.
8. Ле Ба Чунг, Холопов Ю.А., Нгуен Тхань Чунг. Технология комплексирования периферийных устройств к высокодинамичной системе управления // Материалы 9-ой конференции «Информационные технологии в управлении». - Санкт-Петербург: ГНЦ РФ АО КОНЦЕРН ЦНИИ «Электроприбор», 10/2016. – С.574-579. – ISBN 978-5-91995-041-7.
9. Н.Б. Преображенский, Ю.А. Холопов, Ле Ба Чунг. Регистратор параметров цифровой системы управления на основе FRAM // Сборник «Тезисы докладов. Научные труды Международной конференции En&T 2016». – М.: МФТИ, 2016. – С.172-173. – ISBN 978-5-7417-0608-4.
10. Ле Ба Чунг, Холопов Ю.А. Межмодульный интерфейс // Тезисы докладов 43-ой Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения». Москва, 05-20 апреля 2017 г.». – М.: МАИ, 2017. – С.758. – ISBN 978-5-90363-115-5.
11. Ле Ба Чунг, Н.Б. Преображенский, Ю.А. Холопов. Асимметричный межмодульный интерфейс для системы управления, построенной по принципу «вынесенной руки» // Сборник «Тезисы докладов. Научные труды Международной конференции En&T 2017». – М.: МФТИ. – 11/2017.
12. Ле Ба Чунг, Н.Б. Преображенский, Ю.А. Холопов. Принцип «вынесенной руки» // Сборник «Тезисы докладов. Научные труды Международной конференции En&T 2018». – М.: МФТИ. – 11/2018.