

Чан Ван Хань

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
СЕТЕВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ**

Специальность 05.13.01 — Системный анализ, управление и обработка информации  
(промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Москва – 2015

Работа выполнена на кафедре электронных вычислительных машин  
Московского физико-технического института  
(государственного университета)

Научный руководитель: **Нгуен Куанг Тхыонг**, доктор технических наук,  
профессор кафедры УМБ и ИТ института УМИИ  
и МБ Государственного университета управления

Официальные оппоненты: Доктор технических наук  
**Афанасьев Валерий Николаевич**  
ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
институт электроники и математики»  
Профессор, заведующий кафедрой кибернетики

Доктор технических наук  
**Ткаченко Владимир Максимович**  
ФГБОУ ВПО «Московский государственный  
технический университет радиотехники,  
электроники и автоматики»  
Профессор кафедры математического обеспечения  
и стандартизации информационных технологий

Ведущая организация: ОАО «Институт точной механики и  
вычислительной техники имени С. А. Лебедева  
Российской академии наук»

Защита состоится « 28 » мая 2015 года в 17 часов 00 минут на диссертационного  
Совета Д 002.017.03 при Вычислительном центре им. А.А Дородницына РАН по  
адресу: 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 42 в конференц-зале.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Вычислительного центра им. А.А  
Дородницына РАН.

Автореферат разослан « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета по защите  
докторских и кандидатских диссертаций Д 002.017.03  
кандидат физико-математических наук

Мушин А.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время, бортовая система управления и контроля может содержать огромное количество узлов датчиков, исполнительных устройств, блоков управления, вычисления и сложную структуру связи. Современная бортовая система управления представляет собой распределенную систему с различными цифровыми блоками, взаимодействующими на основе сетевой технологии реального времени. Благодаря ряду своих преимуществ, по сравнению с централизованными системами, внедрение модели распределенной системы управления реального времени являются перспективным подходом для решения задачи управления сложными высоко-динамическими системами [1-4,9-10]. Бортовые распределенные системы на сегодняшний день обладают очень широким диапазоном требований к управляемости, стабильности управления и контролю технологических процессов.

Постоянное усложнение задачи управления требует поиска приемов и методов для проектирования и реализации высококачественных новых бортовых систем управления, и повышения эффективности функционирования и уровня работоспособности существующих систем. Для таких задач широко применяются цифровые решения и современная сетевая технология. Предлагаемая тема диссертационного исследования включает в себя обобщение существующего опыта использования цифровых систем управления и выработки методики их реализации, направленной на эффективное, надежное и скорейшее получение результатов. Исследование разнообразных объектов управления и существующих методов проектирования и отладки систем реального времени позволяет находить перспективных методов построения и реализации высококачественных бортовых систем управления.

Поддержание высокоэффективного функционирования и высокого уровня работоспособности системы в целом при наличии отказов в среде связи или сбоях компонентов является очень важным качеством современных систем управления. Для бортовых распределенных систем управления реального времени (БРСУРВ) это качество становится критично востребованным из-за ограничения возможности ремонта или замены отказавшего блока после его монтажа на борту. Сбой системы может привести к трудно исправляемой ошибке, так и к катастрофическим потерям особенно в области управления системами жесткого реального времени. Примерами таких бортовых систем управления могут служить системы управления автомобилями, системы управления космическими аппаратами, подводными лодками, системы управления производства и т.п.

Задача повышения эффективности функционирования и обеспечения работоспособности БРСУРВ является одной из сложнейших технических задач, которые стоят перед разработчиками программного и аппаратного обеспечения. Трудность данной задачи обусловлена не только сложностью функционирования и связанностью самой БРСУРВ, но и повышенным требованием к простоте, экономичности, автономности и гибкости механизма ее реализации и функционирования. Под требованием экономичности и простоты понимается наименьшее по возможности использование дополнительных ресурсов и

усложнения структурной связи существующей системы. Под автономностью будем понимать возможность реализации, отладки данного механизма вне зависимости от существующей системы и автономное функционирование дополнительных внедренных компонентов управления и контроля. Гибкость означает наличие возможности параметрической настройки дополнительных блоков управления и контроля. Иначе говоря, желательно, после оптимизации и верификации исследуемой системы, полученная новая система может выполнить необходимые режимы управления, причем переключение между такими режимами выполняется простым способом. Автономность дополнительных компонентов управления является желательной характеристикой алгоритма решения особенно для рассматриваемых объектов ответственного назначения. Она позволяет сохранить работоспособность оптимизированной системы и не ухудшать ее качества. Поэтому одной из актуальных задач аппаратной оптимизации, верификации и отладки бортовых систем управления, сегодня является создание автономных, с точки зрения внутренней организации и управления исследуемой системы, механизмов оптимизации, верификации и отладки.

**Степень разработанности темы.** На сегодняшний день существуют разнообразные методы повышения качества, и обеспечения работоспособности системы управления реального времени. В ряде современных работ теоретически рассматривается вопрос создания методов анализа технических систем, предлагаются различные подходы к проблеме повышения работоспособности системы на основе принципа резервирования функционирования, связи, и контроля отказов.

Практически такие методы реализуются в процессе проектирования новых бортовых систем. Основным способом построения систем управления сегодня является реализация моделей поведения управляемого объекта с последующим исследованием этих моделей, решением и записью результатов исследования в виде некоторого закона управления в управляющее вычислительное устройство. Однако этот подход наталкивается на существенные трудности, которые состоят в следующем:

- Построить достаточно полное математическое описание (математическую модель или комплекс моделей) объекта управления средствами классической математики удастся далеко не всегда.
- Свойства реальных объектов управления часто могут быть недостаточно хорошо известны до начала их эксплуатации под управлением системы, поэтому заранее рассчитанный закон управления не может быть точным и требует корректировки, доработки, настройки.
- Контроль, ремонт, настройка, а также регламентное сопровождение таких систем и их компонентов в условиях их эксплуатации и частичной замены оборудования выходит за рамки выполненных при проектировании расчетов и не учтены в первоначальных моделях.
- Все чаще возникают задачи реализации систем с достаточно жесткими параметрами реакции в режиме реального времени функционирования управляемых объектов.

- Современные системы управления промышленного, технологического и информационного назначения должны работать в течение продолжительного времени, не утрачивая своей функциональности.
- Свойства реального объекта управления и окружающей среды могут изменяться в процессе эксплуатации систем, что также может влиять на процесс управления и делает первоначально разработанные модели неэффективными.
- Изменяются свойства, состав и функциональность контрольно-измерительных и исполнительных компонентов длительное время сопровождаемой системы.

Исходя из названных обстоятельств, следует сделать вывод, что решение складывающихся проблем может быть найдено только в процессе развития методов построения и эксплуатации современных систем управления, нахождения новых приемов проектирования, наладки, контроля и сопровождения таких систем.

Наличие сетевой информационной среды в процессе управления и контроля является одной из особенных характеристик бортовых распределенных систем управления. Современная сетевая технология взаимодействия в бортовых системах позволяет не только эффективно выполнить процесс приема и передачи данных, но и является информационной основой для решения различных задач оптимизации, верификации, мониторинга с целью повышения эффективности и обеспечения работоспособности системы управления.

**Цель исследования.** Цель работы состоит в разработке концепции построения и подхода оптимизации высокодинамических сложных бортовых систем управления реального времени, приемов повышения эффективности функционирования и работоспособности таких систем, разработке метода автономного контроля и мониторинга, аппаратной верификации и отладки системы на основе сетевой информационной среды. Техническим результатом является повышение эффективности функционирования, и уровня контролируемости и работоспособности бортовых систем управления.

**Задачи исследования.** Исходя из указанной цели исследования и сформулированной научно-технической проблемы, основными задачами исследования являются:

1. Анализ ряда существующих и перспективных структур, систем связей и закономерностей функционирования компонентов бортовых систем управления.
2. Исследование задачи управления и контроля в бортовых распределенных системах управления.
3. Анализ методов повышения качества и обеспечения работоспособности современных бортовых систем управления и алгоритмы их реализации.
4. Разработка структурной схемы реализации высокодинамических бортовых систем управления, приемов аппаратной оптимизации системы, метода ее контроля и мониторинга, алгоритмы ее аппаратной верификации и отладки.
5. Разработка концепции построения высокодинамической бортовой распределенной системы управления на основе сетевой информационной среды.

6. Разработка методики аппаратной реализации средств, обеспечивающих процессы контроля, регистрации и управления высоко-динамическими бортовыми системами на основе их сетевой информационной среды.

**Метод исследования.** Основные результаты исследования получены с использованием теории системного анализа, теории автоматического управления, методов обработки цифровых сигналов, методов аппаратного проектирования, моделирования, верификации и описания цифровых блоков управления и контроля, стандарта открытых сетевых протоколов и интерфейсов.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Концепция построения сложных высокодинамических систем управления реального времени на основе модели слабосвязанной распределенной системы. Преимущества реализации многоуровневой структуры организации системы, алгоритма повышения автономности локальных подсистем управления и применении сетевой технологии связи на различных структурных уровнях системы.
2. Возможность использования современной бортовой сети как информационной основы для обеспечения решения различных задач анализа, оптимизации и верификации системы.
3. Структурная схема многопроцессорной слабосвязанной распределенной системы управления реального времени. Особенности схемотехнической реализации данной схемы на примере цифровой системы управления адаптивной пневматической подвеской автомобилей.
4. Автономный подход оптимизации бортовых распределенных систем управления с целью повышения эффективности функционирования и обеспечения их работоспособности на основе бортовой сетевой информации. Особенность алгоритма реализации данного подхода.
5. Приемы повышения эффективности функционирования и обеспечения работоспособности бортовой системы управления на основе ее свободных степеней информационных связей. Особенности схемотехнической реализации данных приемов на примере бортовой распределенной системы управления адаптивной пневматической подвеской автомобилей.
6. Метод автономного контроля и мониторинга бортовых распределенных систем управления реального времени. Модель высокоэффективных бортовых распределенных систем управления с организацией автономных узлов регистрации и контроля. Особенность схемотехнической реализации модели.
7. Подход аппаратной верификации и отладки бортовых систем управления на основе применения автономных блоков регистрации параметров, особенности структурной реализации этих блоков.

**Научная новизна исследований.** Научная новизна исследования, представляемого данной работой, заключается в следующем:

1. Предложен новый подход повышения эффективности функционирования и обеспечения работоспособности БРСУРВ на основе использования информационной сетевой среды. В отличие от традиционного подхода предложенный подход обладает большой степенью автономности и гибкости механизма его реализации и функционирования.

2. Реализован перспективный метод контроля, мониторинга и повышения эффективности функционирования бортовых распределенных систем управления на основе организации автономных узлов регистрации и контроля.
3. Предложены и проверены на практике приемы аппаратной поддержки сетевых решений, обеспечивающие повышение пропускной способности сети, исключение лишних арбитражных процедур, упрощение процедур обмена за счет типизации пакетной структуры передаваемой информации. Подобные аппаратные решения и алгоритмы повышают надежность функционирования систем управления и контролируемость сетевого оборудования.
4. Разработан автономный цифровой регистратор параметров с целью регистрации аварийных событий, переходных и установившихся процессов в БРСУРВ или произведения различного вида анализа и исследований. В отличие от обычных регистраторов данный прибор обладает высокой степенью эффективности, автономности и гибкости функционирования. Он может использоваться как отдельно или в составе БРСУРВ для улучшения качества систем нового поколения.
5. Разработаны приемы построения бортовых систем управления на основе концепции многоуровневой структуры организации системы, алгоритма повышения автономности локальных подсистем управления, и применения сетевой технологии связи на различных структурных уровнях системы.
6. Построена структурная схема реализации бортовых систем управления на основе использования их свободных информационных степеней связей, и создания автономных параметрических блоков согласования управления.

**Практическая ценность результатов.** Практическая ценность результатов исследования заключается в том, что разработанные приемы оптимизации, методы автономного контроля и мониторинга, подход верификации и структурные схемы их реализации на основе сетевой информационной среды позволяют обеспечить повышенный уровень эффективности, работоспособности и контролируемости бортовых систем управления. При этом не заметно усложняется структура системы, и не разрушается основная ее функциональность. Подходы обладают высоким уровнем гибкости, автономности функционирования и реализации.

**Апробация и внедрение результатов.** По теме диссертации делались сообщения и доклады на различных международных и всероссийских научных конференциях. Положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. Международная конференция «Инжиниринг & Телекоммуникации - En&T 2014». Москва - Долгопрудный, 24-29 ноября 2014.
2. 57-ая научная конференция МФТИ с международным участием, посвященной 120-летию со дня день рождения П.Л. Капицы. Всероссийская научная конференция с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в области физики». Всероссийская молодёжная научно-инновационная конференция с международным участием «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе». Москва – Долгопрудный - Жуковский, 24-29 ноября 2014г.

3. Четвертая международная научно-практическая конференция «Наука. Общество. Бизнес» Кипр, Пафос 26-28 мая 2014.
4. XL «Гагаринские чтения». Международная молодежная научная конференция по исследованиям фундаментальных проблем освоения космического пространства, создания и эксплуатации аэрокосмической техники. Москва 9-13 апреля 2014 г.
5. XXXI научная конференция «Research Journal of International Studies». Екатеринбург, октябрь 2014.
6. 56-ая научная конференция - конкурс МФТИ. Всероссийская научная конференция «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук в современном информационном обществе». Всероссийская молодежная научно-инновационная конференция «Физико-математические науки: актуальные проблемы и их решения». Долгопрудный, 25-30 ноября 2013г.
7. XXXIX «Гагаринские чтения». Международная молодежная научная конференция по исследованиям фундаментальных проблем освоения космического пространства, создания и эксплуатации аэрокосмической техники. Москва 9-13 апреля 2013 г.

**Публикация.** Основное содержание диссертации отражено в 14 научных работах, объемом 5,1 п.л., в том числе 4 работы, объемом 1,5 п.л. опубликованы в рецензируемых журналах (в соответствии со списком ВАК РФ) [1,5,7,13]. В совместных работах результаты принадлежат соавторам в равных долях.

Получено свидетельство о победителе конкурса научных работ молодых ученых на 56-й международной конференции Московского физико-технического института в 2013 г.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 90 наименований и 6 приложений. Работа изложена на 127 страницах, содержит 5 таблиц и 29 рисунков.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели, задачи исследования и основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации и публикации исследования, показана научная новизна, практическая ценность работы и область применения результатов.

В **главе 1** представлено современное состояние вопроса обеспечения работоспособности и повышения эффективности функционирования бортовых систем управления. Она состоит из четырех частей. Проведено исследование структурных связей, и закономерности функционирования компонентов современных бортовых систем управления. Показана особенность задачи управления и контроля в бортовых системах на примере системы управления подвеской автомобиля. Приведены подходы построения высококачественных бортовых систем управления реального времени, и проблемы их реализации. Рассмотрены различные современные средства аппаратного проектирования,

моделирования и верификации цифровых бортовых систем управления и даны рекомендации по методу их применения.

Результаты исследования и анализа показали что, современные бортовые системы управления реального времени представляют собой сложные высокодинамические системы с пространственным распределением функциональных компонентов. Основной характеристикой таких систем управления является наличие множеств различных и смежных задач управления и контроля, реализуемых на основе цифровых электронных устройств и сетевой технологии соединения. Традиционные методы повышения эффективности функционирования и обеспечения работоспособности таких систем, например, различные методы резервирования или методы контроля и мониторинга, трудно реализуются из-за сложности исследуемых систем и повышения требования к автономности и гибкости подходов их реализации.

В главе 2 рассмотрены перспективные подходы построения сложных высокодинамических бортовых систем управления, и приемы их оптимизации. В данной главе рассмотрены преимущества и недостатки подходов построения сложных высокодинамических систем управления на основе моделей централизованных и распределенных систем. Предложены концепции построения сложных бортовых систем управления. Сущность данных концепций заключается в создании малосвязанной многопроцессорной системы. Данная система состоит из автономных локальных подсистем, связи между которыми являются слабыми, т.е. они либо отсутствуют, либо реализуются через центральную подсистему с низкой частотой и короткими командами. Пример структуры системы показан на рис. 1. Здесь МП1, МП2, ..., МП6 это микропроцессоры локальных подсистем управления ПС1, ПС2, ..., ПС5 и ЦПС (центральной подсистемы управления) соответственно.

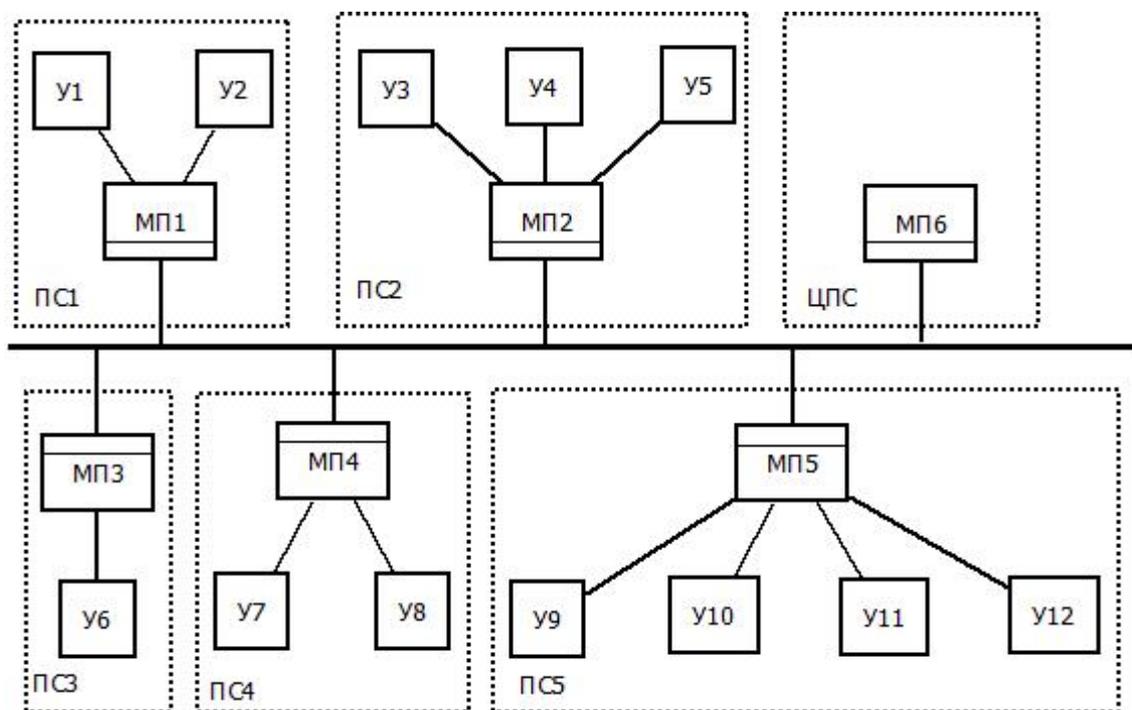


Рис.1. Структура распределенной системы управления

С точки зрения функционирования полной системы, локальная подсистема управления играет роль ведомого узла при подключении в сети передачи данных, а центральная подсистема управления – роль ведущего. Однако процессы обращения каждой локальной подсистемы к ведущей подсистеме осуществляются с низкой частотой. Каждая локальная подсистема может выполнять свои контуры управления и регулирования в отдельности, т.е. независимо от других локальных подсистем. Скорость обработки данных и передачи информации внутри каждой локальной подсистемы намного больше скорости обмена данных между ведущей и каждой ведомой подсистемой.

Одной из особенностей современной бортовой системе управления является наличие в ней сетевой информационной среды, к которой подключаются все блоки управления, контроля, датчики и исполнительные устройства. Подключение к этой среде позволяет, независимо от структурной связи и функционирования компонентов системы, получить полезную информацию для обеспечения задачи оптимизации и верификации бортовой системы. Благодаря такой особенности существует возможность оптимизации бортовой системы на основе ее сетевой информационной среды путем осуществления горизонтальных связей между локальными подсистемами и создания автономных блоков управления и контроля. Под автономными блоками понимаются параметрические логические узлы, характеристики которых могут задаться простым способом через цифровые интерфейсы при их настройке. Работы автономных блоков не зависят от функционирования процессоров исследуемой системы.

Преимущество использования цифровой сетевой информационной среды в задачах повышения эффективности функционирования и уровня работоспособности сложных бортовых систем управления заключается в простоте реализации таких задач. Информационная сетевая среда позволяет сократить число дополнительных датчиков, не усложнять структуру системы связи, что улучшает эффективность подхода оптимизации на ее основе с точки зрения экономичности и времени изготовления. Некоторые блоки и подсистемы управления в составе исследуемой бортовой системы могут играть роль эффективных интеллектуальных датчиков. Под такими датчиками понимаются датчики, у которых выходные данные являются не первично измеренной информацией, а обработанной по специальным алгоритмам преобразования. Таким образом, обеспечение задачи повышения эффективности функционирования и уровня работоспособности бортовых систем управления на основе сетевой информационной среды дает новые качества ее решения.

**В главе 3** описаны концепции аппаратной реализации высококачественных бортовых систем управления и их верификации. В данной главе, перечислены требования к задаче оптимизации бортовых систем управления с целью обеспечения работоспособности и повышения их эффективности функционирования управления. Отмечена важность требования простоты, автономности и гибкости механизмов реализации в задачах оптимизации и верификации сложных высокодинамических бортовых систем.

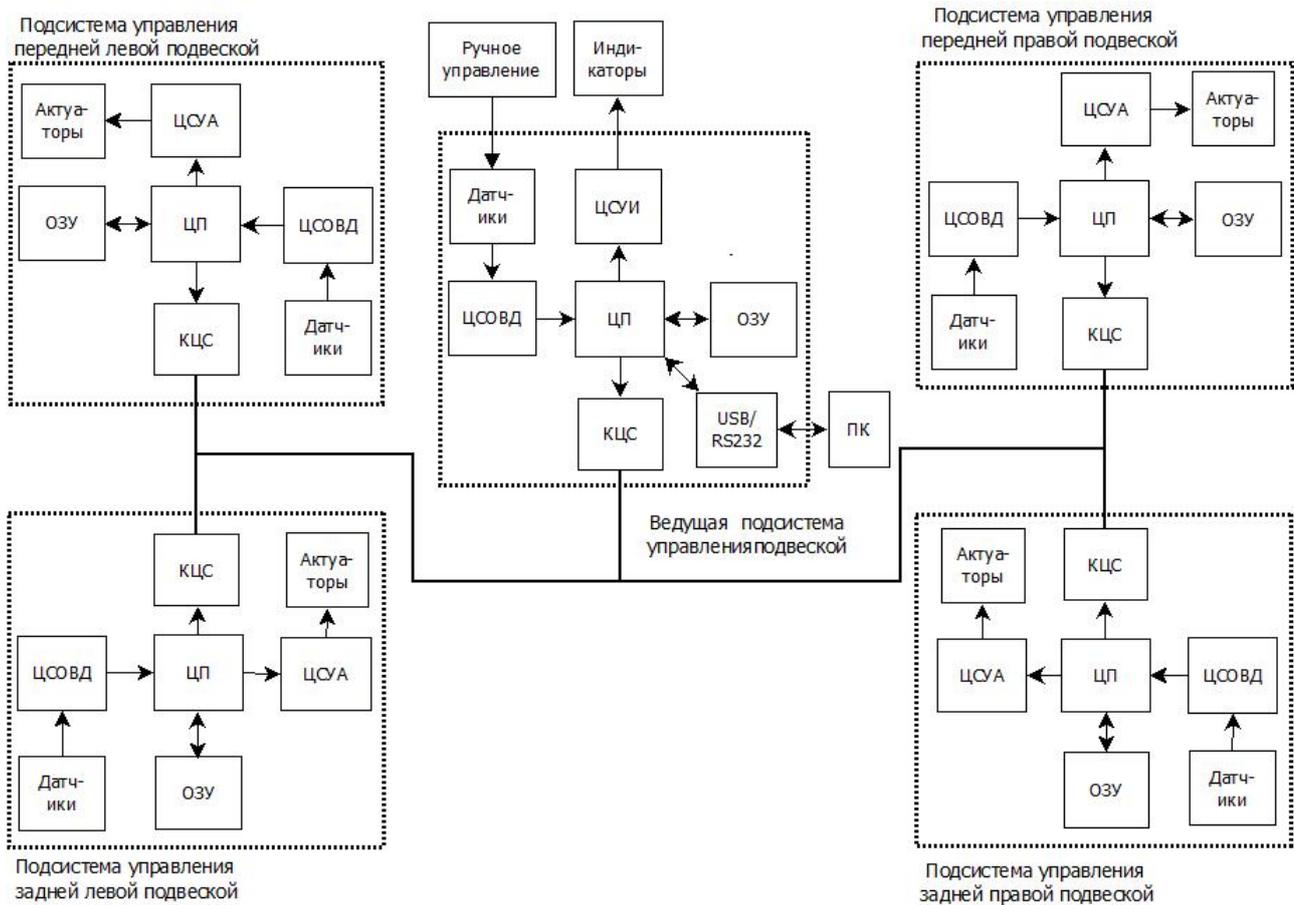


Рис. 2. Структурная схема бортовой распределенной системы управления подвеской автомобиля

Предложена структурная схема реализации многопроцессорной распределенной бортовой системы управления на примере бортовой распределенной системы управления подвеской автомобиля (БРСУПА). Данная структурная схема показана на рис. 2. Система состоит из ведущей и четырех ведомых подсистемы управления. Все подсистемы соединяются между собой бортовой сетью CAN со скоростью 1Мб/с. В состав каждой локальной подсистемы входят набор датчиков, актуаторов, КЦС (контроллер цифровой сети), ЦП (центральный процессор) и некоторые дополнительные узлы контроля и управления. В качестве таких узлов могут служить, например ЦСОВД (цифровая система обработки входных данных), ЦСУИ (цифровая система управления индикаторами) и ЦСУА (цифровая система управления актуаторами). Каждая ведомая подсистема может выполнять свои функции автономно вне зависимости от функционирования других ведомых подсистем. Кроме этого, процесс взаимодействий между ведущей и каждой ведомой подсистемой осуществляется короткими командами с низкой частотой обращения. Преимущества данной системы заключаются не только в ее возможности расширяемости или распределения системы по объекту, но и в простоте оптимизации, верификации и отладки частичной и полной системы.

Предложена концепция оптимизации бортовых распределенных систем управления на основе их свободных степеней информационных связей. Сущность данной концепции заключается в создании автономных дополнительных блоков

согласования управления (ДБСУ), и осуществлении прямых связей между ведомыми подсистемами. В каждом из дополнительных блоков можно реализовать различные алгоритмы управления. Например, в системе управления подвеской, каждый ДБСУ позволяет управлять и контролировать задние подвески по алгоритму предсказания на основе информации, полученной с подсистем передних подвесок (рис. 3). Прямые соединения между ведомыми подсистемами позволяет эффективно решать локальные задачи управления и контроля, которые относятся только к этим подсистемам. Совокупность дополнительных соединений и блоков управления образует резервный вариант управления, который работает в горячем режиме, чем обеспечивается высокая степень работоспособности системы. Преимущество данного подхода заключается не только в сохранении всех достоинств алгоритма предсказания, устранении его недостатков, но и автономности и гибкости метода его реализации и функционирования.

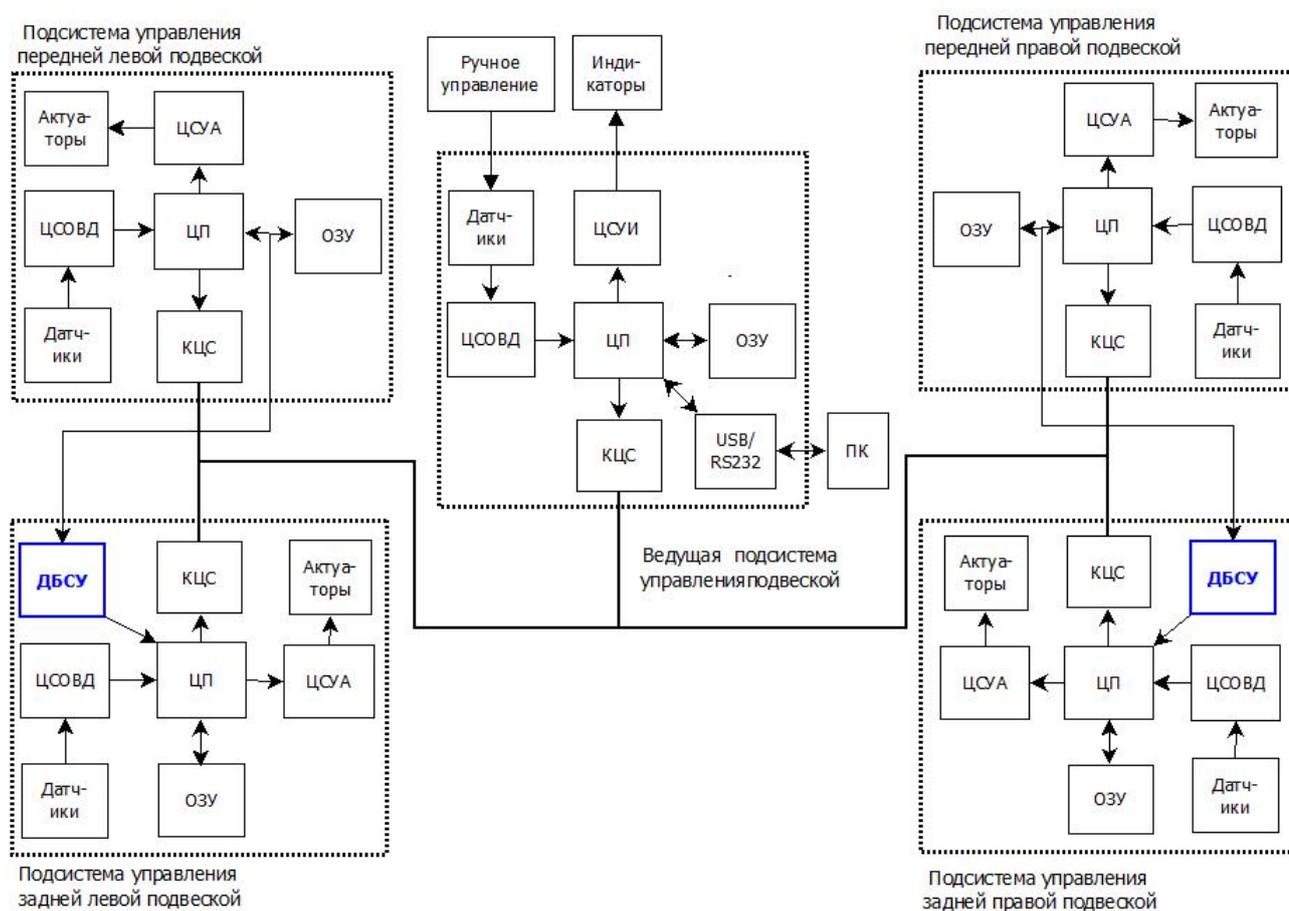


Рис. 3. Структурная схема реализации БРСУПА на основе сетевой информационной среды и механизма предсказания

Предложен перспективный метод контроля, мониторинга на основе организации автономных узлов регистрации и контроля (УРК). Совокупность УРК образует распределенную сетевую систему автономного контроля и управления. В памяти каждого УРК сохраняется не только информация о системе, но и характеристика ее поведения на типичных событиях в виде таблицы векторов событий, и соответствующих им управления. Благодаря этому, в случаях типичных событий локальная подсистема может быстро выполнять процессы управления и регулирования на основе информации, записанной в своем узле регистрации, и

продолжать работать даже при наличии отказов в ведущей подсистеме, чем повышается уровень работоспособности и эффективности функционирования полной системы. Особенностью схематической реализации данного метода является автономность реализации и функционирования узлов регистрации и контроля. Работа таких узлов не зависит от функционирования процессоров исследуемой системы. Таким образом, данный метод контроля и мониторинга не требует большой уровень понимания конструкции и алгоритмов функционирования системы и не усложняет ее структуру.

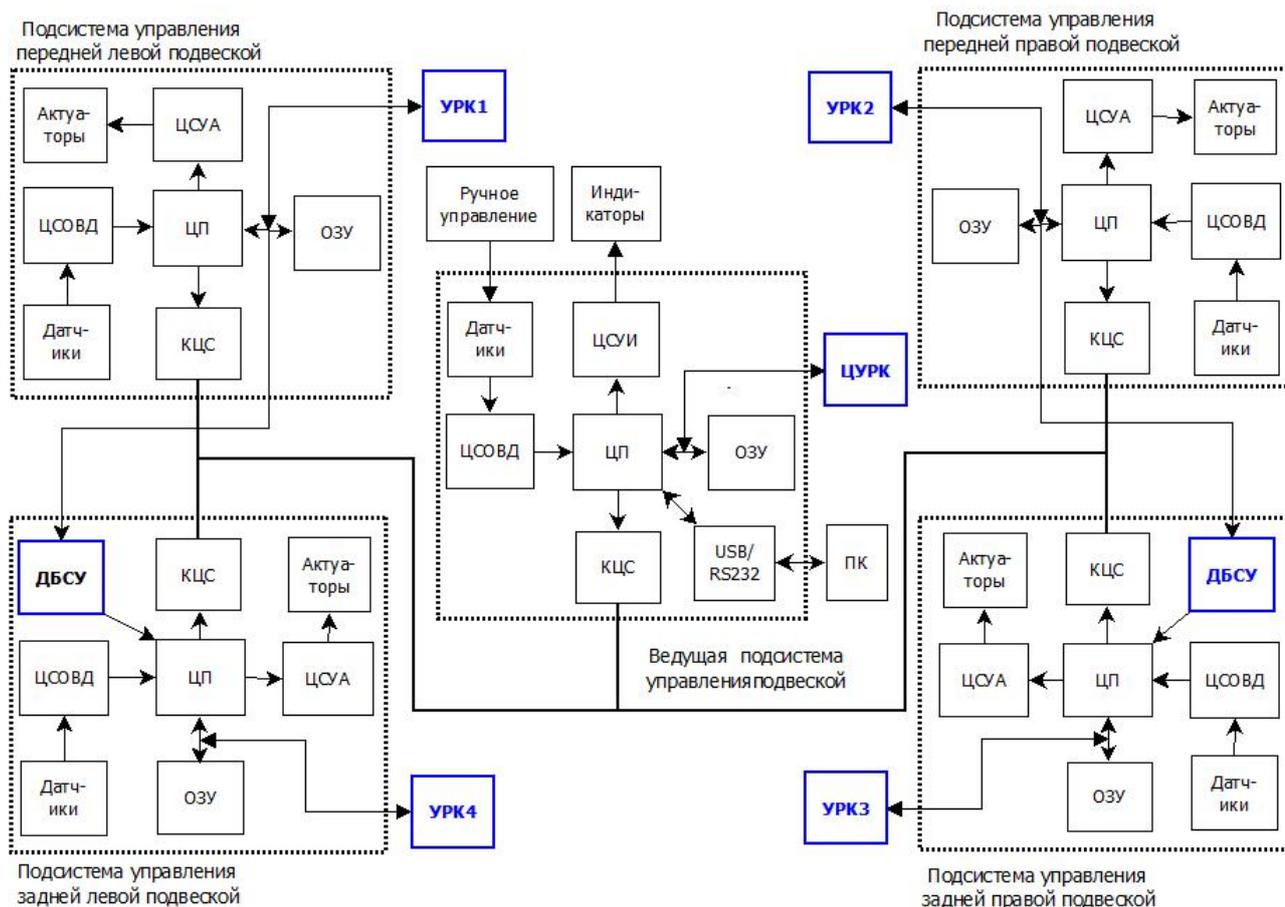


Рис. 4. Структурная схема реализации БРСУПА с организацией автономных узлов регистрации и контроля

В главе 4 приведены вопросы практической реализации автоматных средств, обеспечивающих эффективность функционирования и работоспособность бортовых распределенных систем управления. Данные средства представляют собой цифровые автономные узлы регистрации и контроля, описанные на языке описания аппаратуры Verilog. Функциональная схема реализации узла регистрации показана на рис.5. Здесь данные текущего состояния системы из шин памяти процессора системы управления (СУ) записываются в одном из двух массивов FIFO (FIFO FRAM1 и FIFO FRAM2), построенных на памяти типа FRAM, в соответствии с маской разрешения из таблицы признаков (FLAG\_TAB\_SRAM). В таблице сохраняется битовая маска, которая определяет, какие из наблюдаемых характеристик подлежат записи. Необходимые для работы маски загружаются при настройке узла через USB. Процессы чтения и записи в FIFO совмещены по

времени. Когда в первом массиве выполняется процесс записи очередного кадра, из второго массива данные предыдущего кадра управления будут передаваться в память SD-карты. Переключение между массивами памяти осуществляется с помощью двух счетчиков (CB\_WBS и CB\_RBS). Узел регистрации параметров может использоваться как отдельно или в составе различных блоков управления и контроля, работающих на основе сетевой информационной среды. Например, он используется в составе дополнительных блоков согласования управления (рис. 3), узлов регистрации и контроля (рис. 4), и работает как отдельное устройство в задачах верификации и отладки бортовых систем управления (рис. 8).

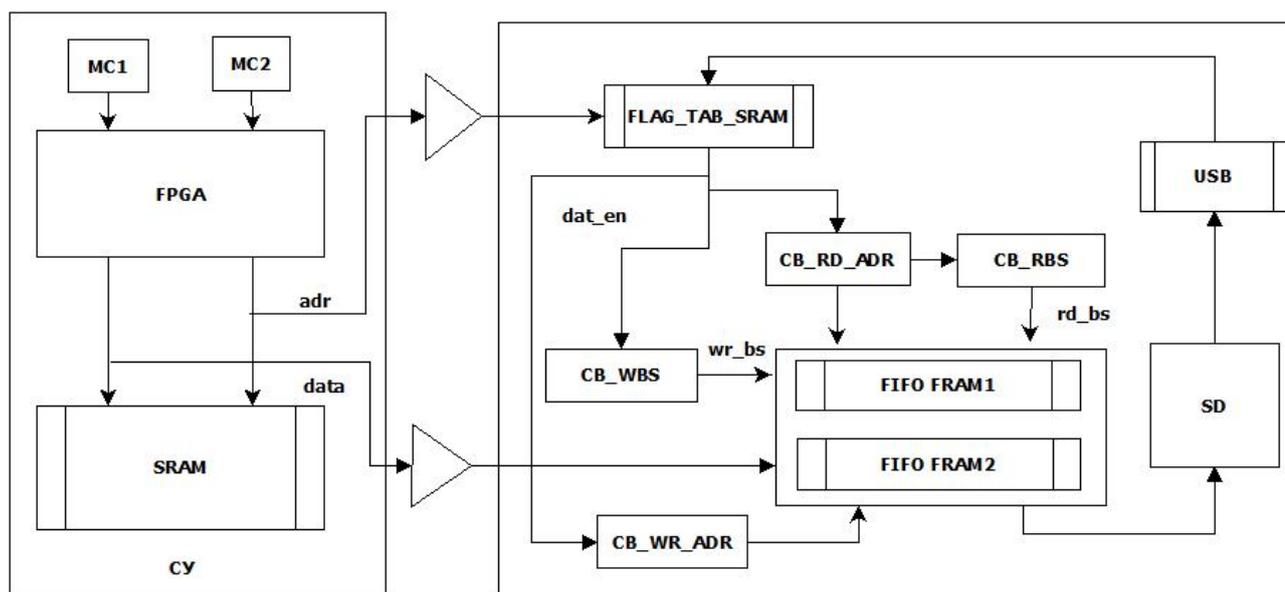


Рис. 5. Функциональная схема аппаратной реализации узла регистрации параметров высокодинамических объектов

В главе показаны назначение и актуальность задачи реализации данного узла, и отличие процесса контроля и регистрации параметров, на основе сетевой информационной среды, от традиционного метода реализации. Предложены методы параметрической настройки автономного узла регистрации и контроля. Обсуждена проблема временного ограничения и метод ее решения на основе выбора сегнетоэлектрической памяти в качестве энергонезависимой памяти сохранения данных и реализации механизма параллельного чтения и записи данных.

В качестве средства проектирования, моделирования и верификации использован современный пакет Active HDL версии 8.2 фирмы Aldec. Результаты реализации и моделирования представлены в виде схем реализации, программы аппаратного обеспечения и временных диаграмм (рис. 6 и рис.7). При аппаратном моделировании длина кадра данных составляет 32 слова. Поток данных поступает в систему со скоростью 1.6 Гб/с. Скорость чтения данных из двух массивов памяти FIFO достигает 1.53 Гб/с. Скорость записи зависит от признаков разрешения, средняя скорость записи достигает 730 Мб/с. Скорость обмена данных на CAN сетях в современных автомобилях составляет 1Мб/с. Так что, за один цикл работы сети CAN можно выполнить несколько десятков циклов вычисления.

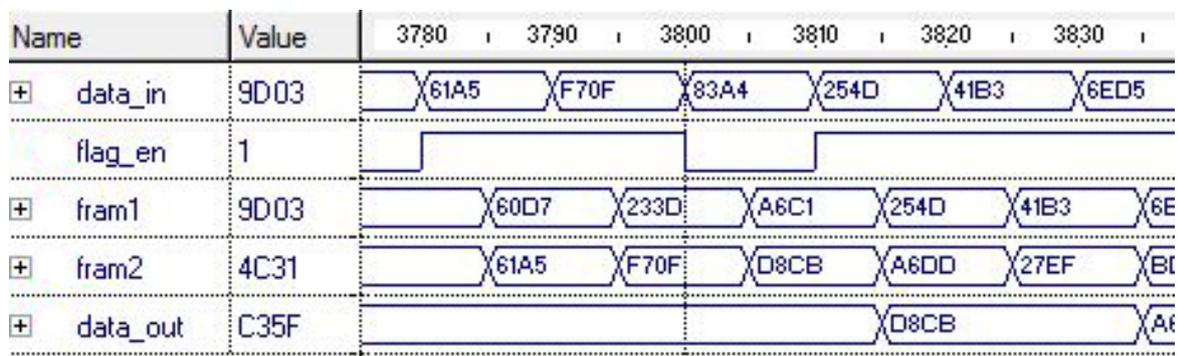


Рис. 6. Процесс записи 32 байтов текущих данных в первую память FIFO –FRAM и чтения из второй

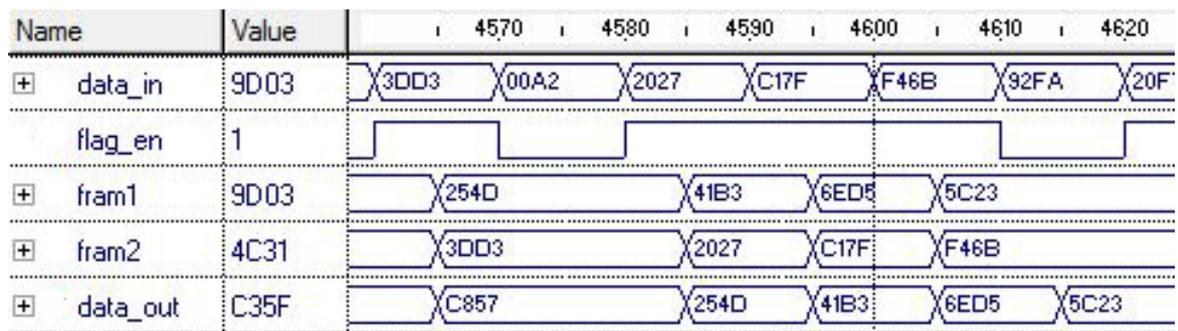


Рис. 7. Процесс записи 32 байтов текущих данных во вторую память FIFO –FRAM и чтения из первого

Прототип системы управления подвеской построен на основе инструментальной платы STM32F3DISCOVERY (микроконтроллер STM32F303VTCT6) с памятью на 256 КБ Flash, 48 КБ RAM. Дополнительные блоки согласования управления построены на основе микроконтроллеров MSP430FR5739 с ядом MSP430 и 16 КБ энергонезависимой сегнетоэлектрической памяти FRAM, питанием 3В. На основе анализа аппаратуры можно оценить увеличение объема оборудования при реализации горизонтальных связей и организации двух блоков согласования управления и 5-ти автономных узлов регистрации и контроля. Данное увеличение составляет 14 %, что является преимуществом данной реализации по сравнению с традиционным подходом обеспечения работоспособности системы на основе метода полного дублирования аппаратуры. Эффективность можно оценить сравнением скорости выполнения задач управления и регулирования по алгоритму предсказания в исходной и модифицируемой системе. Сравнительные оценки эффективности аппаратной реализации показывают что, скорость обработки в модифицируемой системе может увеличиться на 25%. При этом степень усложнения алгоритмов управления не превышает 12% (оценка по количеству команд управления в программном обеспечении). Реализация задач повышения эффективности и работоспособности, и так же задач контроля и мониторинга системы на основе ее сетевой информационной среды обеспечивает новые качественные решения.

В данной главе также рассмотрены проблемы аппаратной верификации и отладки бортовых распределенных систем управления, и подход к их решению. Сущность процесса аппаратной верификации заключается в моделировании работы каждого блока, каждой подсистемы и системы управления в целом.

Верифицируемая модель системы, в процессе верификации рассматривается как черный ящик, входные сигналы которого имитируются, выходные сигналы наблюдаются и проверяются собственно разработчиком, или сравниваются с выходными сигналами эталонной модели. Одной из решаемых в данном случае задач является создание имитационных генераторов входных сигналов. В большинстве случаев такие сигналы не являются случайными, а изменяются по сложной закономерности. Такие закономерности трудно описываются на языке описания аппаратуры. В этой ситуации полезным способом оказывается использование автономных узлов регистрации. Узлы регистрации используются в качестве средства приема данных от реальных устройств и передачи этих данных в верифицируемую модель системы (рис.8). Благодаря особенностям схемной реализации таких узлов, данный подход позволяет получить наиболее точные результаты по сравнению с обычным методом использования генераторов случайных чисел, обладает большей степенью гибкости по сравнению с методом непосредственной верификации, не усложняет и разрушает функциональность системы.

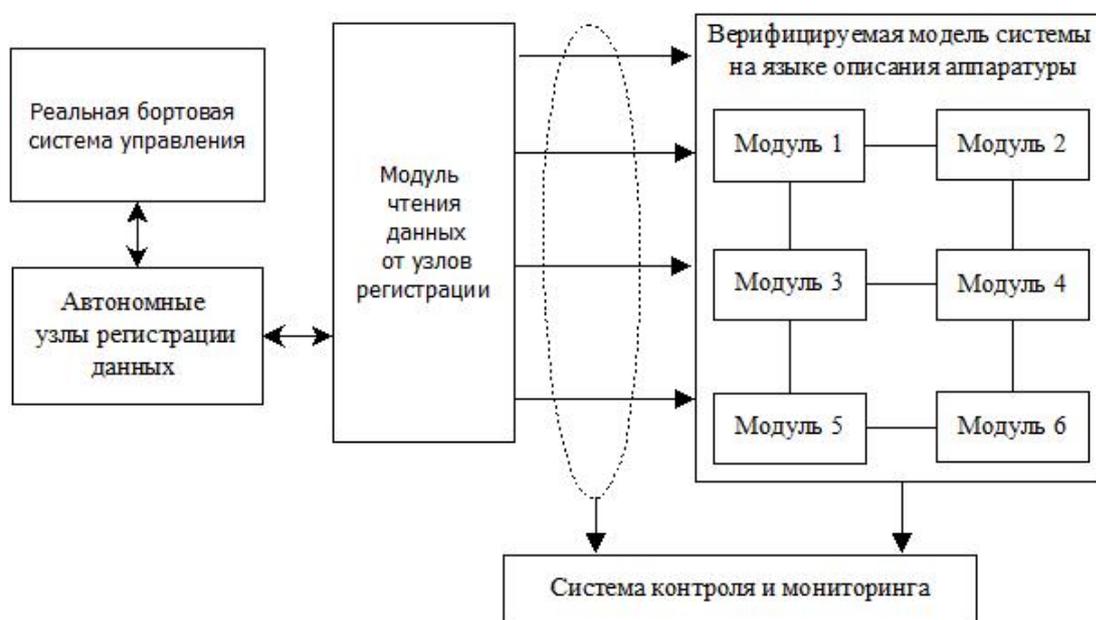


Рис. 8. Структурная схема аппаратной верификации сложных бортовых систем управления на основе применения автономного узла регистрации

В данной главе также рассмотрены вопросы развития промышленных бортовых сетей и проблемы, возникающие при их комплексировании. Разработаны различные приемы аппаратной поддержки сетевых решений, обеспечивающие повышение пропускной способности сети, исключение лишних арбитражных процедур, упрощение процедур обмена за счет типизации пакетной структуры передаваемой информации. Аппаратная реализация предложенных приемов в промышленных бортовых сетях **CAN**, **Fast Ethernet**, **Modbus** и **Profibus DP** выполнена на инструментальной плате FPGA. Показано что, подобные аппаратные решения и алгоритмы повышают надежность функционирования систем управления и контролируемость сетевого оборудования.

## **В заключении сформулированы основные результаты диссертации**

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме оптимизации сложных высокодинамических бортовых систем управления на основе сетевой информационной среды с целью повышения эффективности и работоспособности их функционирования.

1. Исследование различных задач управления, контроля и структурных схем их реализации в современных бортовых системах управления, показало эффективность реализации модели слабосвязанных распределенных систем, построенных на основе сетевой технологии связи и двух концепций декомпозиции системы: во-первых, многоуровневой структуры организации системы, во-вторых, повышения степени автономности локальных подсистем.
2. Анализ существующих традиционных методов повышения эффективности и обеспечения работоспособности современных бортовых систем управления показал недостатки таких методов с точки зрения их реализации и функционирования.
3. Развитие сложности и динамических характеристик бортовых систем управления поставило задачу оптимизации сложных бортовых систем управления с повышенными требованиями к простоте, автономности и гибкости механизмов их реализации и функционирования.
4. Показана эффективность использования цифровой сетевой среды в качестве информационной основы для решения задачи обеспечения работоспособности и повышения качества сложных бортовых систем управления.
5. Разработана структурная схема реализации модели слабосвязанной распределенной бортовой системы управления на примере адаптивной пневматической системы управления подвеской автомобиля.
6. Разработаны приемы модификации сложных высокодинамических бортовых систем управления на основе использования свободных информационных связей и построения дополнительных автономных блоков согласования управления, и структурные схемы их аппаратной реализации.
7. Разработан перспективный метод контроля и мониторинга сложных бортовых систем управления на основе организации автономных узлов регистрации и контроля. Построена не только структурная схема его аппаратной реализации, но и предложены алгоритмы. Разработана и подробно моделирована функциональная схема.
8. Разработан подход верификации и отладки сложных высокодинамических бортовых систем управления на основе применения автономных узлов регистрации данных. Внимание уделено вопросам верификации и отладки бортовых систем, ряд компонентов которых не доступен для прямой проверки.
9. Разработан подход аппаратной реализации средств, обеспечивающих задачу повышения работоспособности и эффективности функционирования сложных бортовых систем управления реального времени. В данный подход входят: во-первых, алгоритм параметрической настройки различных автономных блоков согласования управления и контроля, во-вторых, метод решения проблемы временного ограничения, в-третьих, метод реализации механизма параллельного чтения и записи данных.

10. Разработаны и проверены на практике приемы аппаратной поддержки сетевых решений, обеспечивающие повышение пропускной способности сети, исключение лишних арбитражных процедур, упрощение процедур обмена за счет типизации пакетной структуры передаваемой информации. Подобные аппаратные решения и алгоритмы повышают надежность функционирования систем управления и контролируемость сетевого оборудования.
11. Все механизмы и реализуемые схемы описаны на языке описания аппаратуры Verilog. В качестве средства проектирования, моделирования и верификации использован современный пакет Active HDL версии 8.2 фирмы Aldec. Результаты реализации и моделирования представлены в виде схем реализации, описания аппаратуры на языке, временных диаграмм и численных файлов. Для системы управления пневматической подвеской автомобиля, работающей на основе микроконтроллера STM32F303VTCT6 и сети CAN 1Мб/с, скорость обработки информации с использованием аппаратных решений достигает 730 Мб/с, так что, за один цикл работы сети CAN можно выполнить несколько десятых циклов вычисления. Эффективность системы (сравнительная оценка по скорости выполнения локальных задач управления и регулирования в системе до и после оптимизации) увеличивается на 25%. При этом, дополнительные затраты аппаратуры при реализации системы управления составят не более 14% от общего объема ее аппаратуры.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. **Чан Ван Хань. Разработка перспективного метода верификации и отладки бортовых распределенных систем управления на основе организации автономных узлов регистрации и контроля // Интернет-журнал «Науковедение». - М.: Науковедение, 2014. - №6 (25).**
2. Чан Ван Хань. Исследование и разработка перспективных методов оптимизации бортовых распределенных систем управления реального времени // Международный научно-исследовательский журнал. -10/2014. - №9(28). - С. 56-59. - ISSN 2227-6017
3. Чан Ван Хань, Преображенский Н.Б., Холопов Ю.А. Реализация высококачественных бортовых систем управления реального времени. // Труды 57-й научной конференции МФТИ с международным участием, посвященной 120-летию со дня день рождения П.Л. Капицы. Радиотехника и кибернетика. - М.: МФТИ, 2014. - С. 21-22. - ISBN 978-5-7417-0554-5
4. Чан Ван Хань. Исследование и построение многопроцессорной распределенной системы управления адаптивной пневматической подвеской автомобилей // Новый университет. Серия "Технические науки" науч. журн./учредитель ООО "Коллоквиум". - 2014, №11(33). - Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2014. - С. 53-59. - ISSN 2221-9552.
5. **Чан Ван Хань, Холопов Ю.А., Преображенский Н.Б. Исследование и разработка методики контроля перспективных распределенных систем управления в масштабе реального времени // Наука и бизнес: пути развития. - 5/2014. - №5(35). - С. 117-120. - ISSN 2221-5182**

6. Чан Ван Хань. Аппаратная реализация высоконадежной сетевой системы сбора и обработки данных. // Сборник «XL ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 9 томах». Москва 7-11 апреля 2014г. - Т. 6. - М.: МАТИ. – 2014
7. **Чан Ван Хань, Холопов Ю.А., Преображенский Н.Б. Регистратор параметров высокодинамических объектов [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. - 2013. - №3(49). Режим доступа <http://ipb.mos.ru/ttb>**
8. Чан Ван Хань. Исследование и разработка метода построения высоко-автономного регистратора параметров в цифровой системе управления. // Сборник «XXXIX ГАГАРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ. Научные труды Международной молодежной научной конференции в 9 томах. Москва, 9-13 апреля 2013г.» - М.: МАТИ. - 2013. - Т.4. - С.183-185. - ISBN 978-5-93271-689-2
9. Чан Ван Хань. Концепция построения сложных высоко-динамических бортовых систем управления реального времени // Новый университет. Серия "Технические науки" науч. журн./учредитель ООО "Коллоквиум". - 2014, №9(31). - Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2014. - С.27-32. - ISSN 2221-9552. - DOI:10.15350/2221-9552.2014.9.0006
10. Чан Ван Хань, Холопов Ю.А., Преображенский Н.Б. Аппаратная реализация высоко-автономного регистратора параметров в цифровой системе управления. // Труды 56-й научной конференции МФТИ. Радиотехника и кибернетика. - М.: МФТИ, 2013. - С.74-75. - ISBN 978-5-7417-0492-9
11. Чан Ван Хань, Дам Чонг Нам, Ле Ба Чунг, Преображенский Н.Б. Некоторые особенности реализации сетевых решений в системах управления. Сборник «Международная конференция Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T 2014. Тезисы докладов. Москва/Долгопрудный, 26-28 ноября 2014» - М.: МФТИ. - 2014. - С.217-218. - ISBN 978-5-7417-0522-3.
12. Преображенский Н.Б., Чан Ван Хань, Ле БА Чунг, Дам Чонг Нам Сетевые решения в системах управления.//Международный научный институт «Educatio», Технические науки, Новосибирск, 2014.- №5.
13. **Чан Ван Хань, Холопов Ю.А., Преображенский Н.Б. Аппаратная оптимизация бортовой распределенной системы управления подвеской автомобиля на основе ее свободных степеней информационных связей // Глобальный научный потенциал. - 11/2014. - № 11(44). - С. 113-116. - ISSN 1997-9355**
14. Чан Ван Хань. Исследование и разработка высококачественной бортовой системы управления реального времени на примере системы управления пневматической подвеской автомобиля // Новый университет. Серия "Технические науки" науч. журн./учредитель ООО "Коллоквиум". - 2014, №11(33). - Йошкар-Ола: Коллоквиум, 2014. - С. 47-52. - ISSN 2221-9552.