

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

*На правах рукописи*

УДК 62-503.54

Симаньков  
Владимир Иванович

Аппаратно-программное моделирование программного обеспечения встраиваемых систем управления

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-53 80 01 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)»

Научный руководитель  
Марков Александр Владимирович  
к.т.н., доцент

Минск 2016

Работа выполнена на кафедре систем управления учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**Марков Александр Владимирович,**  
кандидат технических наук, доцент кафедры систем управления учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

**Кузнецов Владимир Петрович,**  
доктор технических наук, профессор Института Информационных Технологий Белорусского Государственного Университета Информатики и Радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «22» января 2016 г. года в 12<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. Платонова, 39, 5 уч. корп., ауд. 701, тел.: 293-86-02, e-mail: [kafsu@bsuir.by](mailto:kafsu@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одним из основных этапов проектирования систем управления является моделирование. Моделирование предполагает создание модели – объекта, который воспроизводит в полной мере или частично поведение, физические свойства проектируемой системы.

Аппаратно-программное моделирование представляет собой подход к исследованию устройства, реализованного в виде системы из натуральных элементов, сопрягаемых с остальной частью системы, реализованной в виде модели. Создание аппаратных блоков, максимально повторяющих элементы готового изделия и управляемых моделью с компьютера, позволяют исследовать и оценить воздействие факторов, моделировать которые невозможно или нецелесообразно. Программная модель при этом позволяет исследовать множество различных алгоритмов работы и обработки информации.

При проектировании систем управления применяется такой вид аппаратно-программного моделирования как быстрое прототипирование управления. Это процесс, который позволяет инженерам быстро проверить алгоритмы управления в условиях, соответствующих эксплуатации системы управления в рабочем режиме. Математические модели запускаются в системе автоматического проектирования в режиме реального времени и подключаются к реальным системам через средства ввода-вывода.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время все большее распространение получают технологии аппаратно-программное моделирования (АПМ) и быстрого прототипирования. Их популярность обусловлена высокой скоростью развития электроники и жестких требований к длительности разработки новых устройств. Традиционно при разработке устройства разработчик макетировал свое изделие для оценки правильности принятых схмотехнических изделий, исследования датчиков, алгоритмов работы устройства и обработки информации, и других параметров. Однако постоянно растущая сложность устройств и используемых в них компонентов сильно снижает эффективность макетирования. Применение технологий АПМ и быстрого прототипирования позволяют избежать множества сложностей и существенно повысить эффективность процесса разработки.

### **Степень разработанности проблемы**

АПМ начало интенсивно развиваться приблизительно 15-20 лет

назад как отдельное направление в авиастроении. Затем оно нашло широкое применение в космической, автомобильной и других отраслях. В настоящее время литература по аппаратно-программному моделированию в основном представлена статьями и докладами, имеющими различную специфику в зависимости от аппаратной, программной платформ, а также от решаемой задачи. Особую важность имеют технические доклады компаний, использующих технологии АПМ при проектировании своих изделий. Это такие компании как *Audi*, *Boeing*, *D-Space*, *Boston Dynamics* и другие крупные производители автомобильной и авиационно-космической отраслей. Также данную тематику развивают производители программных или аппаратных средств для АПМ. Это такие компании как *Altera*, *Xilinx*, *National Instruments*, *Mathsoft* и другие. Отдельно стоит выделить среду визуального моделирования *Simulink* САПР *MATLAB* компании *Mathsoft*. Этот продукт стал фактически стандартом в области систем АПМ, так как многие сторонние разработчики основывают на среде *Simulink* свои системы, либо используют интеграцию с ней.

#### **Цель и задачи исследования**

Данная диссертация ставит своей целью разработку эффективных алгоритмов АПМ при проектировании встраиваемых систем управления.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- рассмотреть возможности технологий АПМ при проектировании встраиваемых систем управления;

- выработка рекомендаций и практического руководства к действию при разработке систем управления с использованием АПМ;

- провести анализ ошибок и неточностей аппаратно-программных моделей по сравнению с макетированием, как наиболее точным, но дорогим методом моделирования.

- на примере решений конкретных практических задач показать эффективность использования АПМ. Как при проектировании простых систем, на примере синтеза системы позиционирования с ПД регулятором, так и при разработке более сложных систем с нечеткой логикой.

**Объектом** исследования является проектирование встраиваемых систем управления.

**Предметом** работы выступают пути совершенствования этого процесса и применение эффективных алгоритмов разработки.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-53 80 01 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)».

## **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли современные разработки в области проектирования встраиваемых систем управления, исследования авторов математического пакета *MATLAB*.

Моделирование производилось в среде *MATLAB*. Для идентификации объекта использовался пакет *System Identification Toolbox*, для моделирования среда *Simulink*. Для генерирования кода использовался продукт *Simulink Coder*. Для запуска моделей в реальном масштабе времени был задействован движок реального времени *Real Time Windows Target*. Программа встраиваемой системы написана в среде *Code Composer Studio*.

**Информационная база** исследования сформирована на основе экспериментальных данных, полученных с использованием лабораторного стенда.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке эффективных алгоритмов разработки встраиваемых систем управления, методе параметрической идентификации динамических объектов по их фазочастотным характеристикам.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Способ использования технологий АПМ при разработке встраиваемых систем управления. Результаты практического применения данного способа.

2. Метод параметрической идентификации динамических объектов по их фазочастотным характеристикам, его сравнение с методом, имеющимся в пакете *System Identification Tool* пакета *MATLAB*.

3. Результаты использования разработанного метода идентификации и технологий АПМ при проектировании встраиваемой системы управления.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней сделан обзор методов моделирования, выделены особенности использования АПМ, проведен анализ экспериментальных данных. При разработке метода параметрической идентификации проведено сравнение методов численной оптимизации для решаемой задачи. Особенность данного метода в том, что он наиболее полно использует теоретические знания об объекте. Такие, как аналитический вид частотных характеристик звеньев модели, границы диапазонов параметров модели.

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что на основе предложенного способа применения технологии АПМ возможно ускорение процесса разработки встраиваемых систем управления, а также повышение их надежности за счет снижения влияния человеческого фактора. Также предложенные методики могут быть использованы при обучении студентов дисциплине «Проектирование микропроцессорных систем управления».

### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Результаты исследования были неоднократно представлены на:

– 12-ой международной научно-технической конференции «Наука –

образованию, производству, экономике» (Минск: БНТУ, 2014);

– 51-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», секция «информационные технологии и управление»;

– Международной научной конференции Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014, БГУИР, Минск);

– Международной научной конференции Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015, БГУИР, Минск).

Отдельные положения диссертации, в частности метод параметрической идентификации динамических объектов, представлен в отчете по научно-исследовательской работе «Разработка эффективных алгоритмов и систем управления генерированием и потреблением электроэнергии в различных отраслях промышленности. (заключительный)» ГБЦ №14-3001. (Минск, БГУИР, 2015).

### **Публикации**

Метод параметрической идентификации изложен в одной опубликованной работе общим объемом 7,0 п.л. (авторский объем 7,0 п.л.), в журнале, входящем в перечень ведущих периодических изданий ВАК.

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 68 страниц. Работа содержит 2 таблицы, 37 рисунков. Библиографический список включает 25 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы разработки программного обеспечения блоков управления, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются методы моделирования, дается их краткая характеристика.

Во **второй главе** приведен синтез системы управления положением с ПД регулятором с применением технологий АПМ.

В **третьей главе** представлен метод параметрической идентификации динамических объектов

В приложениях приведены алгоритм и код построения регулировочных характеристик, листинг автоматически сгенерированного кода, а также графический материал.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод аппаратно-программного моделирования сокращает время отладки программного обеспечения встраиваемых систем управления. Использование среды Simulink снижает трудозатраты, что вызвано наглядностью визуального моделирования и автоматической генерацией кода. При таком подходе нет необходимости в составлении блок-схемы алгоритма перед написанием программы. Схема моделирования наглядно отражает структуру программы, кроме того, позволяет быстро изменять алгоритм работы системы простым добавлением или удалением блоков модели. Автоматическая генерация кода устраняет человеческий фактор, что уменьшает вероятность ошибок по сравнению с ручным программированием и повышает надежность. В автоматически созданном коде применены стандартные решения типовых вычислительных задач, что избавляет от необходимости разрабатывать собственные. Движок реального времени Real-time Windows Target позволяет приблизить работу программ под Windows к реальному времени. Это объединяет мощные программные средства Windows и детерминированность операционных систем реального времени.

Метод аппаратно-программного моделирования с использованием САПР MATLAB и среды визуального моделирования Simulink можно применять при разработке как простых, так и более сложных систем, ручное программирование алгоритма которых может занять длительное время.

Предложенный метод идентификации динамических объектов по фазочастотным характеристикам дополняет имеющиеся в “System Identification Toolbox” и в некоторых случаях позволяет идентифицировать объект при промахах других методов, так как имеет другую целевую функцию с количеством входных параметров на один меньше.

Результаты, полученные в ходе работы над диссертацией, доведены до практического применения и испытаны на реальной системе управления, а также представлены в публикациях, перечисленных в списке публикаций соискателя.

### Список опубликованных работ

1. Симаньков, В.И. Аналитический метод параметрической идентификации линейных динамических объектов // В.И. Симаньков, Материалы 12-ой междунар. научно-технич. конф. в 4 томах, Том 1. Наука – образованию, производству, экономике. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 197.
2. Симаньков В. И. Аппаратно-программное моделирование систем управления // 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студен-

тов Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», секция «информационные технологии и управление».

3. Марков, А. В. «Быстрое прототипирование систем управления с нечетким регулятором» / А. В. Марков, В. И. Симаньков. – Информационные технологии и системы 2015 (ИТС 2015). / – материалы международной научной конференции, БГУИР, Минск, Беларусь, 2015. – с 72-73.

4. Марков, А.В. «Параметрическая идентификация динамических объектов по фазочастотным характеристикам» / А.В. Марков, В.И. Симаньков // Материалы международной научной конференции Информационные технологии и системы 2014 (ИТС 2014), БГУИР, Минск, – с. 72-73.

5. Марков, А.В. «Параметрическая идентификация динамических объектов по фазочастотным характеристикам» / А.В. Марков, В.И. Симаньков // Доклады БГУИР. – 2015. – №3 (89). – с. 29-35.

6. Отчет по научно-исследовательской работе «Разработка эффективных алгоритмов и систем управления генерированием и потреблением электроэнергии в различных отраслях промышленности. (заключительный)» ГБЦ №14-3001. – Минск, БГУИР, 2015.

7. Стрижнев, А.Г. «Особенности временного способа управления двухфазным асинхронным двигателем при питании обмоток одно- и многократными ШИМ-последовательностями.» / А.Г.Стрижнев, А.А. Шихов, В.И. Симаньков // Материалы 11-ой междунар. научно-технич. конф. в 4 томах, Том 1. Наука – образованию, производству, экономике. – Минск: БНТУ, 2013. – с. 211.

8. Симаньков, В.И. «Особенности фазового способа управления двухфазным асинхронным двигателем при питании обмоток одно- и многократными ШИМ-последовательностями.» / В.И. Симаньков // Материалы 11-ой междунар. научно-технич. конф. в 4 томах, Том 1. Наука – образованию, производству, экономике. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 210.

9. Стрижнев, А.Г. «Особенности широтно-импульсного способа управления двухфазным асинхронным двигателем при питании обмоток одно- и многократными ШИМ последовательностями.» / А.Г. Стрижнев, В.И. Симаньков, А.А. Шихов // Материалы 12-ой междунар. научно-технич. конф. в 4 томах, Том 1. Наука – образованию, производству, экономике.