

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.7 (043.3)

ЖИЛЯК  
Надежда Александровна

СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ  
МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВТОРИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ  
В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы  
и компьютерные сети

Минск 2011

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет».

**Научный руководитель**      **Кудрявцев Владимир Иванович**, доктор технических наук, заместитель технического директора закрытого акционерного общества «Мосэнергоремонтсервис»

**Официальные оппоненты:** **Дудкин Александр Арсентьевич**, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории идентификации систем государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

**Чудовский Валерий Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и компьютерных систем Белорусского государственного университета

**Оппонирующая организация**      Открытое акционерное общество «АГАТ-СИСТЕМ»

Защита диссертации состоится 9 июня 2011 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел.: 293-89-89, e-mail: dissovet@bsuir.by.

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

## ВВЕДЕНИЕ

Основной функцией современных измерительных комплексов является осуществление многоканальных вторичных вычислений. От качества этих вычислений зависит достижение измерительными комплексами решающих конкурентных преимуществ включая улучшение метрологических характеристик измерений, расширение ассортимента технических объектов, которые могут быть использованы в качестве первичных измерительных преобразователей, осуществление функциональной интеграции, в ходе которой один измерительный сигнал может быть использован для измерения более чем одной измеряемой величины, увеличение количества измерительных каналов, обслуживаемых одним измерительным комплексом. Поскольку измерения осуществляются в режиме реального времени, это накладывает дополнительные жесткие требования по производительности многоканальных вторичных вычислений. В этих условиях необходимое усложнение многоканальных вторичных вычислений для получения конкурентных преимуществ возможно только в ходе процесса синтеза функциональных схем соответствующих вычислительных структур, при котором исключено влияние человеческого фактора на надежность, скорость и стоимость проектирования такого рода схем.

Проблемам синтеза функциональных схем посвятили свои исследования ряд отечественных и зарубежных ученых, среди которых необходимо отметить С.В. Тарарыкина, А.А. Петровского, А.С. Кобайло, Р. Реймана, Х. Гома, Д. Кропина, А. Купера и др. Наиболее полно принципиальные решения для синтеза функциональных схем на современном этапе развития этого научного направления изложены в теории синтеза вычислительных структур реального времени А.С. Кобайло. В ней предусмотрен синтез функциональных схем, поддерживающих использование современных технологий управления вычислительными структурами, включая конвейеризацию и распараллеливание вычислительного процесса. Однако данная теория не имеет примеров практического использования из-за отсутствия адаптации ее методов к реализации в вычислительных системах с ограниченными вычислительными ресурсами и к условиям, предъявляемым к синтезу функциональных схем для многоканальных вторичных вычислений. К последним относится обеспечение многовариантной и многокритериальной оптимизации синтезируемых решений и обеспечение корректности математических моделей, лежащих в основе процесса синтеза. Процесс синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений не может быть разработан и внедрен в производство в качестве программного приложения без комплексного исследования и решения данных проблем.

Таким образом, разработка методов и алгоритмов синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений на базе теории синтеза вы-

числительных структур реального времени для осуществления их в вычислительном процессе синтеза в реальных вычислительных устройствах и с учетом специальных требований, предъявляемых к ним при проектировании измерительных комплексов, является актуальной задачей.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами и темами**

Диссертационная работа выполнена в рамках следующих научно-исследовательских программ и тем:

1. НИР «Исследование и разработка методов и средств построения высокоскоростных интерфейсов, программируемых и программно-перестраиваемых электронных приборов и систем» (шифр «Тест», № госрегистрации 2006441) Государственной комплексной программы научных исследований «Физические и технологические основы создания новых материалов, элементной базы и разработка устройств опто-, микро-, нанoeлектроники, информационно-измерительных систем и приборов» (ГКПНИ «Электроника»), утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2005 г. № 1339.

2. НИР «Исследование и разработка схемотехнических, конструктивных и технологических методов построения нового поколения средств измерений электрических величин» (№ госрегистрации 20062443) ГКПНИ «Электроника», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2005 г. № 1339.

3. НИР «Исследование методов построения преобразователей входных сигналов для создания конкурентоспособных радиоэлектронных и контрольно-измерительных приборов нового поколения» (№ госрегистрации 20062444) ГКПНИ «Электроника», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.11.2005 г. № 1339.

4. ОКР «Разработать и подготовить к производству многоканальное устройство сбора и обработки измерительной информации для промышленного применения (шифр «Регистратор») (№ госрегистрации 2002542) Государственной научно-технической программы «Приборостроение», раздел «Приборы и средства измерений», утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 08.01.2004 г. № 5.

## **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационного исследования является разработка методов и алгоритмов оптимизации синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов с использованием теории синтеза вычислительных структур реального времени. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Разработать на базе формального метода синтеза вычислительных систем реального времени алгоритм его реализации для операционной части многоканальных вторичных вычислений в условиях ограничений времени и памяти, задействованных в вычислительном процессе.

2. Разработать алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов с минимизацией объема вычислений и контролем корректности вычислений.

3. Разработать метод оценки и выбора из множества синтезированных работоспособных структур оптимальной по заданным критериям в условиях вариативной многокритериальной оптимизации.

4. Исследовать особенности и возможности синтеза функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями в рамках теории синтеза вычислительных структур реального времени с определением обобщенной структуры функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями.

5. Применить разработанный процесс синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений при разработке современного измерительного комплекса и оценить конкурентоспособность данного процесса синтеза.

Объектом исследования является процесс синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений. Предметом исследования являются методы выбора оптимального синтезируемого решения, алгоритм синтеза функциональных схем, математическая модель, обобщенный граф алгоритма и обобщенная структура для синтеза функциональной схемы управления многоканальными вычислениями.

## **Положения, выносимые на защиту**

1. Алгоритм синтеза вычислительных структур реального времени (ВСПВ), основывающийся на положениях теории синтеза ВСПВ и отличающийся возможностью точного планирования вычислительного ресурса памяти вне зависимости от количества синтезируемых решений, а также гибкостью

вычислительного процесса относительно выделенного времени для процесса синтеза.

2. Алгоритм синтеза функциональной схемы (ФС) операционной части многоканальных вторичных вычислений (МВВ), основанный на алгоритме синтеза ВСПВ, отличающийся тем, что с целью уменьшения время работы процессора и объема используемой памяти усекается дерево поиска решений и осуществляется контроль их корректности.

3. Метод оценки и выбора из множества работоспособных систем оптимальной по заданным критериям, отличающийся тем, что с целью сокращения время работы процессора и объема машинной памяти, а также обеспечения многокритериальной оптимизации синтеза в качестве математической модели выбрана характеристическая булева функция, позволяющая использовать преимущественно ресурсоэкономные операции суммирования и осуществлять минимизацию операций.

4. Математическая модель и обобщенная структура ФС управления МВВ, основывающиеся на положениях теории синтеза (ТС) ВСПВ, отличающиеся тем, что позволяет сократить количество операций алгоритма в каждом измерительном канале на одну, а в обобщенной структуре функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями это позволяет сократить количество функциональных устройств на одно.

#### **Личный вклад соискателя**

Все результаты и положения, выносимые на защиту, получены автором лично. Научный руководитель принимал участие в постановке задач, определении возможных путей их решения, в предварительном анализе, обсуждении результатов теоретических и практических исследований, проведенных автором самостоятельно. Часть представленных исследований проведены в сотрудничестве со специалистами 22-го отдела ОАО «МНИПИ».

#### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на X Республиканской научной конференции студентов и аспирантов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС-2005» (БГУИР, Минск, 2006 г.); IX Республиканской научной конференции студентов и аспирантов (ГТУ, Гомель, 2007 г.); Международной научно-технической конференции «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» (БГТУ, Минск, 2006 г., 2009 г.); Международной научно-технической конференции «Организационно-техническое управление в межот-

раслевых комплексах» (Минск, БГТУ, 2007 г.); 62, 63, 64, 65, 66-й конференции БГТУ (БГТУ, Минск, 2005–2010 гг.); 71, 72, 73-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (БГТУ, Минск, 2007 г., 2008 г.); Международной научно-технической конференции «Приборостроение–2008» (БНТУ, Минск, 2008 г.), V Международной научно-методической конференции (БГУИР, Минск, 2010 г.).

### **Опубликование результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе: 3 тезиса и 7 докладов в научных журналах и сборниках; в рецензированных сборниках – 7 статей. Общий объем статей, опубликованных в изданиях, которые рекомендует ВАК Беларуси, составляет 2,5 авторских листа; общий объем других рецензируемых научных публикаций составляет 1 авторский лист.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений.

Полный объем диссертации составляет 148 страниц. Диссертация содержит: 6 приложений на 42 страницах, 21 рисунок на 21 странице, 4 таблицы на 4 страницах, библиографический список из 107 наименований литературных источников включая собственные публикации на 9 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

Во введении рассмотрены проблемы, связанные с исследованиями, проведенными в диссертационной работе, которые направлены на разработку методов и алгоритмов синтеза ФС МВВ на базе ТС ВСРВ и их использование при разработке новых измерительных комплексов с целью повышения их конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках.

В первой главе диссертационной работы проанализировано современное состояние проблем в области синтеза вычислительных структур в процессах управления, измерения, регистрации и анализа данных. Приведен анализ методов синтеза вычислительных структур реального времени. Определены основные проблемы применения теории синтеза вычислительных структур реального времени при проектировании измерительных комплексов, сформулированы цель и задачи исследований.

Увеличение мощности многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов (ИК) определяет повышение достоверности измеритель-

ных данных и увеличение количества технических объектов, которые могут быть использованы в качестве первичных измерительных преобразователей, позволяет увеличить количество измерительных данных без увеличения количества первичных измерительных преобразователей. При этом в МВВ должно сочетаться использование огромного разнообразия математических инструментов и алгоритмов с жесткими ограничениями реального времени и минимизацией используемых вычислительных и аппаратных ресурсов. В наибольшей степени данным требованиям соответствуют специализированные вычислительные процессоры, усложнение которых прямо связано с достигаемыми при этом конкурентными преимуществами. Таким образом, наибольшие возможности получения такого рода преимуществ возможны при автоматическом проектировании или синтезе ФС МВВ, в ходе которого может быть достигнуто практически неограниченное усложнение проектируемых вычислительных структур при достаточной надежности и скорости проектирования и его низкой стоимости относительно ручного проектирования.

Процесс синтеза функциональных схем МВВ состоит из двух этапов: синтеза функциональных схем операционной части МВВ, в соответствии с которой осуществляются вторичные вычисления по нескольким измерительным каналам, и синтез функциональной схемы управления МВВ, которая организует выполнение вторичных вычислений в составе МВВ в режиме реального времени и с минимизацией вычислительных ресурсов. Соответственно, результатом такого ожидаемого синтеза будут две функциональные схемы. Они могут быть представлены также в виде графа вычислительной структуры (ГВС).

Среди известных формальных методов синтеза средств вычислительной техники наибольшее распространение получили методы синтеза цифровых автоматов и логико-комбинаторного синтеза структур. Однако для синтеза ВС, ориентированных на реализацию аналитических выражений или алгоритмов не булевого характера, описанные методы являются принципиально непригодными. Исходя из этого их невозможно применить для синтеза ФС операционной части МВВ.

Для управления структурами реального времени, к которым относятся структуры, обеспечивающие МВВ, необходима высокая точность формирования временных интервалов. Основным недостатком управляющих устройств, синтезированных методом цифровых автоматов, является формирование управляющих сигналов в соответствии с логическими выражениями без учета временной зависимости между этими сигналами. Применение микропрограммного принципа построения устройств управления нецелесообразно по причине необходимости больших объемов быстродействующей памяти и вследствие низкой точности формирования временных интервалов.



Решение проблемы синтеза ВСПВ становится возможным с появлением теории синтеза ВСПВ. В рамках данной теории возможно решение как задачи синтеза функциональной схемы операционной части МВВ, так и задачи синтеза функциональной схемы управления МВВ. Однако для этого необходимо представить решение для синтеза неограниченного количества синтезируемых решений в реальном вычислительном процессе, минимизации объема вычислений, контроля корректности вычислений и вычислений в условиях вариативной многокритериальной оптимизации синтезируемых решений. Кроме того, вследствие эвристического, а следовательно, ненадежного вывода математической модели синтеза функциональной схемы управления МВВ необходимо дополнительное исследование процесса соответствующего синтеза в рамках указанной теории.

**Во второй главе** диссертационной работы на основании теории синтеза ВСПВ проведен анализ процесса синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений; определены режим и метод такого синтеза в условиях ресурсных ограничений и разработан метод оценки и выбора из множества работоспособных синтезированных структур оптимальной по заданным критериям в условиях вариативного многокритериального выбора.

При синтезе функциональной схемы операционной части МВВ теория синтеза ВСПВ подразумевает выполнение последовательности процедур, и может быть представлена в виде операций, реализованных в режиме последовательных и циклических вычислений (рисунок 1). И в том, и в другом случае формируются четыре кэша решений, два из которых используются в операции 19. При последовательном режиме реализации алгоритма два из кэшей ( $n_2$  и  $n_3$ ), стремятся к неограниченному росту, так как количество решений в них ограничивается только задачей синтеза, а это область конкурентных отношений.

При этом процесс синтеза может выйти за пределы ограничений выделения памяти для данного вычислительного процесса и его неплановой остановкой. Кроме того, такое экстенсивное использование ресурса памяти приведет к резкому замедлению процесса синтеза вследствие использования все более медленной памяти. Также экстенсивное использование памяти уменьшает возможности распараллеливания вычислительного процесса синтеза.

Синтез функциональной схемы операционной части МВВ в режиме циклических вычислений предусматривает минимизацию объема используемой памяти.

Диаграмма синтеза функциональной схемы операционной части МВВ в режиме последовательных и циклических вычислений представлена на рисунке 1.

Шаг алгоритма	Кэши решений I	Кэши решений II	Процесс синтеза ВС
1. Формирование графа вычислительного алгоритма (ГВА)	$n_1 = 1$	$n_1 = 1$	
2. Определение полных путей ГВА	$n_1 = 1$	$n_1 = 1$	
3. Назначение уровней временной иерархии вершинам ГВА	$n_1 = 1$	$n_1 = 1$	
4. Назначение функциональных устройств вершинам ГВА	$n_1 = 0;$ $n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1;$ $n_2 = 1$	
5. Формирование для каждого вектора назначения соответствующего вектора реализации	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1$	
6. Формирование на основании векторов реализации графов алгоритма с буферной памятью	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1;$ $n_2 = 1$	
7. Формирование усеченных путей уровней временной иерархии	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1$	
8. Определение конвейеризируемых путей и ступеней конвейера	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1$	
9. Определение множества свертываемых вершин	$n_2 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1;$ $n_2 = 1$	
10. Построение вычислительного графа алгоритма (ВГА)	$n_2 = 0;$ $n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
11. Предварительная проверка работоспособности вычислительной структуры реального времени	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
12. Формирования вектора временной развертки	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
13. Формирование вектора требований к памяти для хранения промежуточных результатов	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
14. Дополнительная проверка работоспособности	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
15. Построение ВГА с регистровыми файлами	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
16. Разработка ГВС	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
17. Построение функционала временной развертки	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
18. Определение такта вычислительной структуры	$n_3 \rightarrow \infty$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1$	
19. Выбор из множества работоспособных синтезированных структур структуры, наилучшим образом удовлетворяющей заданным критериям оптимальности в соответствии с условием	$n_4 = 1$	$n_1 = 1; n_2 = 1;$ $n_3 = 1; n_4 = 1$	

**Рисунок 1 – Диаграмма синтеза функциональной схемы операционной части МВВ в режиме последовательных и циклических вычислений**

Однажды созданные четыре кэша решений существуют с тем же количеством решений в течение всех остальных вычислительных циклов исследуемого процесса. Таким образом, независимо от объема вычислительной задачи количество решений, обрабатываемых одновременно в одном вычислительном процессе (операции 1–18 на рисунке 1) не превышает единицы, в

операции 19 равно двум, а количество одновременно хранимых решений разного типа не превышает четырех.

Для анализируемого процесса синтеза в режиме последовательных вычислений характерно следующее соотношение длительности процесса синтеза  $\Delta t_c$  и наименьшей возможной длительности синтеза  $\Delta t_{c(\min)}$ :  $\Delta t_c = \Delta t_{c(\min)}$ . В режиме циклических вычислений это соотношение принимает другой вид:  $\Delta t_{c(\min)} \ll \Delta t_c$ . При этом  $\Delta t_{c(\min)}$  равна длительности первого прохождения операций синтеза. Тогда первое прохождение данных операций может быть использовано для планирования точного объема и конфигурации памяти и для последующего распараллеливания и конвейеризации исследуемого вычислительного процесса. Таким образом, проблема планирования ресурса памяти может быть решена в ходе предварительного, а затем уточненного планирования ресурса памяти, объем которой не зависит от количества решений синтезированных в исследуемом вычислительном процессе. Кроме того, данное соотношение означает, что существует промежуток времени  $\Delta t_{cp}$ , в течение которого могут быть автоматическим путем получены частично оптимизированные решения ГВС, при этом  $\Delta t_{c(\min)} \leq \Delta t_{cp} < \Delta t_c$ . Возможность синтеза актуальна, когда процесс синтеза выходит за пределы допустимой продолжительности данного вычислительного процесса, а также при возможных сбоях процесса синтеза по различным причинам. Это увеличивает устойчивость и надежность исследуемого вычислительного процесса.

Анализируя операции, представленные на рисунке 1, следует выделить операции 11 и 19, которые уменьшают количество рассматриваемых синтезированных решений. Синтез функциональных схем без потери точности с предельным уменьшением объема вычислений подразумевает максимальное приближение операций 11 и 19 или подобных им операций, уменьшающих количество решений, по рассматриваемой диаграмме синтеза к самому нижнему узлу ветвления, то есть к операции 10. Но операция 11 и так расположена предельно близко к данной операции. Операция 19, наоборот, потенциально перспективна для смещения по диаграмме синтеза к операции 10, например, сразу за операцией 11. В диссертации исследована возможность такого усечения решений.

Операция 14 теоретически не уменьшает количества решений, так как по своему результату она эквивалентна операции 11 и расположена после нее, но тогда она может быть использована для проверки корректности вычислительного процесса до операции 14.

Оптимизированный метод синтеза предполагает формирование на шагах 1–11 алгоритма ГВС операционной части МВВ, удовлетворяющих условиям реализуемости, то есть множество входных и выходных данных должны обрабатываться в пределах заданного отрезка времени. После этого осуществляется переход к операции 11', в которой также как и в операции 19, представленной на рисунке 1, производится выбор из множества вариантов проектируемой структуры вариантов, удовлетворяющих заданным условиям оптимальности. Для каждого из выбранных на данном этапе вариантов выполня-

ются шаги 12–14, 15–18. Наличие в сформированном на шаге 14 векторе требований к памяти (рисунок 1, операция 13) отрицательных элементов свидетельствует об ошибке обработки программы, так как использованные методы формирования векторов назначения и соответствующих векторов реализации, а также расчета координат вектора временной развертки из условия реализуемости пути графа алгоритма в режим реального времени исключает такую возможность. В связи с этим операция 14 в модернизированном алгоритме предназначена для фиксации и исправления программных сбоев. В соответствии с данным подходом предложен оптимизированный алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части МВВ, который представлен в виде блок-схемы на рисунке 2,

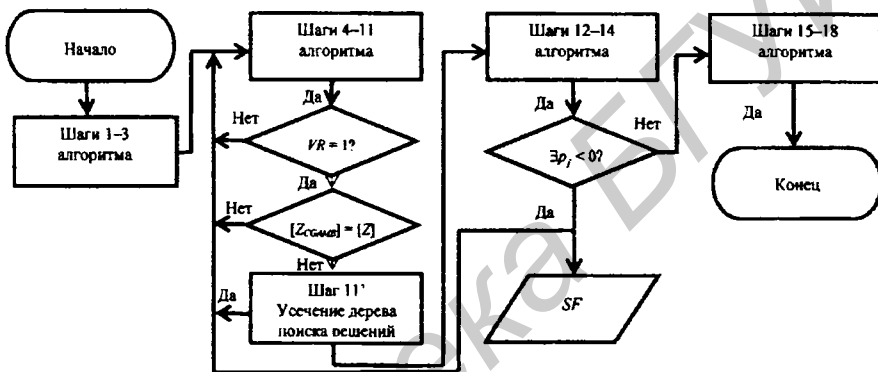


Рисунок 2 – Блок-схема оптимизированного алгоритма синтеза функциональной схемы операционной части МВВ

где  $P_j$  – параметр функционального устройства  $j$ ,  $VR = 1?$  – проверка условия реализуемости ВС в режиме реального времени,  $[Z]$  – мощность множества альтернативных вариантов структуры,  $[Z_{CGAMB}]$  – мощность множества сформированных ВГА с буферной памятью,  $SF$  – программный сбой.

Для гибкого использования в рамках единого программного обеспечения различных критериев оптимизации в многокритериальном выборе в операции 19, представленной на рисунке 1, необходимо обеспечить тот или иной вид каскадного соединения однотипных операций 19 по несовместимым на уровне элементарных функциональных устройств функциональной схемы критериям оптимизации.

С этой целью предлагается предварительное преобразование синтезированной вычислительной структуры в логическую структуру, вид которой определяется типом критерия оптимизации, например в виде импликант для оптимизации по стоимости или энергопотреблению, а затем формализовать сравнительную оценку такого рода структур. В качестве примера для организации

оценки и выбора оптимальных синтезируемых решений была выбрана модель характеристической булевой функции, представляющей собой сумму импликант, которая может быть применена для расчета по критериям минимизации стоимости, энергоемкости, тепловыделения и ряда других. Данная функция при вычислениях характеризуется наибольшей экономией вычислительных ресурсов за счет использования наименее ресурсоемкой операции суммирования и развитых возможностей сокращения количества операций при ее вычислении. Созданный на основе использования характеристической булевой функции метод выбора оптимального варианта структуры включает в себя следующие основные этапы.

1. Установление взаимнооднозначного соответствия между функциональными устройствами (ФУ) синтезируемой структуры и булевыми переменными  $z_i \leftrightarrow b_i$ .

2. Представление множества альтернативных вариантов синтезируемой структуры в виде дизъюнкции всех простых импликант характеристической булевой функции (ХБФ), то есть сокращенной дизъюнктивной нормальной формы.

3. Преобразование сокращенной дизъюнктивной нормальной формы в особенную скобочную нормальную форму с уменьшением количества операций.

4. Переход от особенной скобочной нормальной формы к арифметическому выражению путем осуществления следующих замен:

- $b_i \rightarrow P_i$ ;  $P_i$  – вес ФУ соответствующего  $i$ -й булевой переменной;
- $b_i \wedge b_j \rightarrow P_i + P_j$ ;  $b_i \vee b_j \rightarrow \min(P_i, P_j)$ ;
- определение ФУ соответствующего  $i$ -й булевой переменной с минимальным весом.

В третьей главе проведено исследование процесса синтеза функциональной схемы управления МВВ в рамках теории синтеза ВСПВ с выводом математической модели синтеза функциональной схемы управления МВВ. Определены обобщенный граф вычислительной структуры и обобщенная структура функциональной схемы управления МВВ. Вывод математической модели управления МВВ производится из функционала временной развертки (ФВР), полученного при синтезе функциональной схемы операционной части МВВ. Искомая модель должна представлять собой аналитическое выражение, удобное для представления в виде графа вычислительного алгоритма.

Функционалом временной развертки графа вычислительной структуры, содержащего  $j$  вершин, называется совокупность из  $j$  равенств вида

$$F(t(j, q)) = \{t_j^{(1)}, t_j^{(2)}, \dots, t_j^{(Q_j)}\} + \Delta t(\gamma) \kappa_j, \quad j = \overline{1, J}, \quad \kappa_j = 0, 1, 2, 3, \dots; \quad q = \overline{1, \dots, Q_j}, \quad (1)$$

где  $t_j^{(1)}, \dots, t_j^{(Q_j)}$  – требуемые моменты включения  $j$ -го ФУ на первом цикле функционирования, равные координатам вектора временной развертки вычисли-

тельного графа алгоритма с регистровыми файлами, соответствующие свертываемым вершинам этого графа при формировании вершины  $v_i$  графа вычислительной структуры,

$\Delta t(\gamma_i)$  – шаг дискретизации для уровня временной иерархии вершины  $v_i$ ,

$k_j$  – коэффициент, задающий периодичность процесса.

В результате преобразований ФВР (1) с помощью введенных функций получена искомая математическая модель функциональной схемы управления МВВ:

$$F(t_i) = \chi_B \left( t^* \left( \chi_d \left( t^* \left( \chi_z \left( t_0, t'(1)^{(n)} \right) \right), K_d^{(n)} \right) \right), t'_i, \chi_K \left( \chi_d \left( t^* \left( \chi_z \left( t_0, t'(1)^{(n)} \right) \right), K_d^{(n)} \right) \right) \right) \quad (2)$$

где  $\chi_B(\cdot)$  – функция координаты вектора временной развертки,

$t^*(\chi_d(\cdot))$  – моменты начала импульсов делителя частоты,

$\chi_z(\cdot)$  – функция задержки,

$t'(1)^{(n)}$  – момент первого выполнения операции,

$K_d$  – коэффициент деления частоты,

$\chi_K(\cdot)$  – значение конвейерной функции.

Математическая модель синтеза ФС управления структурами реального времени в ТС ВСРВ представлена в виде трех выражений. Очевидно, что при представлении данной модели в виде (2) сокращается время на ввод формулы. Качественные различия в данных моделях можно оценить по различиям в обобщенном графе вычислительного алгоритма и обобщенной структуре функциональной схемы управления МВВ.

В отличие от представленного в ТС ВСРВ подграфа обобщенного графа вычислительного алгоритма управления МВВ из подграфа был исключен функциональный элемент, соответствующий логическому «или».

Из этого следует, что количество операций уменьшилось на одну, а количество функциональных устройств в каждом канале синтеза функциональных схем управления операционной частью МВВ также уменьшится на один функциональный блок. Данный эффект является существенным и вызван изменением математической модели синтеза ФС управления МВВ.

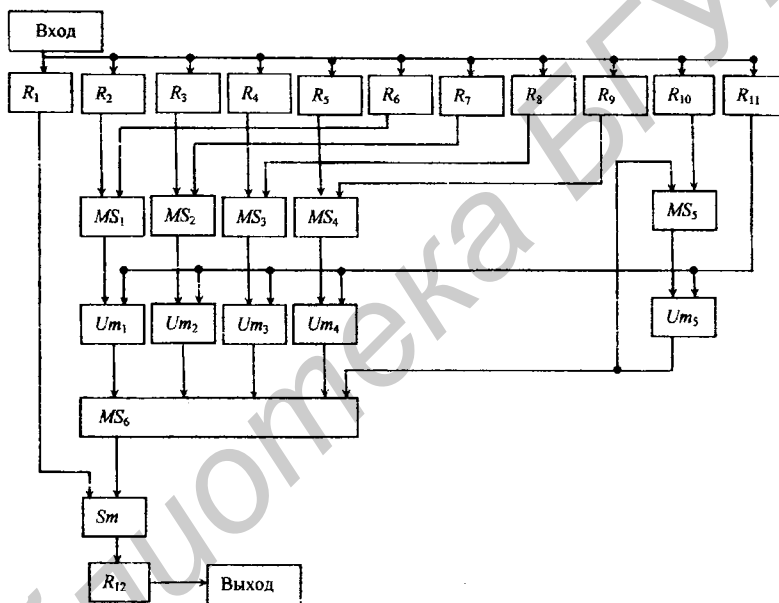
В четвертой главе приведены результаты применения синтеза ФС многоканальных вторичных вычислений при разработке измерительного комплекса и представлена технико-экономическая оценка применения предлагаемого процесса синтеза.

Предложенные в диссертационной работе методы были использованы при разработке программно-аппаратной части регистрирующего устройства РМ-2201. Данное устройство предназначено для аналого-цифрового преобразования входных сигналов термонапар, их цифровой обработки в схеме МВВ,

вывода результатов измерений на встроенный или внешний дисплей и запоминания измеренных данных на внешней карте флэш-памяти.

При разработке регистратора многоканального РМ-2201 автоматически были реализованы следующие задачи: синтезирована ФС операционной части МВВ, обеспечивающей вычисления набора полиномов 8-й и 14-й степени, описывающих зависимость термо-ЭДС от температуры; синтезирована ФС управления МВВ на основе унифицированных модулей с цифровым управлением, обеспечивающих формирование управляющих сигналов для организации вычислений полиномов в операционной части.

Функциональная схема операционной части МВВ регистратора многоканального РМ-2201 представлена на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Функциональная схема операционной части МВВ**

На рисунке 3 представлены следующие элементы: регистры  $R_1-R_{10}$  – для хранения кодов коэффициентов полинома  $d_0-d_9$ ; регистр  $R_{11}$  – сдвигающего типа – для последовательного приема, сдвига и дальнейшего хранения на время, равное циклу вычисления полинома, последовательного кода термо-ЭДС  $E^t$ ;  $R_{12}$  – регистр выходного значения; мультиплексоры  $MS_1 - MS_5$  – для выбора источника информации для умножителей  $Um_1 - Um_5$  на последовательных тактах расчета произведений полиномов; мультиплексор  $MS_6$  – для подключения к сумматору  $Sm$ ;  $Sm$  – сумматор накапливающего типа, предна-

значен для суммирования, накопленной на предыдущих тактах суммы элементов полинома.

Разработана и внедрена схема управления операционной частью вторичных измерений регистратора многоканального РМ-2201 и представлена на рисунке 4.

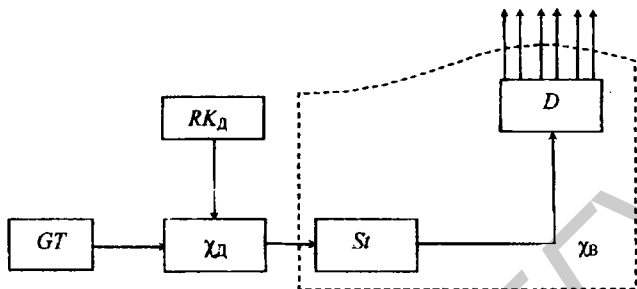


Рисунок 4 – Структура схемы управления операционной частью вторичных измерений в одном канале

Схема содержит генератор тактовых импульсов  $GT$ . Канал содержит регистр кода деления частоты  $RK_d$ , делитель частоты  $\chi_d$ , устройство формирования функции вектора временной развертки  $\chi_v$ . Устройство формирования функции вектора временной развертки включает в себя счетчик  $St$  и дешифратор  $D$ .

При внедрении полученных результатов в диссертационной работе в рамках проектирования регистратора многоканального РМ-2201 были достигнуты конкурентные преимущества, которые позволили увеличить количество измерительных каналов с 8 до 15. По сравнению с базовой моделью РМ-2201 себестоимость проектирования прибора в расчете на один измерительный канал уменьшилась на 30 %. Снижение себестоимости достигнуто за счет сокращения затрат по сравнению с затратами неавтоматизированного проектирования.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработан алгоритм синтеза вычислительных структур реального времени на основе ТС ВСПВ для реализации операционной части многоканальных вторичных вычислений, гарантирующий возможность точного планирования вычислительного ресурса памяти вне зависимости от количества синтезируемых решений, а также гибкость вычислительного процесса относительно выделенного времени для процесса синтеза [2-А, 4-А, 15-А].

2. Разработан алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений, который уменьшает время работы процессора и объем используемой памяти путем сокращения объема вычислений посредством усечения дерева поиска решений, а также предполагает контроль корректности синтеза. При этом время синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений уменьшается не менее чем в 4,8 раза [1-А, 7-А, 10-А].

3. Разработан метод оценки и выбора из множества работоспособных структур оптимальной по заданным критериям, в котором в качестве математической модели выбрана характеристическая булева функция, позволяющая использовать преимущественно ресурсоэкономные операции суммирования, а также осуществлять минимизацию операций, что позволяет сократить время работы процессора и объем используемой памяти, а также предполагает реализацию гибкой и вариативной многокритериальной оптимизации без изменения соответствующего программного обеспечения [3-А, 9-А, 11-А, 14-А].

4. Разработана математическая модель управления многоканальными вторичными вычислениями и разработана обобщенная структура функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями в рамках теории синтеза вычислительных структур реального времени. В сравнении с известной математической моделью полученная модель позволяет сократить количество операций алгоритма на каждый канал вычислений на одну, а в обобщенной структуре функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями это позволяет сократить количество функциональных устройств по одному на каждый из управляемых вычислительных каналов [5-А, 6-А, 12-А, 13-А].

### Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные алгоритмы и методы рекомендуется использовать в организациях, занимающихся задачами проектирования в области приборостроения. Они могут найти широкое применение при создании высокопроизводительных вычислительных систем самого различного назначения, при синтезе структур сложных технических и измерительных комплексов.

В соответствии с достигнутой автоматизацией и оптимизацией на этапах выполнения ОКР «Разработка регистратора многоканального РМ-2201» были использованы разработанные в диссертационной работе методы и алгоритмы и внедрены при проектировании прибора РМ-2201, который выпускается серийно ОАО «МНИПИ».

Кроме того, материалы диссертационной работы использованы и внедрены в учебный процесс кафедры полиграфического оборудования и средств обработки информации УО «Белорусский государственный технологический университет» и учтены при создании ТС ВСПВ.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в научных журналах

1–А. Жияляк, Н.А. Разработка программного обеспечения для системы диагностирования полиграфического оборудования на базе языка UML / Н.А. Жияляк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2007. – Вып. XV. – С. 53–56.

2–А. Жияляк, Н.А. Базовый алгоритм синтеза вычислительных систем реального времени / Н.А. Жияляк, А.С. Кобайло // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2007. – Вып. XV. – С. 147–150.

3–А. Жияляк, Н.А. Логико-комбинаторный подход к выбору оптимальных систем сложных технических систем / Н.А. Жияляк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2008. – Вып. XVI. – С. 125–128.

4–А. Жияляк, Н.А. Базовый алгоритм синтеза вычислительных систем реального времени для теплоэнергетических измерений / Н.А. Жияляк, С.И. Акунович // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2008. – Вып. XVI. – С. 129–132.

5–А. Кобайло, А.С. Математическая модель блока управления измерительными каналами / А.С. Кобайло, Н. А. Жияляк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2009. – Вып. XVII. – С. 103–106.

6–А. Жияляк, Н.А. Математическая модель блока управления параллельно-конвейерными вычислительными системами / Н.А. Жияляк, А.С. Кобайло // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 138–141.

7–А. Кудрявцев, В.И. Модификация алгоритма синтеза вычислительных систем реального времени / В.И. Кудрявцев, А.С. Кобайло, Н.А. Жияляк // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 134–137.

### Статьи в материалах научных конференций

8–А. Жияляк, Н.А. Современные тенденции развития радиоэлектронной техники / Н.А. Жияляк // Организационно-техническое управление в межотраслевых комплексах: материалы докл. II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 нояб. 2007 г. – Минск: БГТУ, 2007. – С. 381–389.

9–А. Жияляк, Н.А. Методы синтеза вычислительных систем / Н.А. Жияляк // Автоматический контроль и автоматизация производственных процес-

сов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 окт. 2009 г. – Минск: БГТУ, 2009. – С. 71–73.

10–А. Жилияк, Н.А. Синтез вычислительных систем реального времени / Н.А. Жилияк // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6–8 июня 2006 г. – Минск: БГТУ, 2006. – С. 208–211.

### **Тезисы докладов в материалах конференций**

11–А. Жилияк, Н.А. Автоматизация конфигурирования вычислительных систем реального времени / Н.А. Жилияк // НИРС – 2005: сб. тез. докл. X Респ. науч. конф. студ. и асп. вузов Респ. Беларусь. – Минск: БГУИР, 2006. – С. 147.

12–А. Жилияк, Н.А. Разработка блоков управления систем реального времени / Н.А. Жилияк // НИРС – 2005: сб. тез. докл. X Респ. науч. конф. студ. и асп. вузов Респ. Беларусь. – Минск: БГУИР, 2006. – С. 146.

13–А. Жилияк, Н.А. Математические основы синтеза блоков управления вычислительных систем реального времени / Н.А. Жилияк // Материалы IX Респ. науч. конф. студ. и асп. – Гомель: ГГУ, 2006. – С. 218–219.

14–А. Дзюба, Н.В. Алгоритм для многоканальных измерительных систем сбора и обработки данных / Н.В. Дзюба, Н.А. Жилияк // Приборостроение – 2008: тез. кон. – Минск: БНТУ, 2008. – С. 219–220.

15–А. Жилияк, Н.А. Создание автоматизированных систем для обучения в вузах / Н.А. Жилияк // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития: тез. докл. респ. науч.-метод. конф. – Минск: БГУИР, 2008. – С 61–62.



Жиляк Надежда Александровна

### Синтез функциональных схем для многоканальных вторичных вычислений в режиме реального времени

**Ключевые слова:** вычислительный граф алгоритма, вектор временной развертки, многоканальные вторичные вычисления, теория синтеза вычислительных структур реального времени.

**Целью работы** является разработка методов и алгоритмов оптимизации синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений измерительных комплексов с использованием теории синтеза вычислительных структур реального времени.

**Полученные результаты и их новизна:** в данной диссертационной работе проведен анализ и исследован процесс синтеза функциональных схем многоканальных вторичных вычислений, с целью дальнейшего выбора оптимального синтезируемого решения, разработки алгоритма синтеза функциональных схем, математической модели, обобщенного графа алгоритма и обобщенной структуры для синтеза функциональной схемы управления многоканальными вычислениями. Разработан алгоритм синтеза функциональной схемы операционной части многоканальных вторичных вычислений в ограничениях времени и памяти, задействованной в вычислительном процессе синтеза, основывающийся на положениях теории синтеза вычислительных структур реального времени. В алгоритме производится усечение дерева поиска решений и осуществляется контроль их корректности. Разработан метод оценки и выбора из множества работоспособных систем оптимальной по заданным критериям. В качестве математической модели выбрана характеристическая булева функция, позволяющая использовать преимущественно ресурсоэкономные операции суммирования, осуществлять минимизацию операций. Был осуществлен уточненный вывод математической модели синтеза функциональной схемы управления, определены обобщенный граф и обобщенная структура функциональной схемы управления многоканальными вторичными вычислениями.

Жыляк Надзея Аляксандраўна

**Сінтэз функцыянальных схем для шматканальных другасных  
вылічэнняў у рэжыме рэальнага часу**

**Ключавыя словы:** вылічальны граф алгарытму, вектар часавай разгорткі, шматканальныя другасныя вылічэнні, тэорыя сінтэзу вылічальных структур рэальнага часу.

**Мэтай працы** з'яўляецца распрацоўка метадаў і алгарытмаў аптымізацыі сінтэзу функцыянальных схем шматканальных другасных вылічэнняў вымяральных комплексаў з выкарыстаннем тэорыі сінтэзу вылічальных структур рэальнага часу.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** у дадзенай дысертацыйнай працы праведзены аналіз і даследаваны працэс сінтэзу функцыянальных схем шматканальных другасных вылічэнняў, з мэтай далейшага выбару аптымальнага сінтэзаванага рашэння, распрацоўкі алгарытму сінтэзу функцыянальных схем, матэматычнай мадэлі, абагульненага графа алгарытму і абагульненай структуры для сінтэзу функцыянальнай схемы кіравання шматканальнымі вылічэннямі. Распрацаваны алгарытм сінтэзу функцыянальнай схемы аперацыйнай часткі шматканальных другасных вылічэнняў у абмежаваных часу і памяці, задзейнічанай у вылічальным працэсе сінтэзу, які засноўваецца на становішчах тэорыі сінтэзу вылічальных структур рэальнага часу. У алгарытме вырабляецца ўсячэнне дрэва пошуку рашэнняў і ажыццяўляецца кантроль іх карэктнасці. Распрацаваны метады адзнакі і выбару са мноства працаздольных сістэм аптымальнай па зададзеных крытэрыях. У якасці матэматычнай мадэлі абрана характарыстычная булева функцыя, якая дазваляе выкарыстоўваць пераважна рэсурсэканомныя аперацыі сумавання, ажыццяўляць мінімізацыю аперацый. Быў ажыццёўлены ўдакладненая выснова матэматычнай мадэлі сінтэзу функцыянальнай схемы кіравання, вызначаны абагульнены граф і абагульненая структура функцыянальнай схемы кіравання шматканальнымі другаснымі вылічэннямі.

## SUMMARY

Zhilyak Nadezhda

### Synthesis of functional circuits for multi-channel secondary calculations in real time

**Keywords:** computational graph of the algorithm, the vector of time scanning multi-channel secondary computing, computational theory of synthesis of the structures of real time.

**The aim is to develop methods** and algorithms to optimize the synthesis of multi-functional circuits of the secondary computing measurement systems using the theory of synthesis of computational structures, real-time.

**The results obtained and their novelty:** this thesis analyzed and investigated the synthesis of multi-functional circuits of the secondary computation, in order to further select the optimal synthesizable solutions, development of algorithm synthesis of functional circuits, the mathematical model, the generalized graph algorithm and a generalized structure for the synthesis of functional multi-channel control circuit calculations. Developed an algorithm for synthesizing functional circuits of the operating part of multi-channel secondary computing limitations of time and memory, involved in computational process of synthesis, based on the provisions of the synthesis theory of computational structures, real-time. The algorithm is truncation of the tree to find solutions and supervise their correctness. A method for evaluating and selecting from a set of workable systems, the optimal criteria. The mathematical model chosen characteristic Boolean function, allowing the use of predominantly resursoekonomnye summation operation, to minimize operations.

Was carried proximate the output of the mathematical model synthesis of functional control schemes, we define a generalized graph structure and synthesis of functional multi-channel secondary control circuit calculations.

Научное издание

ЖИЛЯК НАДЕЖДА АЛЕКСАНДРОВНА

**СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ  
МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВТОРИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ  
В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

специальность 05.13.15 – Вычислительные машины, комплексы  
и компьютерные сети

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

---

Подписано в печать 05.05.2011.	Формат 60x84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 266.

---