

На правах рукописи

Захарова Ольга Владимировна

**ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орёл – 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент
Раков Владимир Иванович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Косчинский Станислав Леонидович
профессор кафедры «Электроника, вычислительная техника и информационная безопасность» (ЭВТИБ)
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

кандидат технических наук, доцент
Бондарь Олег Григорьевич
доцент кафедры конструирования и технологии электронно-вычислительных средств ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет»

Ведущая организация:

Орловский филиал федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем информатики Российской академии наук (ОФ ИПИ РАН).

Защита диссертации состоится 13 июня 2013 г. в 13-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.182.01 при ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК» по адресу 302020, г.Орёл, Наугорское шоссе 29, ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»

Автореферат разослан 13 мая 2013 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета

В.Н. Волков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Несмотря на значительные достижения в построении микропроцессорных средств автоматизации (программируемые логические контроллеры (ПЛК) от Modicon, Allen Bradley, HoneyWell, Fanuc, Mitsubishi Electric, Siemens, Octagon Systems, «Завод электроники и механики», ОАО «Электропривод», ВНИИЭМ; цифровые контурные регуляторы (ЦКР) от Taylor Instrument, НПО «Светлана», Doric Scientific, Honeywell, Robertshaw; интеллектуальные датчики от HoneyWell, Siemens, Moeller, Finder, Block, Pfannenberг, Phoenix, ВНИИ автоматизации им. Н.Л. Духова, интеллектуальные исполнительные механизмы от Schneider Electric, «АБС ЗЭиМ Автоматизация», SEW-EURODRIVE), до настоящего времени остаются открытыми вопросы построения быстродействующих цифровых контурных регуляторов, используемых в нижних уровнях систем автоматизации и управления технологическими процессами. В частности, это касается цифровых систем управления технологическими процессами разрушения горных пород буровыми станками взрывных скважин.

Одним из основных видов оборудования в комплексах открытых горных работ при добыче полезных ископаемых являются буровые станки серии СБШ-250МН (*Рудгормаш, тиристорный привод постоянного тока*) и СБШС-250Н (*НКМЗ, транзисторный привод переменного тока*). В технологических процессах разрушения горных пород буровыми станками взрывных скважин в приводе вращения става используются двигатели и постоянного тока, и асинхронные двигатели. В системе привода: «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» предельная частота управляющих импульсов составляет величину $1/300$ сек, что определяется трехфазной системой электроснабжения. Эта величина непосредственно определяет интервал времени, в течение которого цифровые вычислительные средства могут формировать управляющие воздействия. Качество выходного напряжения преобразователя напрямую зависит от частоты работы. Поскольку дальнейшее повышение частоты управляющих импульсов в тиристорном преобразователе ограничено, то для дальнейшего повышения быстродействия потребовался переход на транзисторные преобразователи на базе IGBT-транзисторов. Такое повышение быстродействия стало возможным при использовании широтно-импульсных модуляторов, для которых выполняется закономерность: чем выше частота, тем ближе реализуется на входе исполнительного асинхронного двигателя требуемый синусоидальный сигнал напряжения.

В современных широтно-импульсных преобразователях достигнута частота 40 тыс. герц, что определяет системе управления интервал времени в величину $1/40000$ сек для вычисления всех параметров управления как преобразователя, так и контурных регуляторов. Это более, чем на два порядка меньше, чем интервал времени $1/300$ сек для формирования управляющих параметров в тиристорном приводе. Таким образом, для поддержания требуемой высокой частоты работы преобразователя потребовался переход на современную IGBT-транзисторную силовую базу, что привело к необходимости решения проблемы повышения быстродействия цифровой системы управления, в связи с чем вопросы существенного

повышения производительности цифровых контурных регуляторов становятся актуальными.

Однако, потребность повышения производительности вычислительных средств управления не исчерпывается (не ограничивается) повышением частоты коммутации силовых ключей преобразователя. При современной тенденции увеличения массы исполнительных механизмов снижаются их собственные частоты колебания, что приводит к появлению резонансных всплесков в полосах пропускания контуров управления. Такие явления отмечены в буровых станках СБШС-250Н (акад. Г.Г. Пивняк, 2004; проф. А.С. Бешта, 2004). Разрешение возникшей проблемной ситуации возможно организацией регулирования во внутреннем контуре тока и внешних по отношению к нему технологических контурах частоты вращения и давления путём учета возникающих и изменяющихся собственных частот колебания буровой штанги в зависимости от её длины. Чтобы следить за изменением собственных частот, их надо вычислять на каждом интервале времени $1/40000$ сек, то есть в такте частоты используемых широтно-импульсных преобразователей. Учитывая, что расчёт собственных частот колебаний бурового става связан с решением уравнений в частных производных, описывающих продольные, крутильные и поперечные колебания и имеющих громоздкие вычислительные алгоритмы (метода сеток), быстродействие контурного регулятора должно быть как минимум на порядок выше, поскольку за интервал времени надо успеть не только решить уравнения в частных производных с соответствующими граничными условиями, но и после вычисления собственных частот колебаний буровой штанги в каждом интервале времени надо изменить и выставить новые уставки регуляторов тока, скорости вращения и давления и затем определять соответствующие управляющие воздействия (проф. В.С. Хилов, 2011). Причём делать это для обоих электроприводов подачи (давления) и вращения бурового станка теперь уже во временном интервале соответственно на порядок меньше, то есть примерно в $1/400000$ сек. Таким образом, время, за которое цифровая система управления может обчислить регуляторы, уменьшилось с $1/300$ сек для формирования всех параметров при тиристорном управлении до $1/400000$ сек при транзисторном управлении. Поскольку разработчики будут уменьшать время дискретизации широтно-импульсных преобразователей для улучшения динамических характеристик электропривода, то время формирования управляющих воздействий для цифровых систем управления будет резко снижаться и актуальным становится не просто существенное повышение производительности контурных регуляторов, а актуальным становится вопрос создания предельно быстродействующих (сверхбыстродействующих) цифровых контурных регуляторов или, в общем, промышленных контроллеров (ПК).

В свою очередь, актуальность создания *предельно быстродействующих ЦКР* есть ни что иное, как актуальность создания нового: а) арифметико-логического устройства *одновременного формирования всех разрядов результата вычислительной операции* и б) программного инструментария для моделирования вычислительных средств цифровых контурных регуляторов, *обеспечивающих методически максимальное быстродействие при реализации вычислительных операций*.

Объект исследования: структуры программно-технических средств управления в системах автоматизации (шахтных) карьерных буровых станков.

Предмет исследования: алгоритмы, модели и методы формирования и моделирования управляющих воздействий в цифровых контурных регуляторах (промышленных контроллерах) в указанных системах.

Цель диссертационной работы: повышение быстродействия отработки управляющих воздействий в цифровых контурных регуляторах (промышленных контроллерах).

Научная проблема: создание математических моделей вычислительных операций и формирования логических функций, обеспечивающих методически максимальное быстродействие их отработки в структуре вычислительных средств цифровых контурных регуляторов.

Для достижения поставленной цели сформулированы **следующие задачи исследования:**

1. Выбор показателей оценки качества функционирования.
2. Разработка математических моделей вычислительных операций.
3. Разработка формальных средств моделирования.
4. Апробация программного инструментария вычислительных средств цифровых контурных регуляторов для буровых станков.

Методы исследования: теория цифровых автоматов, математический анализ, методы автоматизации производственных процессов, теория подобия и моделирования, вычислительная математика, теория автоматического управления.

Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается обоснованностью сделанных допущений и корректностью использованных апробированных теорий, подходов, методов, алгоритмов и согласованностью программных экспериментов и реальных результатов.

Научная новизна:

1. Разработанная математическая модель вычислительных операций в АЛУ, основанная на представлении разрядов операндов в АЛУ в виде логических переменных и разрядов результата в виде логических функций от этих логических переменных, отличающаяся независимым формированием значений всех разрядов результатов операций.

2. Разработанная логическая структура АЛУ на основе предложенной математической модели вычислительных операций, отличающаяся регулированием последовательности и одновременности исполнения вычислительных операций.

3. Разработанная структура цифрового контурного регулятора, основанная на структуре гибридного сигнального процессора, включающая функции по отработке вычислительных операций и функции по организации исполнения программ, отличающаяся формированием всех логических функций арности не выше, чем количество входных логических переменных.

4. Разработанная методика моделирования цифрового контурного регулятора на основе предложенной математической модели вычислительных операций и типовой методики моделирования структуры процессора.

Теоретическая значимость работы заключена в расширении методов синтеза арифметико-логических устройств ЭВМ посредством предложенного фор-

мального аппарата построения предложенной математической модели вычислительных операций и предложенной логической структуры АЛУ на основе этой математической модели.

Практическая значимость работы заключается в 9-и разработанных программных системах, зарегистрированных в Роспатенте.

На защиту выносятся положения, составляющие научную новизну диссертационного исследования.

Апробация работы. Материалы диссертации представлялись на 9-и международных конференциях: на III Международной научно-технической конференции «ИТНОП 2008», ОрелГТУ, г. Орел, 24–25 апреля 2008 г.; на IV Международной научно-технической конференции «ИТНОП 2010», ОрелГТУ, г. Орел, 22–23 апреля 2010 г.; на VII Международной научно-практической конференции «Прогрессивные технологии развития», г. Тамбов, 30 ноября 2010 г.; на Международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизации и управления в технических системах», г. Пенза, 19–22 апреля 2011 г.; на Международной научно-технической интернет-конференции «Информационные системы и технологии 2011», Госуниверситет – УНПК, г. Орел, апрель–май 2011 г.; на V Международной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве», г. Протвино, 4–8 июля 2011 г.; на XXI Международной конференции «Новые технологии в машиностроении», Харьков-Рыбачье, сентябрь 2011 г.; на V Международной научно-технической конференции «ИТНОП 2012», Госуниверситет – УНПК, г. Орел, 17–18 мая 2012 г.; на Международной молодежной конференции «Прикладная математика, управление и информатика», Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород, 3–5 октября, 2012 г.

Результаты работы внедрены в трех научно-производственных организациях и одном ВУЗе:

1. Научно-производственное предприятие «Центр электромеханической диагностики», г. Днепропетровск, 2011 г.
2. ООО «Логистика и информация для производства» (ЛИПРО Р), г. Москва, 2011 г.
3. ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г. Орел, 2012 г.
4. ЗАО «Электротекс», г. Орел, 2012 г.

Диссертационная работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1367 «Моделирование сверхбыстродействующих вычислительных средств управления».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 29 работ, в том числе, 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК, включая 5 самостоятельных работ, 10 публикаций в трудах Международных конференций, 9 Свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в Реестре программ для ЭВМ Роспатента.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, 10 приложений и имеет 150 страниц основного текста, 94 страницы приложений, 189 наименований списка литературы (в том числе 38 ссылок на электронные интернет-ресурсы), 60 рисунков и 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обоснована актуальность работы, сформулированы научная проблема, цель, задачи, научная новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Выбор показателей оценки качества функционирования» проведен анализ состояния вопроса:

1. Предложен показатель эффективности с дополнительной функциональной нагрузкой: способностью формирования общего числа логических функций и отработки вычислительных операций в моделях управления с методически максимальным быстродействием.

2. Проведена оценка и установлены возможности типовых инструментальных средств моделирования систем автоматизации OrCAD (Cadence Design Systems), CADSTAR (Zuken), WebPack ISE (Xilinx), Active-HDL (Aldec), Workview Office (Viewlogic Systems), P-CAD и Altium Designer (Altium), MAX+PLUS II (Altera), Quartus II (Altera) и MicroCap (Spectrum Software).

3. Проведена постановка задачи диссертационного исследования, включающая: а) проведение ретроспективного анализа прогресса в повышении производительности вычислительных средств управления по технической (технологической) и методической составляющим; б) исследование формы представления программного инструментария и выделение основных компонент реализации программного инструментария.

Во второй главе «Формальные модели вычислительных операций»:

1. Сделано обоснованное заключение о том, что наибольшее быстродействие АЛУ возможно достигнуть, не ограничиваясь проблемами сложности устройств, отказавшись от поразрядных вычислений, отказавшись от реализации принципа полусумматора, то есть отказавшись фактически от алгоритмической идеи вычислений в АЛУ.

2. Исходя из идеи представления вычислительной операции в машинной арифметике в виде таблиц соответствия исходных операндов (A, B) и результата (C), предложено представление разрядов операндов (a_i, b_i) вычислительных операций в виде совокупности логических переменных, а разрядов результата (C_i) в виде логических функций от *всех* логических переменных с последующим представлением этих функций в виде логических форм и реализацией в виде комбинационных схем, обеспечивая тем самым методически одновременное формирование разрядов результата операции за один такт задающего генератора (Рисунок 1).

3. Для реализации предложенного представления разрядов операндов и результата для проведения вычислительных операций предложено использовать дизъюнктивные и конъюнктивные совершенные нормальные формы (ДСНФ и КСНФ), предварительно их модифицировав в виде представления с разложением по *всей совокупности* характеристических функций единицы ($\varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m)$) или нуля ($\psi_j(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m)$, $j = 0, 1, \dots, 2^m - 1$, $m = 2n$, n – количество разрядов операнда, $x_1 = a_{k-1}, x_2 = a_{k-2}, \dots, x_{m-1} = b_1, x_m = b_0$):

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_m) = f_i(0, 0, \dots, 0, 0) \cdot \varphi_0(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m) \vee$$

$$f_i(0, 0, \dots, 0, 1) \cdot \varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m) \vee \dots \vee f_i(1, 1, \dots, 1, 0) \cdot \varphi_{2^{m-2}}(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m) \vee$$

$$\vee f_i(1, 1, \dots, 1, 1) \cdot \varphi_{2^{m-1}}(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m), \quad (1)$$

$$f_i(x_1, x_2, \dots, x_m) = [f_i(0, 0, \dots, 0, 0) \vee \psi_0(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m)] \& [f_i(0, 0, \dots, 0, 1) \vee$$

$$\vee \psi_1(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m)] \& \dots \& [f_i(1, 1, \dots, 1, 0) \vee \psi_{2^{m-2}}(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m)] \&$$

$$\& [f_i(1, 1, \dots, 1, 1) \vee \psi_{2^{m-1}}(x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m)]. \quad (2)$$

Строка	k-разрядное число a				k-разрядное число b				n-разрядный результат Операции c = adb					
	a _{k-1} (2 ^{k-1})	...	a ₁ (2 ¹)	a ₀ (2 ⁰)	b _{k-1} (2 ^{k-1})	...	b ₁ (2 ¹)	b ₀ (2 ⁰)	c _{n-1} (2 ⁿ⁻¹)	c _{n-2} (2 ⁿ⁻²)	...	c ₁ (2 ¹)	c ₀ (2 ⁰)	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
...	
2 ^k	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
...	
2 ^{2k}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	

$$C_i = f(A_i, B_i, C_{i-1}) = f(a_i, b_i, p_{i-1})$$

$$i = 0, 1, \dots, n-1; \quad \text{Традиционно: } \tau_\Sigma \sim n \cdot \tau_p$$

$$p_{-1} = 0; \quad n = k. \quad \text{Новый метод: } \tau_\Sigma \sim \tau_p$$

$$C_i = f_i(A, B) = f_i(a_0, a_1, \dots, a_{n-1}, b_0, b_1, \dots, b_{n-1})$$

$$i = 0, 1, \dots, n-1.$$

p_i – перенос, τ_p, τ_Σ – соответственно время формирования значения разряда и операции в целом, f, p_i – логические функции трёх переменных, f_i – логическая функция от $2k$ переменных

Рисунок 1 – Отличия традиционного и предлагаемого методов

Представление логической функции по всей совокупности её характеристических функций предложено именовать унифицированными дизъюнктивными (1) и конъюнктивными (2) совершенными нормальными формами (УДСНФ, УКСНФ или обобщенно – УСНФ), которые отличаются от традиционных ДСНФ и КСНФ формированием *всего множества логических функций* (2^{2^m}) на заданной разрядности n входных операндов. Каждый разряд результата (C_i) представляется своей УСНФ _{i} , реализация которой в традиционном базисе «&, ∨, (не)» определит соответствующую комбинационную схему (KC_i) для формирования значения i -о разряда результата (Рисунок 1).

4. На основе УСНФ разработана математическая модель построения результатов всех проектируемых вычислительных операций $\{e_1, e_2, e_3, e_4, \dots, e_{m-1}, e_m\}$ (Таблица 1). АЛУ, реализующее предложенную математическую модель, названо АЛУ непосредственного формирования результата (АЛУ НФ).

Новый метод организации выполнения вычислительных операций: *одновременное* формирование разрядов результата

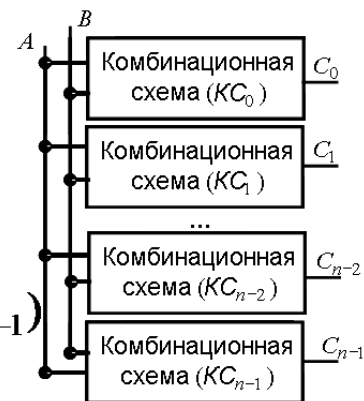


Таблица 1 – Математическая модель вычислительных операций

Логические формы для формирования результатов вычислительных операции	УСНФ (УДСНФ или УКСНФ)	Комбинационные схемы логической реализации	Операция
$c_0(e_1) = f_0(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_1),$ $c_1(e_1) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_1), \dots,$ $c_{n-1}(e_1) = f_{n-1}(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_1)$	$УСНФ_0^{e_1}$ $УСНФ_1^{e_1}, \dots,$ $УСНФ_{n-1}^{e_1}$	$КС_0^{e_1},$ $КС_1^{e_1}, \dots,$ $КС_{n-1}^{e_1}$	$\{e_1\}$
$c_0(e_2) = f_0(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_2),$ $c_1(e_2) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_2), \dots,$ $c_{n-1}(e_2) = f_{n-1}(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_2)$	$УСНФ_0^{e_2}$ $УСНФ_1^{e_2}, \dots,$ $УСНФ_{n-1}^{e_2}$	$КС_0^{e_2},$ $КС_1^{e_2}, \dots,$ $КС_{n-1}^{e_2}$	$\{e_2\}$
...			...
$c_0(e_m) = f_0(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_m),$ $c_1(e_m) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_m), \dots,$ $c_{n-1}(e_m) = f_{n-1}(x_1, x_2, \dots, x_{2k-1}, x_{2k}; e_m)$	$УСНФ_0^{e_m}$ $УСНФ_1^{e_m}, \dots,$ $УСНФ_{n-1}^{e_m}$	$КС_0^{e_m},$ $КС_1^{e_m}, \dots,$ $КС_{n-1}^{e_m}$	$\{e_m\}$

5. Для реализации в цифровых контурных регуляторах технологических защит и организации блокировок предложено расширить функционал ЦКР логическими функциями, зависящими как от всей совокупности логических переменных, используемых в ЦКР, так и от любой их комбинации.

Для этого разработана единая (унифицированная) математическая модель формирования логических функций с переменной структурой, для чего построена общая логическая форма (УЛФ):

$$\Psi = \bigvee_{j=1}^k \{ [F_{m_j} \cdot D_{m_j}] \cdot \big\&(x_i \oplus I_{i,m_j} \vee d_{i,m_j}) \}, \quad (3)$$

в которой структурообразующими параметрами являются вектор $\{I_{i,m_j}\}$, определяющий инверсность переменных, вектор $\{d_{i,m_j}\}$, задающий наличие переменной в форме и вектор D_{m_j} , определяющий наличие j -й конъюнкции в форме (3) (где \oplus – операция сложения по модулю 2):

$$[F_{m_j} \cdot D_{m_j}] \cdot \big\&_{i=1}^N (x_i \oplus I_{i,m_j} \vee d_{i,m_j}). \quad (4)$$

Для реализации (3) с методически максимальным быстродействием («жесткой логики»), предложены логические VVR - и EVR - элементы, адекватные логическим компонентам структур (3) и (4).

В третьей главе «Формальные средства моделирования» осуществлен поиск адекватных структур для реализации вычислительных операций и представления АЛУ НФ. Для этого проведён анализ классических представлений о логической реализации вычислительных операций по проф. *М.А. Карцеву (1969)*, *Д.А. Поспелову (1970)*, *А.М. Шауману (1979)*, *С.С. Ершову (1999)*, *С.Б-М. Базаровой (2002)*, *В.И. Зуеву (2006)*. Отмечены причины, порождающие задержки в про-

цессе вычислений (проф. А.М. Шауман, 1979) и фатальные ограничители производительности (проф. В.И. Раков, 2012). Оценены алгоритмические, программные и архитектурные методы повышения производительности вычислительных систем (д-р А. Ахо, 1974; В.А. Тихомиров, 2004; В.В. Смолий, 2011; С.А. Лунёв, 2002; И.А. Колмыков, 2009; Ю.А. Цветкова, 2011).

Сделано обобщающее заключение о том, что максимальная производительность процессора с АЛУ НФ может быть достигнута лишь в случае отказа от организации и совершенствования структур конвейера и таблиц предсказания, то есть отказа от упорядоченного и последовательного размещения команд в программе и соответствующего их исполнения в порядке размещения, что означает отказ от контекстно-свободного представления программы и переход к контекстно-связанному представлению команд по аналогии с организацией синпьютера Н.В. Стрельцова (Уральская архитектурная лаборатория, 2003).

Разработаны логическая структура АЛУ НФ, отличающаяся регулированием последовательности и одновременности исполнения вычислительных операций (Рисунок 2) и обеспечивающая наибольшее быстродействие в обработке операций и программ (Рисунок 3), а также вариант структуры цифрового контурного регулятора, реализующего функции предложенных АЛУ НФ и УЛФ (3) (Рисунок 4), отличающейся формированием всех логических функций арности не выше, чем количество входных логических переменных.

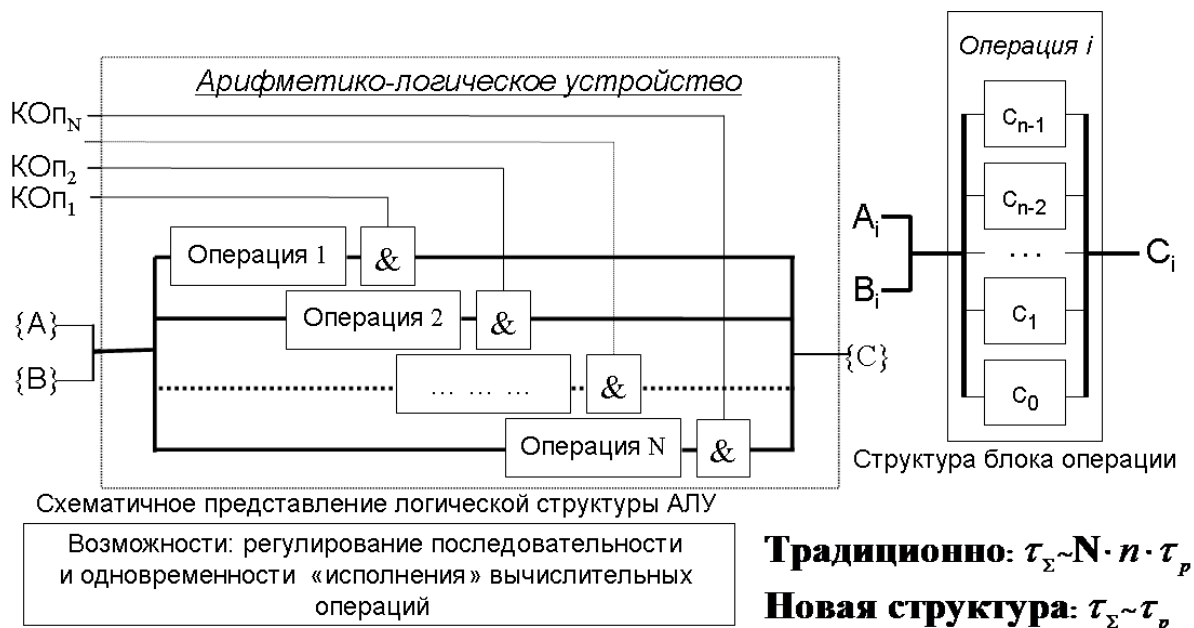
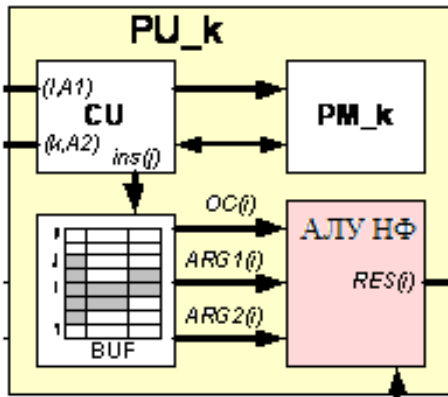


Рисунок 2 – Новая структура АЛУ

На основе предложенных структур разработана методика моделирования цифрового контурного регулятора в части организации структур АЛУ на основе предложенной математической модели вычислительных операций и типовой методики моделирования структуры процессора, в которой исключены этапы моделирования конвейеров и схем предсказания ветвлений и реализовано варьирование времени исполнения вычислительных операций.



CU – устройство управления k -м ядром процессора;
 PM_k – память программ в k -м ядре;
 BUF – регистры в k -м ядре процессора;
 $ARG1(i), ARG2(i)$ – операнды для i -й команды;
 $OC(i)$ – код операции для i -й команды;
 $RES(i)$ – результат операции i -й команды

Рисунок 3 – Место АЛУ НФ в процессорных ядрах (условно в структурной аналогии ядра мультиклета МСр0411100101)

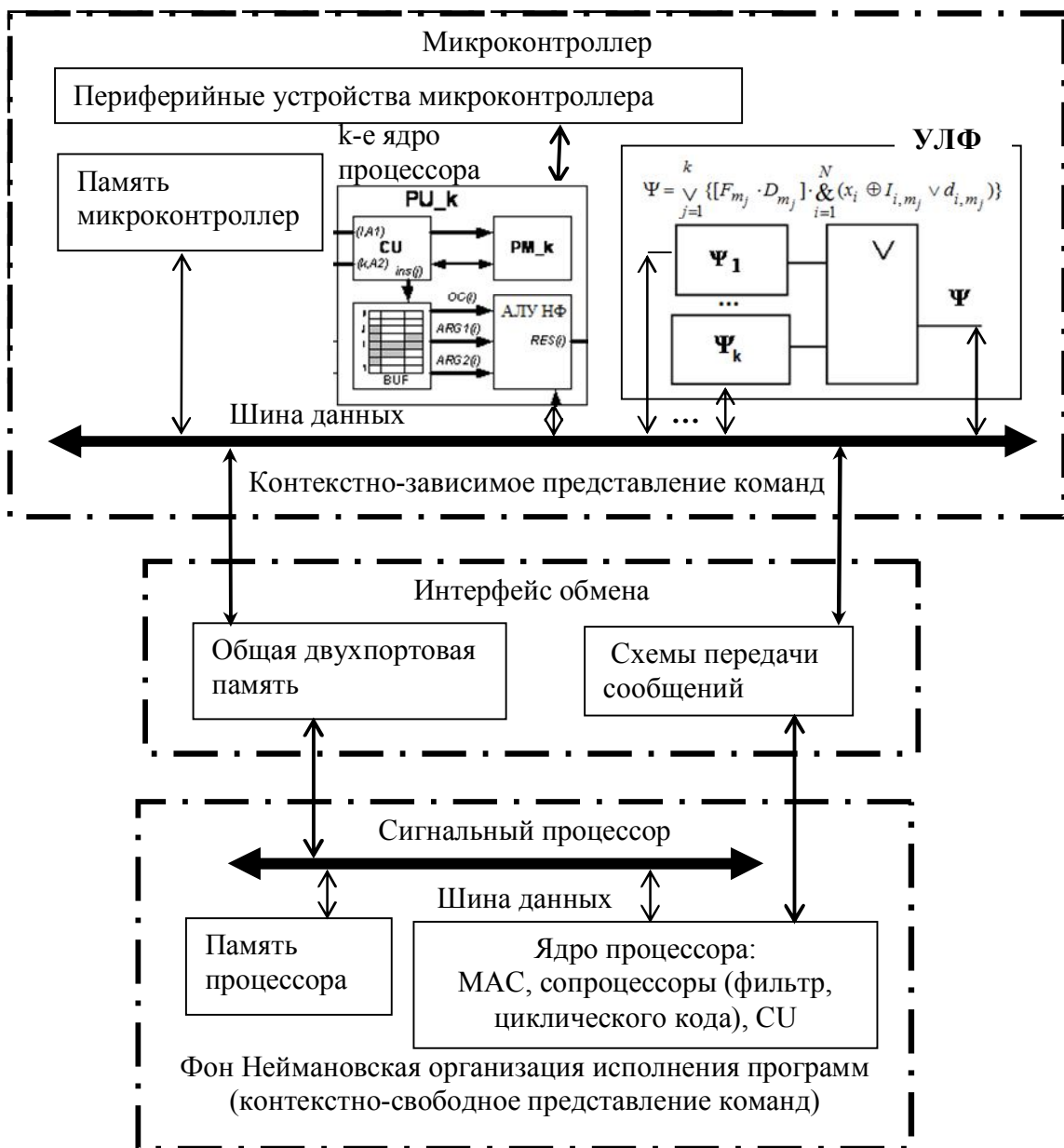


Рисунок 4 – Логическая структура цифрового контурного регулятора на основе АЛУ НФ, УЛФ и контекстно-зависимого представления команд

В главе разработан программный инструментарий (Рисунок 5) для моделирования процессов построения *структуры* АЛУ НФ, наиболее соответствующий обрабатываемым задачам и *процессам вычисления* нелинейной формы законов управления (регулирования) с тем, чтобы оценить накапливаемые погрешности вычислений и время обчёта функций.

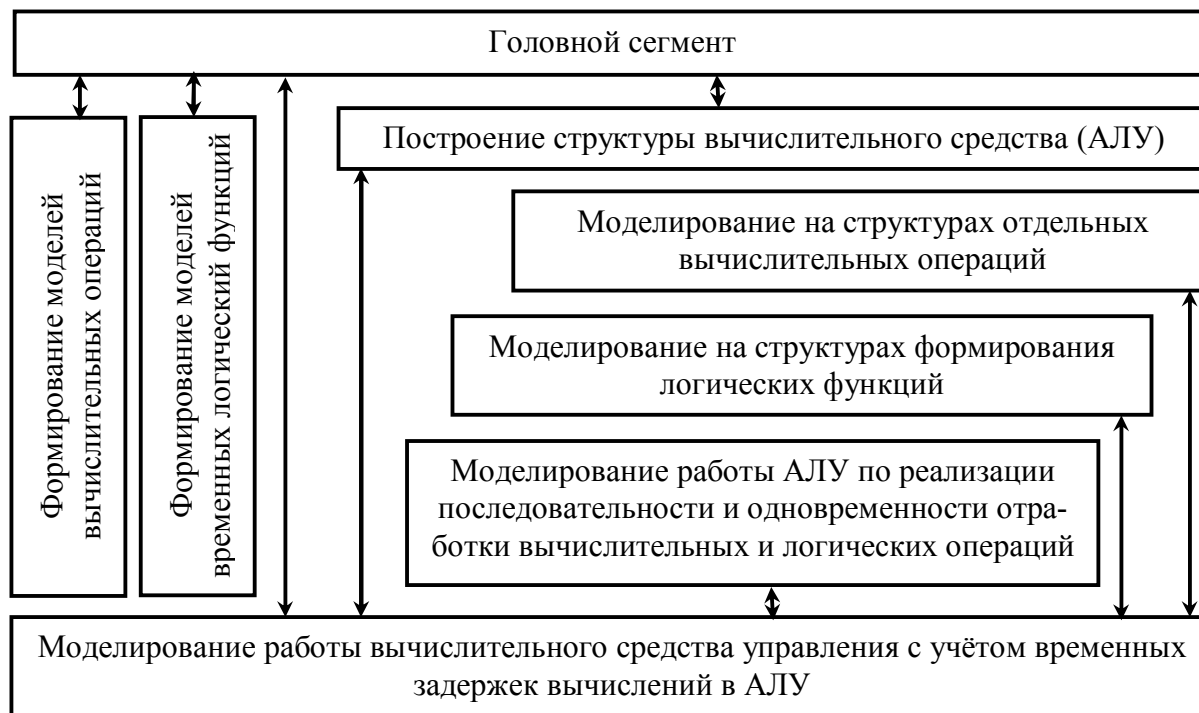


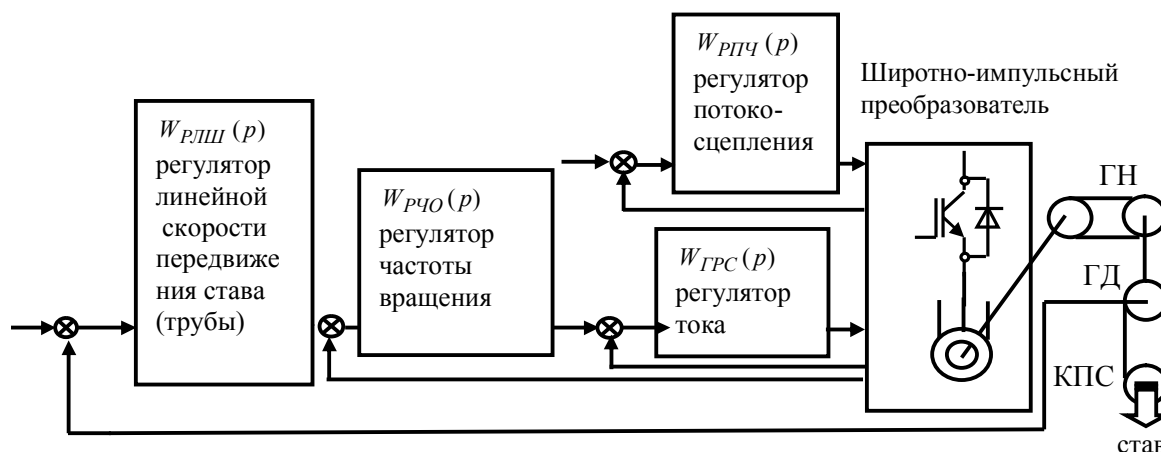
Рисунок 5 – Функционал программного инструментария

Проведены программные эксперименты использования предложенного инструментария по формированию главной формы системы моделирования, формы с изображениями структур блоков операций и автоматных таблиц, формы с изображением структуры блока операции и формул УДСНФ (УКСНФ) для отдельного разряда, форм для оценки погрешностей проводимых операций и оценки временных затрат, а также моделирования работы посредством анимации сигналов в логической структуре.

Сделаны выводы: а) разработанные инструментальные средства обладают полнотой для моделирования АЛУ непосредственного формирования; б) разработанный интерфейс обеспечивает выбор из множества действий и задание требуемых данных в удобной форме; в) отображение структуры АЛУ является многооконной и позволяет просматривать автоматные таблицы для каждой операции и состав блоков, реализующих операции, для эмпирического или эвристического выбора подходящей структуры АЛУ; г) для каждого разряда результата формируются совершенные нормальные формы УДСНФ и УКСНФ и структура устройства реализации совершенных нормальных форм, что существенно упрощает и формальное представление всего АЛУ, и визуальную оценку полученных результатов моделирования; д) моделирование потока данных в АЛУ с тремя законами распределения позволяет оценить накопленную погрешность при округлении ре-

зультатов, что позволяет оценить сложность обрабатываемых нелинейных функций и тем самым выбрать наиболее подходящую структуру АЛУ.

В четвертой главе «Апробация программного инструментария вычислительных средств управления» показано применение разработанного программного инструментария для моделирования регуляторов приводов бурового станка (Рисунок 6).



ГН – гидрогенератор, ГД – гидродвигатель,
КПС – канатно-полиспастная система

Рисунок 6 – Регуляторы электропривода бурового станка серии СБШС-250Н (проф. В.С. Хилов, 2010)

Для этого: 1) построены вычислительные формулы цифрового регулирования с минимальным числом вычислительных операций; 2) предложена логическая структура цифрового регулятора на базе АЛУ НФ; 3) создана программная система моделирование процессов регулирования посредством предложенного в предыдущей главе программного инструментария; 4) проведено моделирование регуляторов для разных настроечных параметров и задержек в блоках АЛУ НФ.

В приложениях проведены исследования тенденций по созданию многопроцессорных вычислительных систем внутри кристалла, оценки возможностей структурной реализации АЛУ НФ, описаны инструментальные средства моделирования, представлен вывод и анализ формул цифрового ПИД регулятора, представлены семантические схемы процедуры «Построение регулятора», построение блока «Настроечные параметры регулятора», процедуры «Тактовый генератор», приложены девять свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, четыре справки о внедрении результатов диссертационной работы и лист-ссылка на грант Минобрнауки РФ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Предложен показатель оценки качества функционирования вычислительного средства управления на основе набора системных показателей качества, отличающийся оценкой формирования общего числа логических функций и оцен-

кой отработки вычислительных операций в моделях управления с методически максимальным быстродействием.

2. Разработана математическая модель вычислительных операций в АЛУ, основанная на представлении разрядов операндов в АЛУ в виде логических переменных и разрядов результата в виде логических функций от этих логических переменных, отличающаяся независимым формированием значений всех разрядов результатов операций.

3. Разработана логическая структура АЛУ на основе предложенной математической модели вычислительных операций, отличающаяся регулированием последовательности и одновременности исполнения вычислительных операций.

4. Разработана структура цифрового контурного регулятора, основанная на структуре гибридного сигнального процессора, включающая функции по отработке вычислительных операций и функции по организации исполнения программ, отличающаяся формированием всех логических функций сложности не выше, чем количество входных логических переменных.

5. Разработана методика моделирования цифрового контурного регулятора на основе предложенной математической модели вычислительных операций и типовой методики моделирования структуры процессора.

6. Разработана логическая структура ПИД регулятора на основе математических моделей «формула прямоугольников» и «формула трапеций», отличающаяся использованием структур арифметико-логических устройств непосредственного формирования для обеспечения высокой производительности вычислений управляющих воздействий.

7. Разработанная математическая модель вычислительных операций обеспечивает методически максимальное быстродействие отработки вычислительных операций в разработанной логической структуре АЛУ с производительностью «жесткой логики», что на несколько порядков быстрее, чем при использовании традиционных ПЛК.

8. Предложенный программный инструментарий позволяет организовывать моделирование процессов управления для вычислительных средств цифровых контурных регуляторов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ:

1. Захарова, О.В. О научной необходимости и технической целесообразности создания новых систем моделирования вычислительных средств управления [Текст] / В.И. Раков, О.В. Захарова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2013. – № 2. – С. 7–21 (личный вклад 50 %).

2. Захарова, О.В. Программный инструментарий для моделирования вычислительных средств управления [Текст] / О.В. Захарова // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 6 (74). – С. 90–99.

3. Захарова, О.В. Формула ПИД-регулятора для АЛУ непосредственного формирования [Текст] / О.В. Захарова // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 2 (70). – С. 11–25.

4. Захарова, О.В. О факторах уровня локального управления, влияющих на структуру промышленного контроллера / О.В. Захарова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2012. – № 4. – С. 38–47.

5. Захарова, О.В. Формальные средства организации вычислительных операций для быстродействующих промышленных контроллеров [Текст] / О.В. Захарова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2012. – № 1. – С. 51–60.

6. Захарова, О.В. О системном показателе качества функционирования промышленного контроллера для процессов моделирования [Текст] / О.В. Захарова // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2011. – № 12. – С. 20–27.

7. Захарова, О.В. Анализ особенностей автоматизированной системы научных исследований для быстродействующих промышленных контроллеров [Текст] / В.И. Раков, О.В. Захарова // Информационные системы и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – № 6 (62). – С. 44–54 (личный вклад 50 %).

8. Захарова, О.В. Моделирование комбинационных структур для реализации вычислительных операций [Текст] / О.В. Захарова, В.И. Раков // Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – № 1/51 (562). – С. 91–98 (личный вклад 50 %).

9. Захарова, О.В. Синтез средств логического управления [Текст] / В.И. Раков, О.В. Захарова // Известия ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ОрелГТУ, 2007. – № 4-2/268 (535). – С. 110–125 (личный вклад 50 %).

10. Захарова, О.В. Реализация быстрых вычислений посредством комбинационных структур [Текст] / В.И. Раков, О.В. Захарова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2007. – № 8. – С. 51–55 (личный вклад 50 %).

Публикации в материалах Международных конференций:

11. Захарова, О.В. О направлении использования троичной логики при создании вычислительных средств управления [Текст] / В.И. Раков, О.В. Захарова, С.С. Солдатов // Прикладная математика, управление и информатика: материалы Международной молодежной конференции, 3–5 октября, 2012 г.: в 2 т. – Белгород: ИД «Белгород», 2012. – 2 т. – С. 569–573 (личный вклад 33 %).

12. Захарова, О.В. Программные средства моделирования быстродействующих вычислителей [Электронный ресурс] / О.В. Захарова // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП): материалы V Международной научно-технической конференции, 17–18 мая 2012 г. – Орёл: Госуниверситет – УНПК, 2012. – Режим доступа: <http://irsit.ru/files/article/112.pdf>. – 9 с.

13. Захарова, О.В. Методика использования инструментальных средств для моделирования быстродействующих вычислителей [Текст] / О.В. Захарова // Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве: материалы V Международной научно-практической конференции, 4–8 июля 2011 г.: в 2 т. – Протвино: Управление образования и науки, 2011. – 2 т. – С. 24–26.

14. Захарова, О.В. Системные требования для моделирования быстродействующих вычислителей [Текст] / О.В. Захарова // Новые технологии в машиностроении: материалы XXI Международной конференции, сентябрь 2011 г.: в 2 т. – Харьков–Рыбачье, 2011. – 2 т. – С. 190–197.

15. Захарова, О.В. Моделирование вычислительных операций для быстродействующих контроллеров [Текст] / О.В. Захарова // Информационные системы и технологии: материалы Международной научно-технической интернет-конференции, апрель-май 2011 г.: в 3 т. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2011. – 3 т. – С. 50-56.

16. Захарова, О.В. О необходимости разработки АСНИ моделей промышленных контроллеров [Текст] / О.В. Захарова, В.И. Раков // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: материалы Международной научно-технической конференции, 19–22 апреля 2011 г.: в 2 т. – Пенза: ПГУ, 2011. – 1 т. – С.19–26 (личный вклад 50 %).

17. Захарова, О.В. Инструментальные средства автоматизированной системы научных исследований моделей быстродействующих АЛУ для промышленных контроллеров [Текст] / О.В. Захарова // Прогрессивные технологии развития: материалы VII Международной научно-практической конференции, 30 ноября 2010 г. – Тамбов: Тамбовпринт, 2010. – С. 99–102.

18. Захарова, О.В. К вопросу о повышении производительности промышленных контроллеров [Текст] / О.В. Захарова, В.И. Раков // Информационные технологии в науке, образовании

и производстве (ИТНОП): материалы IV Международной научно-технической конференции, 22–23 апреля 2010 г.: в 5 т. – Орёл: ОрёлГТУ, 2010. – 3 т. – С. 256–269 (личный вклад 50 %).

19. Захарова, О.В. Моделирование и формирование логических структур [Текст] / О.В. Захарова, А.Н. Савенков // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП): материалы III Международной научно-технической конференции, 24–25 апреля 2008 г. – Орёл: ОрёлГТУ, 2008. – № 1–3/269 (544). – С. 79–84 (личный вклад 50 %).

20. Захарова, О.В. О причинах, ограничивающих возможности построения АЛУ с методически максимальным быстродействием [Текст] / А.А. Марушенков, О.В. Захарова // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП): материалы III Международной научно-технической конференции, 24–25 апреля 2008 г. – Орёл: ОрёлГТУ, 2008. – № 1–3/269 (544). – С. 156–161 (личный вклад 50 %).

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ в Реестре программ для ЭВМ Роспатента:

21. Захарова, О.В. Построение унифицированных совершенных нормальных форм [Текст] / О.В. Захарова // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012612286, 2012.

22. Захарова, О.В. Формирование автоматных таблиц вычислительных операций и логических функций [Текст] / О.В. Захарова // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012612285, 2012.

23. Захарова, О.В. Программа перевода десятичной системы в систему счисления в остаточных классах с заданным основанием для АЛУ непосредственного формирования [Текст] / Д.А. Самойлов, О.В. Захарова, С.С. Солдатов, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012617182, 2012 (личный вклад 25 %).

24. Захарова, О.В. Унифицированные программно-инструментальные средства для моделирования автоматных таблиц комбинационных схем [Текст] / О.В. Захарова, С.С. Солдатов, Д.А. Самойлов, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012618592, 2012 (личный вклад 25 %).

25. Захарова, О.В. Программа перевода чисел из системы счисления в остаточных классах с произвольным основанием в десятичную систему для АЛУ непосредственного формирования [Текст] / Д.А. Самойлов, О.В. Захарова, С.С. Солдатов, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013610070, 2013 (личный вклад 25 %).

26. Захарова, О.В. Построение автоматных таблиц вычислений троичной логики для арифметико-логических устройств непосредственного формирования [Текст] / С.С. Солдатов, О.В. Захарова, Д.А. Самойлов, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013611763, 2013 (личный вклад 25 %).

27. Захарова, О.В. Программные средства поддержки структурного моделирования АЛУ для троичной логики непосредственного формирования [Текст] / С.С. Солдатов, О.В. Захарова, Д.А. Самойлов, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013611764, 2013 (личный вклад 25 %).

28. Захарова, О.В. Программный инструментарий для моделирования вычислительных средств управления [Текст] / О.В. Захарова, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2012612287, 2013 (личный вклад 50 %).

29. Захарова, О.В. Программный инструментарий ПИД регулирования на базе арифметико-логического устройства непосредственного формирования [Текст] / О.В. Захарова, С.С. Солдатов, Д.А. Самойлов, В.И. Раков // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013611762, 2012 (личный вклад 25 %).

Подписано в печать 06.05.2013 г. Формат 60x84 1/16.

Печатных листов 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 160.

ФГБОУ «Госуниверсите – УНПК»

302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29.