

К.т.н. И.Н. Бычков, д.т.н., проф. Ю.С. Рябцев, К.А. Трушкин, Ю.Х. Халиуллин
(ОАО «ИНЭУМ им.И.С. Брука», ЗАО «МЦСТ»)

I. Bychkov, Y. Ryabtsev, K. Trushkin, Y. Khaliullin

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТ ДЛЯ ДОВЕРЕННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ANALYSIS OF ELECTONIC COMPONENTS FOR TRUSTED COMPUTER EQUIPMENT

Рассмотрен сегмент доверенного вычислительного оборудования и проблемы поставок электронных компонент. Предложены индикаторы для планирования развития в области доверенной вычислительной техники. Проведен сравнительный анализ ряда процессоров и других интегральных схем для разработки доверенных устройств.

This paper describes the segment of trusted computer equipment and problems for electronic components' supply chain. It proposes the indicators for effective planning of elaboration in the trusted computer engineering. Comparative analysis for set of processors and other integrated circuits is presented for development of trusted devices.

Ключевые слова: информационная безопасность, разработка процессоров, индикативное планирование.

Keywords: security of information, processor design, indicative planning.

Введение

На текущий момент существует единая технологическая зона с центром стандартизации в США при широкой кооперации предприятий по созданию технологий и производству вычислительных устройств. Почти все предприятия работают на основе общего рынка продукции, в рамках которого формируется основной спрос на вычислительные технологии и электронные компоненты. В последнее время наблюдается усиливающаяся тен-

денция ограничения доступа на этот рынок с целью покупок технологий и компонент для специального применения, а также поставок на территорию ряда стран-изгоев. Проводится реформа системы экспортного контроля, при которой регулятором рынка усиливаются меры по ограничению ряда технологий и комплектующих специального применения. Наиболее легко реализуется экспортный контроль и отказы на поставки готовых модулей, соответствующих стандартам, которые приняты для разработки систем двойного назначения. Примерами современных серий таких стандартов промышленных систем являются VPX (VITA 46, VITA 48 выпуска 2007–2013 годов) или Advanced@TCA (PICMG-3.x выпуска 2008–2012 годов).

Также существенным недостатком применения импортных электронных модулей двойного назначения является высокая цена и непредсказуемость наличия на рынке из-за ограниченного спроса. Применение готовых импортных модулей и вычислительных систем закрепляет периферийное нахождение в существующей технологической зоне.

С целью догоняющего развития необходимы исследования и разработки перспективных импортозамещающих вычислительных систем в соответствии с современными стандартами, например VPX. При этом необходимо постепенное повышение локализации производства электронных компонент. Такой подход позволяет обеспечить оформление независимой технологической зоны при широком использовании существующих достижений в области вычислительной техники и электроники.

Отдельным важным вопросом является вопрос доверенности и информационной безопасности. С точки зрения информационной безопасности выделяют сегмент доверенного вычислительного оборудования. Доверенное же вычислительное устройство из такого сегмента оборудования целесообразно определить следующими основными критериями:

- 1) сертифицированное программное обеспечение;
- 2) аппаратно-программная платформа российской разработки;

- 3) сборка электронных модулей и изготовление систем внутри страны;
- 4) обеспечение долгосрочных поставок и сервисного обслуживания;
- 5) сервисное обслуживание без привлечения иностранных специалистов.

Доверенные вычислительные устройства могут быть общего или специального применения. Для техники специального применения характерны требования по стойкости к воздействию факторам, соответствующие конкретной области. Требовать доверенности от специальных вычислительных устройств можно, но не всегда целесообразно.

1. Оценка разработок

Ввиду общепринятой кооперации предприятий разных стран при оценке разработок вычислительных устройств необходимо определение набора индикаторов, а также их учета для целевых показателей в базисе. Как правило, российское экспертное сообщество использует для оценки любых разработок трехмерный базис: локализация производства, импортозамещение, эффективность инноваций. В данном базисе также целесообразно использовать индикативное планирование с определением целевых показателей в процентах.

Достижение стопроцентных показателей любой разработки в нескольких измерениях базиса является серьезной проблемой российских разработок в области вычислительной техники. Для ее решения требуются долгосрочные инвестиции в несколько стратегических направлений развития электронных компонент. В дальнейшем, при существующей жесточайшей конкуренции, получение хоть какой-нибудь прибыли от вложенных инвестиционных средств возможно лишь при последующем отраслевом протекционизме. В частности, разработка импортозамещающей заказной микросхемы российского производства требует значительных долгосрочных инвестиций в инфраструктуру фабрик с передовыми технологиями.

Инфраструктура фабрик включает в себя центры подготовки производства, а также

проектные центры по разработке стандартных элементов (standards cells), элементов и генераторов памяти (memory cells and compilers), элементов ввода-вывода (I/O cells) и функциональных блоков широкого применения (IP blocks). Для успешного производства заказной микросхемы необходимо иметь наработанный багаж из нескольких десятков функциональных блоков. Ниже будут рассмотрены проблемы, связанные с достижением высоких показателей в общепринятом базисе для ключевого элемента современных информационных технологий – высокопроизводительных микропроцессоров общего назначения.

Традиционно высокопроизводительные процессоры общего назначения выпускают лидеры в области готовых платформ, например корпорации IBM или Intel. Они обеспечивают решениями и документацией производителей заказного оборудования с оригинальной торговой маркой (OEM), которые в свою очередь имеют собственное производство или же привлекают контрактных производителей (ODM) [1]. В свете такой схемы разделения труда проведём качественную оценку нескольких разработок в области информационных технологий, выполненных различными российскими производителями.

На российском рынке успешно работает ЗАО «НПФ ДОЛОМАНТ» как производитель встраиваемых, бортовых и промышленных компьютеров собственной торговой марки. Данный производитель имеет собственное современное сборочное производство электронных модулей, качественный сервис и использует покупные процессоры, доступные на мировом рынке [2]. Предлагаемый таким производителем встраиваемый компьютер имеет стопроцентное импортозамещение, средний показатель локализации производства и близкий к нулю показатель эффективности инноваций. Такие показатели разработок позволяют выпускать конкурентоспособную продукцию внутри страны, но, скорее всего, недостаточны для значимого успеха на внешних рынках.

Другим примером является продукция производителя российских суперкомпьютеров – ОАО «Т-Платформы». Этот производитель предлагает качественный сервис, оригинальное компактное размещение вычислительных модулей (blade servers) на основе но-

вейших микропроцессоров фирмы Intel, но использует контрактное производство и, возможно, зарубежную разработку вычислительных модулей [3]. Суперкомпьютер от такого производителя имеет стопроцентное импортозамещение, средний показатель эффективности инноваций, но близкий к нулю показатель локализации производства. Такие показатели разработок позволяют конкурировать как внутри страны, так и за рубежом. Предположительно из-за продаж суперкомпьютеров российским потребителям, связанным с разработками ядерного оружия, в отношении ОАО «Т-Платформы» были введен строгий контроль или фактический запрет на поставки электронных компонент из-за нарушений правил экспортного контроля США (Export Administrations Regulations, EAR). Строгий контроль экспортной продукции зачастую равносителен закрытию бизнеса, поскольку производитель вычислительной техники попадает в список организаций, действия которых направлены против безопасности или интересов США [4]. Несмотря на то что ОАО «Т-Платформы» находилось в таком списке менее года, процедура исключения из списка потребовала предоставления данным производителем конфиденциальной информации о своем бизнесе, что может противоречить интересам их российских заказчиков.

2. Экспортный контроль и индикаторы планирования

Система экспортного контроля США с 2010 года претерпевает изменения с целью минимизировать ограничения для полупроводниковой электронной промышленности, но с одновременным эффективным повышением контроля над наиболее важными из электронных компонент [5]. Многим странам, в том числе России, ограничивается применение коммерческой вычислительной техники и комплектующих для ряда специальных применений. В частности, правилами ограничивается использование коммерческих электронных компонент и полупроводниковых кристаллов в системах вооружения, включающего любые ракетные комплексы и системы.

Важность контроля над коммерческими поставками иллюстрируется тем фактом, что такие поставки позволяют минимизировать затраты. В соответствии с правилами гос-

ударственных закупок США (Federal Acquisition Regulation System) для большинства ведомств обязательно применение вычислительных устройств коммерческого применения (Commercial Off-The-Shelf) в случае соблюдения возможных условий: требований по надежности и сервису, обеспечения долгосрочных поставок, информационной безопасности [6].

В последнее время правила экспортного контроля стали широко распространяться на современные фабрики и их инфраструктуру путем запрета на создание специальных изделий двойного назначения [7]. В то же время, импортозамещение многих зарубежных электронных компонент продукцией российской разработки (с полным циклом изготовления) невозможно из-за технологического отставания существующих фабрик и их инфраструктуры. Такое положение обусловлено и тем, что оборудование для ряда передовых технологий также попадает под ограничения экспортного контроля [8]. Другой проблемой является то, что для небольшого спроса на микросхемы с нетипичным температурным диапазоном работоспособности или радиационной стойкостью требуются специализированные технологические процессы. Существует устойчивый спрос из-за ограничений экспортного контроля, но объема такого спроса без выпуска микросхем массового применения недостаточно для непрерывной загрузки современных фабрик.

С целью развития высокотехнологичных отраслей необходимо, чтобы российские разработки перспективных электронных компонент были востребованы при создании широкого спектра модулей и систем. В текущей ситуации это невозможно без определённого протекционизма. Для грамотного выстраивания системы государственной поддержки в сложившейся непростой ситуации целесообразно выделить основные направления развития и индикаторы для оценки разработок вычислительных устройств. При этом следует учитывать, что из-за технологического отставания российских фабрик сложно или невозможно получить на них продукцию с характеристиками, приемлемыми для решения задач по созданию информационной инфраструктуры органов государственной власти или

стратегических производств. В связи с этим ведущие российские производители вычислительной техники ведут полный цикл разработки сложно-функциональных электронных компонентов с последующим их изготовлением на передовых зарубежных фабриках.

С точки зрения информационной безопасности важно выделить приоритет развития доверенных вычислительных устройств. Требование доверенности не ограничивает разработчиков в выборе площадки для производства, позволяя достигать конкурентного уровня характеристик продукции при сохранении её применимости для решения задач, значимых с точки зрения государства.

Предлагается выделить следующие направления государственной поддержки, или индикаторы планирования:

1) развитие доверенных систем различного назначения и их повсеместное внедрение;

2) развитие собственных архитектур или доверенных платформ с обоснованием их эффективности;

3) развитие и внедрение программного обеспечения российской разработки или доверенного программного обеспечения;

4) применение продукции российской разработки, а также возможного российского изготовления вместо импортных электронных компонент, попадающих под ограничения экспортного контроля;

5) обеспечение значительных объемов выпуска и качественного сервисного обслуживания импортозамещающих вычислительных систем.

3. Классификация компонент

Современный вычислительный модуль на основе многоядерного микропроцессора состоит из порядка сотни типов компонент. Примерно половина типов это, как правило, чип-компоненты в виде резисторов и конденсаторов различных номиналов. Из оставшей-

ся половины приблизительно треть – соединители, треть – источники питания и микросхемы системы синхронизации, а оставшаяся треть – микропроцессоры или другие системы на кристалле (SoC) высокой степени интеграции. Необходимыми компонентами для вычислительных устройств являются также соединители и датчики в составе корпусов, соответствующих современным стандартам. К электронным компонентам вычислительных устройств можно отнести жесткие диски, дисплеи или видеомониторы. Как правило, элементы СВЧ-электроники, первичной обработки информации и силовой электроники в области вычислительной техники не рассматриваются.

Опыт разработки в области вычислительной техники показывает возможность унификации лишь размеров и типов корпусов для нескольких компонент с малым числом выводов (<50): дискретной логики, чип-компонент, разъемов стандартных интерфейсов, микросхем синхронизации и источников питания. Электромагнитные, тепловые характеристики, вес, показатели надежности компонент унификации не подлежат, поскольку непрерывно совершенствуются. Существует основная тенденция совершенствования характеристик компонент при повышении быстродействия или пропускной способности. Можно выделить девять фиксированных классов компонент, или смежных направлений развития, представленных в табл. 1. Для каждого из представленных классов приведена оценка ограничения доступа импортных компонент для специального применения. Оценка ограничения при поставках электронных компонент иностранной разработки и изготовления проведена с учетом практики их приобретения и представлена по следующей пятибалльной шкале:

1 – нет юридических соглашений по ограничению и опроса насчет области применения;

2 – нет юридических соглашений по ограничению, но есть опрос насчет области применения;

3 – есть юридические соглашения по ограничению области применения у несколь-

ких ведущих поставщиков;

4 – есть юридические соглашения по ограничению области применения у большинства ведущих поставщиков;

5 – есть юридические соглашения по ограничению области применения у всех ведущих поставщиков.

Таблица 1

Классы электронных компонент для вычислительных устройств

Наименование комплектующих изделий	Анализ на ближайшие 5–10 лет (с 2014 г.)			
	Передовые / перспективные технологии	Подсистема вычислительной техники	Ведущие поставщики на мировом рынке	Ограничение доступа / тенденция
Класс 1. Микросхемы процессоров, включая контроллеры и медиа-процессоры	КМОП 20 нм, FinFET, Tri-Gate 14 нм, LTCC, (HITCE), Flip Chip, 3D-TSV и т.д. / GaN, графен	Процессорные ядра, интерфейсы памяти и ввода-вывода	Intel, AMD, IBM, Samsung (ARM) и т.д.	5 / без изменений
Класс 2. Микросхемы программируемой логики	КМОП 28 нм и ниже, Flip Chip, 3D-TSV и т.д.	Обработка сигналов, спец. вычисления и ввод-вывод	Xilinx, Altera и т.д.	5 / без изменений
Класс 3. Микросхемы поддержки сетевых интерфейсов и соединений	Wi-Fi, Infiniband, GbE, 10GbE / 100 GbE, лазерные светодиоды и т.д.	Сетевые маршрутизаторы, трансиверы, сетевые карты	Cisco, HP, Mellanox, NEC, Marvell и т.д.	4 / увеличение
Класс 4. Модули и микросхемы памяти, жесткие диски (ОЗУ, ПЗУ, жесткие диски)	DRAM, NVRAM, FLASH, NAND\ NOR\ MLC FLASH / мемристорная память	Оперативная память, ПЗУ загрузчика, жесткие диски	Micron, Samsung, Kingston, Atmel и т.д.	3 / увеличение
Класс 5. Высококачественные соединители и кабели	Обработка пластика, литье фрезеровка и т.д. / передача оптического сигнала	Высококачественный ввод-вывод, обеспечение стойкости к воздействиям	Molex, Tyco Electronics, Amphenol и т.д.	1 / увеличение
Класс 6. Микросхемы генерации\синтеза\управления частотой, источники питания, датчики и т.д.	МОП, КМОП и другие структуры на основе GaAs, GaN / графен и т.д.	Система питания и синхронизации	Analog Devices, Texas Instr., Linear Tech., IDT, Maxim	1 / без изменений
Класс 7. Видеомониторы, дисплеи	LCD / OLED, EINK, графен и т.д.	Дисплеи, мониторы	Samsung, EINK, LG	1 / без изменений
Класс 8. Корпуса с элементами охлаждения, контроля и защиты	Обработка материалов, литье фрезеровка, 3D-печать и т.д.	Система хранения данных	Curtiss-Wright, Kontron, Elma, Hartmann, SIE и т.д.	2 / увеличение
Класс 9. Дискретная логика, стандартные кабели и разъемы ввода-вывода, буферы, чип-	Обработка материалов, литье фрезеровка, 3D-печать и т.д.	Стандартный ввод-вывод, ввод данных и низкочастотная обработка, система	Texas Instruments, AVX, Foxconn, Molex, Tyco Electronics и т.д.	1 / без изменений

компоненты и т.д.		питания		
-------------------	--	---------	--	--

Для создания доверенных вычислительных устройств общего назначения достаточно следующего:

- применения центрального процессора(ов) российской разработки с обязательным условием полной локализации разработки универсальных вычислительных ядер;
- применения контроллеров внешних интерфейсов российской разработки, прежде всего, сетевых контроллеров, контроллеров беспроводных соединений, контроллеров дисков.

При этом допустимо использование покупных встроенных функциональных блоков широкого применения, но с инспекцией их высокоуровневого логического описания на языке Verilog/VHDL. Также допустимо использование покупных микросхем программируемой логики.

На универсальное вычислительное ядро приходится основное воздействие при проведении информационных атак. Применение доверенных высокопроизводительных процессоров с функциональными блоками широкого применения позволит во многих случаях исключить повсеместное применение дорогих микросхем программируемой логики. Отметим, что создание вычислительного оборудования для многих специальных применений требует скорейшего развития всех тех направлений, где есть ограничения доступа или более двух баллов по представленной пятибалльной шкале.

4. Микросхемы микропроцессоров, медиапроцессоров и контроллеров

Прогнозируется широкое распространение гетерогенных процессоров с интегрированными 64-разрядными ядрами общего назначения [9]. При этом микросхемы процессоров разделяются на два основных класса: для стационарного и для мобильного/портативного применений. В каждом классе существует спрос на процессоры с поддержкой доверенных аппаратно-программных платформ, исключаящих недекларирован-

ную функциональность.

При оценке уязвимостей с целью несанкционированного доступа основное внимание важно уделить универсальному ядру. Примеры некоторых платформ и микросхем процессоров российской разработки представлены в табл. 2, где указано, является ли схемотехника универсальных ядер собственной разработкой соответствующей компании, а также – является ли система команд совместимой с принятыми стандартами или же оригинальной.

Таблица 2

Аппаратно-программные платформы российской разработки

Производитель	Архитектура / Платформа	Выпускаемая микросхема (конец 2013 года)	Собств. разраб. универ. ядра	Собств. сист. команд универ. ядра
ЗАО «МЦСТ»	«Эльбрус», VLIW архитектура ядра общего назначения	1891ВМ8Я, процессор с четырьмя ядрами оригинальной архитектуры	Да	Да
НИИСИ РАН	«КОМДИВ», RISC / SIMD 128-разрядный сопроцессор цифровой обработки сигналов с универсальным 64-разрядным ядром MIPS	1890ВМ7Я, гетерогенный процессор со 128-разрядным сопроцессором цифровой обработки сигналов	Да	Нет
ЗАО НТЦ «Модуль»	NeuroMatrix®, векторно-конвейерная VLIW архитектура 64-разрядного ядра цифровой обработки сигналов с универсальным 32-разрядным ядром ARM	1879ВЯ1Я, гетерогенный процессор с двумя ядрами оригинальной архитектуры	Нет	Нет
ЗАО «ЭЛВИС»	«МУЛЬТИКОР», VLIW архитектура 32/64-разрядного ядра цифровой обработки сигналов с универсальным 32-разрядным ядром MIPS	1892ВМ10Я, гетерогенный процессор с двумя ядрами оригинальной архитектуры	Да	Нет

Максимальный уровень доверенности возможен с применением платформы «Эльбрус». Хороший уровень доверенности обеспечивают процессоры платформы «КОМДИВ». Умеренный уровень доверенности обеспечивают гетерогенные процессоры платформы NeuroMatrix®, что объясняется происхождением разработки и условиями поставки лицензируемого ядра ARM. Покупные процессоры производства зарубежных фирм имеют низкий уровень доверенности.

Анализ процессоров, выпускаемых ведущими российскими производителями, пока-

зывает повсеместное введение новых интерфейсов внешней оперативной памяти и ввода-вывода. Например, в микросхеме 1891BM8Я используются контроллеры памяти типа DDR3, а в микросхеме 1890BM7Я для каналов ввода-вывода используется интерфейс RapidIO. Чтобы вести разработки самых современных доверенных процессоров и контроллеров, для фабрики-изготовителя необходимо наличие функциональных блоков широкого применения, представленных в табл. 3.

Таблица 3

Функциональные блоки широкого применения

Наименование	Новейший стандарт (дата)	Область применения
Контроллер памяти DDR (double data rate)	JEDEC DDR4 (сентябрь 2012)	Микропроцессоры, сопроцессоры
Контроллеры интерфейса PCI Express	PCIe 3.0 (ноябрь 2010)	Микропроцессоры, контроллеры и мосты для периферийных интерфейсов
Контроллер памяти НМС (hybrid memory cube)	НМС 1.0 (апрель 2013)	Микропроцессоры для суперкомпьютеров
Контроллер последовательного интерфейса к преобразователям данных	JESD204B (июль 2011)	Портативные микропроцессоры, сопроцессоры, преобразователи (АЦП / ЦАП)
Контроллер интерфейса CEI (Common Electrical Interface)	OIF-CEI-03.0 (сентябрь 2011)	Микропроцессоры, сопроцессоры, оптические приемопередатчики
Контроллер интерфейса HDMI (high definition media interface)	HDMI 2.0 (сентябрь 2013)	Гетерогенные процессоры с мультимедийной обработкой высокой четкости

5. Микросхемы программируемой логики

Кроме увеличивающейся плотности логики, анонсируемые программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) новейших серий включают все больше передовых устройств различной функциональности: высокоскоростные приемопередатчики, процессорные ядра, память произвольного доступа и ядра цифровой обработки сигналов. Для их создания используются передовые технологические процессы изготовления полупроводниковых кристаллов и сборки микросхем, содержащих 3D конструкции [1, 4]. В табл. 4 представлен обзор тенденций улучшения основных характеристик ПЛИС.

Таблица 4

Тенденция улучшения характеристики новейших серий ПЛИС

Характеристика	Результат 2013 г.	Анонс на 2014 г.
Количество логики, млн. логических	до 2	от 2 до 4

элементов		
Пропускная способность приемопередатчика, Гбайт/с	28	56
Интерфейс с внешней памятью	DDR3-1860	DDR4-3200 или HMC 1.0
Технологический процесс	TSMC 20 нм	TSMC 14/16 нм или Intel Tri-Gate 14 нм

Практически для всех производителей малых серий сложно-функциональных устройств использование ПЛИС новейших серий является оптимальным решением. Примером альтернативного решения может быть разработка ОАО «НИЦЭВТ» микросхемы ЕС8430, представляющей собой узел высокоскоростной коммуникационной сети для суперкомпьютеров. Современные ПЛИС серии Virtex-7 от фирмы Xilinx позволяют реализовать функциональность и характеристики этой микросхемы. Назначение СБИС как узла коммуникационной сети для компактного суперкомпьютера, скорее всего, предполагает ограниченные объемы выпуска и, вероятно, не позволит окупить затраты на проектирование.

С помощью новейших серий микросхем программируемой логики невозможно лишь реализовать функциональность и характеристики высокопроизводительных многоядерных процессоров или процессоров цифровой обработки сигналов. Примером такого многоядерного микропроцессора является четырехядерный микропроцессор общего назначения 1891ВМ8Я с частотой функционирования более 850 МГц. На этапе создания его прототипа с использованием десяти ПЛИС серии Stratix IV от фирмы Altera необходимое количество логики составило около 10^7 логических элементов при частоте функционирования равной 10 МГц.

Предпосылки успеха разработок российских микросхем программируемой логики очень хорошие, поскольку они широко востребованы для первичной обработки сигналов и специализированных контроллеров, а стоимость импортных аналогов достаточно высока. Примером могут быть выпускаемые ОАО «ВЗПП-С» отечественные микросхемы 5576ХС4Т как аналоги ПЛИС от фирмы Altera, впервые поступившие в продажу более

пятнадцати лет назад [10]. В мире постоянно появляются небольшие компании, предлагающие микросхемы с инновационными решениями и использованием программируемой логики, которые имеют экономическую целесообразность при условии выпуска средних серий микросхем в диапазоне от одной до трехсот тысяч штук. Достаточно успешным примером является фирма eASIC, которая в условиях жесточайшей конкуренции развивает свой набор базовых матричных кристаллов уже более десяти лет.

Заключение

В работе представлена классификация электронных компонент, а также методы их проектирования и технологии производства. Для создания доверенных вычислительных устройств предлагается использовать микросхемы программируемой логики, процессоры и контроллеры российской разработки. По мнению авторов, максимальный уровень доверенности возможен только с применением аппаратно-программной платформы российской разработки. Только такой подход позволяет исключить существующие угрозы в области информационной безопасности.

Литература

1. Sturgeon Timothy J., Kawakami M. Global Value Chains in the Electronics Industry. Was the Crisis a Window of Opportunity for Developing Countries? – The World Bank. Policy Research Working Paper 5417, September 2010.
2. Каталог продукции ЗАО «Научно-производственная фирма ДОЛОМАНТ» // URL: <http://www.dolomant.ru/products/>. Дата обращения 26.11.2013.
3. Каталог продукции ОАО «Т-Платформы» // <http://www.t-platforms.ru/products/>. Дата обращения 26.11.2013.
4. Кочемасов В., Строганова Е. Электронные компоненты иностранного производства. Ограничение экспорта в Россию. – «Электроника: Наука, Технология, Бизнес», 2013,

№1, с. 124-129.

5. Semiconductor Industry Association. Reform Export Controls, Double Exports, Create Jobs // URL: http://www.semiconductors.org/public_policy/export_controls/. Дата обращения 30.12.2013.

6. Federal Acquisition Regulation (FAR), Vol. 1 – Parts 1 to 51 issued March 2005 with amendments // URL: <http://www.acquisition.gov/far/current/pdf/FAR.pdf>. Дата обращения 31.12.2013.

7. The Bureau of Industry and Security. EAR, Applications (Classification, Advisory, and License) and Documentation Part 748–page 6, October 15, 2013 // URL: http://www.bis.doc.gov/index.php/forms-documents/doc_view/422-part-748-application-classification-advisory-and-license. Дата обращения 31.12.2013.

8. The Bureau of Industry and Security. EAR, Commerce Control List (CCL), Category Electronics, Supplement No. 1 to Part 774, October 15, 2013 // URL: http://www.bis.doc.gov/index.php/forms-documents/doc_download/442-category-3-electronics-design-development-and-production. Дата обращения 31.12.2013.

9. Demler M. Processors Fill Up on IP for 64-bit Era. Heterogeneous Multiprocessing Fuels Growth in CPUs and GPUs. – Microprocessors report, December 23, 2013.

10. Каталог ОАО «Воронежский завод полупроводниковых приборов – сборка» // URL: <http://www.vzpp-s.ru/production/catalog.pdf>. Дата обращения 26.11.2013.