

УДК 004.056

## ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ: ПРОБЛЕМЫ, ОГРАНИЧЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

**Пестрецова Анастасия Александровна,**

специалитет, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, nastyapestretsova1313@gmail.com

**Кривошеев Игорь Игоревич,**

специалитет, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, igorkrivosheev100@gmail.com

**Огородников Святослав Александрович,**

специалитет, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, ogorodnikovslava023@gmail.com

**Деменев Дмитрий Андреевич,**

Заместитель декана факультета «Информатика и системы управления» МГТУ им. Н. Э. Баумана, заместитель декана факультета «Ракетно-космическая техника» МГТУ им. Н. Э. Баумана, старший преподаватель кафедр ФН-7 (Электротехника и промышленная электроника), ИУ-1 (Системы автоматического управления), Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва.

ORCID: 0009-0004-8500-7531, SPIN-код автора: 4626-7826

### Аннотация

В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты импортозамещения отечественной электронной компонентной базы (ЭКБ), проведён анализ структуры компонентов персональных компьютеров, их функциональной роли и степени зависимости от иностранных производителей. Выделены наиболее критичные элементы, замещение которых сопряжено с наибольшими трудностями, и предложен подход к их приоритизации с учётом технологической сложности и значимости в архитектуре ПК, а также сформулированы рекомендации по адаптации аппаратных решений при использовании альтернативных компонентов.

**Ключевые слова:** импортозамещение, электронная компонентная база, персональные компьютеры, микроэлектроника, санкционные ограничения, вычислительная техника, технологическая зависимость.

## **IMPORT SUBSTITUTION OF THE ELECTRONIC COMPONENT BASE FOR PERSONAL COMPUTERS: PROBLEMS, LIMITATIONS AND DEVELOPMENT TRAJECTORIES**

**Pestretsova Anastasiya Alexandrovna,**

Specialist, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, nastyapestretsova1313@gmail.com

**Krivosheev Igor Igorevich,**

Specialist, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, igorkrivosheev100@gmail.com

**Ogorodnikov Svyatoslav Alexandrovich,**

Specialist, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, ogorodnikovslava023@gmail.com

**Demenev Dmitriy Andreevich,**

Deputy Dean of the Faculty of Computer Science and Control Systems at Bauman Moscow State Technical University, Deputy Dean of the Faculty of Rocket and Space Technologies at Bauman Moscow State Technical University, Senior Lecturer at Departments FN-7 (Electrical Engineering and Industrial Electronics), IU-1 (Automatic Control Systems management), Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, demenev@bmstu.ru.  
ORCID: 0009-0004-8500-7531, SPIN-код автора: 4626-7826

---

### **ABSTRACT**

---

This article examines the theoretical and practical aspects of import substitution of the electronic component base (ECB), presenting an analysis of the structural composition of personal computer components, their functional roles, and the degree of dependence on foreign manufacturers. The most critical elements, whose substitution involves the greatest difficulties, are identified, and an approach to their prioritisation is proposed that takes into account both technological complexity and significance within the architecture of a personal computer. In addition, recommendations are formulated for the adaptation of hardware solutions when alternative components are employed.

---

**Keywords:** import substitution, electronic component base, personal computers, microelectronics, sanctions restrictions, computing equipment, technological dependence.

---

После 2022 года российский рынок персональных компьютеров (ПК) лишился прямого доступа к ключевым компонентам: поставки процессоров Intel и AMD, памяти Samsung и SK Hynix, накопителей Western Digital и Seagate были остановлены, а разрыв логистики увеличил сроки и стоимость поставок. Это обнажило системную зависимость от зарубежной электронной компонентной базы и превратило импортозамещение из стратегической задачи в необходимость. Электронная компонентная база определяет работоспособность всей архитектуры ПК: без процессора, чипсета, памяти, контроллеров и систем питания сборка и функционирование устройства невозможны в принципе. Уход

глобальных вендоров и остановка контрактного производства на мощностях TSMC для российских разработчиков радикально изменили структуру рынка и доступность технологий. Цель работы – анализ возможностей и ограничений импортозамещения компонентов ПК в новых условиях. Для её достижения рассматривается структура аппаратной части, выявляются критичные элементы и оцениваются существующие альтернативы. Объект исследования – процесс импортозамещения в электронной промышленности, предмет – компонентная база ПК, практики её замены и связанные технологические ограничения.

## 1. Роль иностранных компонентов в производстве ПК

### 1.1. Структура аппаратной архитектуры современных ПК

Персональный компьютер – иерархически организованная система аппаратных модулей, объединённых системной магистралью. Магистрально-модульный принцип определяет архитектуру: компоненты подключаются к общему коммуникационному пространству через контроллеры и адаптеры, обмен выполняется по шинам данных, адреса и управления [1].

Центральный процессор (CPU – Central Processing Unit) находится на вершине иерархии. Он включает блок управления, арифметико-логическое устройство, регистровый файл и кэш-память нескольких уровней. Регистры – самый быстрый тип памяти; время доступа – единицы наносекунд. Их разрядность (32 или 64 бита) задаёт размер машинного слова – базовой единицы обработки данных. Кэш размещается на кристалле или рядом с ним, обеспечивая высокое быстродействие при объёме от сотен килобайт до десятков мегабайт [1]. Производительность определяется тактовой частотой и параллелизмом: многоядерные процессоры реализуют MIMD (Multiple Instruction stream, Multiple Data stream), обрабатывая несколько потоков команд одновременно.

Чипсет и материнская плата формируют основу системы. Материнская плата содержит процессорный разъём, слоты оперативной памяти, контроллеры хранения и расширения, а также системную шину. Логика проектирования определяется разделением функций между северным и южным мостами, даже при их интеграции в процессор или Platform Controller Hub: высокоскоростные соединения (процессор, память, PCIe – Peripheral Component Interconnect Express) обслуживают один узел, периферию – другой. Слоты PCIe Gen 4 и Gen 5 обеспечивают пропускную способность 16–32 Гбайт/с на канал ×16, что критично для графических ускорителей и быстрых накопителей [2].

Оперативная память (Random Access Memory, RAM) – рабочее пространство программ и данных. Это энергозависимая память на базе DRAM (Dynamic Random Access Memory) с периодическим обновлением заряда. До 2022 года распространена DDR4 (2133–3600 МГц); DDR5, с 2021 года, обеспечивает более высокую пропускную способность и плотность. Время доступа – десятки наносекунд: медленнее кэша, но быстрее накопителей [1].

Накопители обеспечивают энергонезависимое хранение. Жёсткие диски (Hard (magnetic) Disk Drive, HDD) используют магнитную запись, имеют большой объём и низкую стоимость, но время доступа – миллисекунды. Твердотельные накопители (Solid-State Drive, SSD) на флэш-памяти не содержат механики; время доступа – десятые доли микросекунды. Интерфейс NVMe (Non-Volatile Memory Express) через PCIe Gen 4 обеспечивает скорость чтения свыше 7 Гбайт/с [1].

Графические ускорители (Graphics Processing Unit, GPU) реализуют SIMD (Single Instruction, Multiple Data): один поток команд обрабатывается множеством вычислительных элементов. Это применимо для графики и параллельных вычислений (General-purpose computing on graphics processing units, GPGPU). Связь с CPU осуществляется через PCIe [1].

Блок питания (Power Supply Unit, PSU) преобразует переменный ток в стабилизированные напряжения +12 В, +5 В, +3,3 В для всех компонентов.

Периферийные контроллеры обеспечивают взаимодействие с устройствами ввода-вывода, управляют ими и выполняют арбитраж доступа к магистрали [1].

### 1.2. Ключевые зарубежные производители электронных компонентов

Три десятилетия мировой рынок компонентов для ПК держится на нескольких ключевых игроках, без продукции которых сборка даже бюджетной системы невозможна. Усложнение производственных процессов и рост стоимости производства закономерно сократил число игроков: доступ к фабричным мощностям стал одновременно конкурентным преимуществом и уязвимым местом в цепочке поставок [7].

Процессорный рынок – наиболее концентрированный. Intel и AMD совместно контролируют весь объём поставок x86-совместимых CPU; архитектурный барьер x86-64, защищённый патентными соглашениями, исключает появление третьих игроков. Производство флагманских чипов AMD размещено на мощностях тайваньской TSMC по нормам 4–5 нм; Intel к середине 2020-х освоила собственные техпроцессы Intel 4 и Intel 3. TSMC при этом занимает доминирующее положение на рынке контрактного производства, что само по себе создаёт глобальный системный риск нарушения поставок [7, 8].

Рынок дискретных GPU фактически поделён между NVIDIA и AMD, причём NVIDIA занимает безусловно лидирующую позицию в верхнем и среднем ценовых сегментах. Оба производителя являются fabless-компаниями и размещают производство у TSMC и Samsung, что дополнительно усиливает зависимость от тайваньского контрактного производства [7].

В сегменте памяти Samsung, SK Hynix и Micron Technology на протяжении полутора десятилетий контролируют свыше 90% мирового производства DRAM. NAND-флэш для SSD производится теми же тремя концернами и их ближайшими конкурентами. Дефицит полупроводниковых компонентов в 2020–2022 годах наглядно показал системные риски такой концентрации: цепочки поставок рушились даже в условиях нормального рыночного функционирования – без каких-либо политических ограничений [8].

В классе HDD сложилась дуополия Western Digital и Seagate. В сегменте системной логики Texas Instruments, Infineon Technologies и Monolithic Power Systems производят VRM-контроллеры фаз питания; Realtek и Intel – сетевые контроллеры и аудиокодеки; Broadcom доминирует в корпоративном сетевом сегменте [7].

Итог очевиден: в типовой конфигурации ПК любого класса нет ни одного ключевого компонента отечественного производства. Эта системная зависимость стала критической уязвимостью после февраля 2022 года.

### 1.3. Изменения на рынке после 2022 года

В январе 2022 года все компании, перечисленные выше, имели рабочие контракты с российскими сборщиками. К марту тот же список превратился в перечень недостижимых. Архитектура ПК на всех уровнях опиралась на продукцию нескольких десятков зарубежных вендоров; после 24 февраля 2022 года эта конфигурация начала рассыпаться по частям.

Первой волной стали заявления о прекращении поставок. Intel и AMD приостановили отгрузки в марте 2022 года, NVIDIA – практически одновременно. Samsung и SK Hynix свернули прямые продажи готовой электроники; WD и Seagate остановили отгрузки накопителей. Поставщики контроллеров питания – Texas Instruments, Infineon, Analog Devices – ушли к весне-лету 2022 года [10]. Отдельным ударом стал отказ TSMC работать с российскими дизайн-центрами: производство процессоров «Байкал» и «Эльбрус», размещавшееся на её мощностях по нормам 16 и 28 нм, было фактически остановлено [11].

Логистика рухнула буквально. Контейнеры застревают в Риге, Хельсинки и Гамбурге. На место прямых каналов пришли длинные цепочки через Казахстан, Армению, Турцию, ОАЭ и Китай. Параллельный импорт, легализованный Постановлением Правительства РФ № 506 от 29.03.2022, перевёл значительную часть поставок в «серую» зону: официальный дистрибьютор перестал быть обязательным звеном [9]. Сроки доставки партий компонентов выросли с привычных двух недель до четырёх–шести месяцев, а цены на отдельные позиции, по данным отраслевых изданий, выросли на 30–200% в зависимости от категории [12].

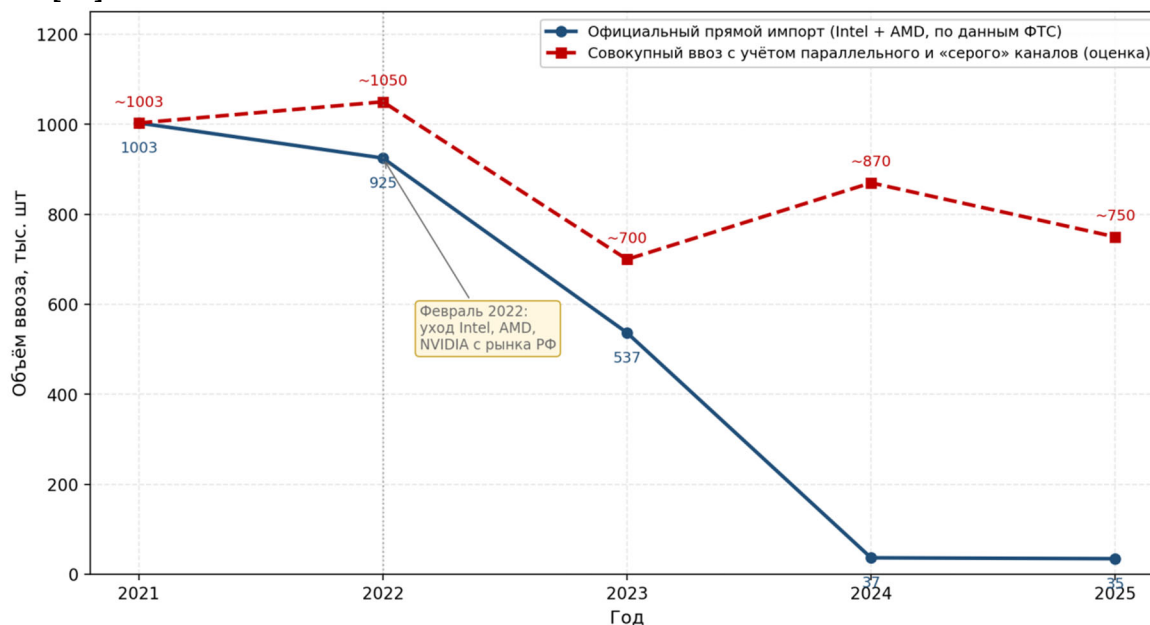


Рисунок 1 – Динамика импорта процессоров и контроллеров в РФ, 2021–2025 гг.

Источник: составлено автором по данным источников [12, 13]. Значения на 2025 год – оценочные.

С 2024 года ситуацию осложнили вторичные санкции США против ряда китайских банков, через которые шла значительная доля платежей; расчёты по схеме «юань через третьи юрисдикции» стали рабочей нормой [10]. Официальная сборка российских брендов сократилась; гарантийное обслуживание Dell, HP, Lenovo перешло в сервисы-посредники. Потребительский сегмент захватили Maibenben, Hasee, Chuwi, Haier; корпоративные заказчики переориентировались на Huawei и смешанные конфигурации. По данным АРПЭ, доля продукции с реально российской компонентной базой к 2025 году не превышает нескольких процентов. Поставки процессоров Intel в Россию к 2024 году сократились на 95%, AMD – на 81% [13].

## 2. Импортозамещение электронных компонентов ПК

### 2.1. Наиболее критичные компоненты для импортозамещения

Картина, описанная ранее, ставит вопрос: какие компоненты замещать в первую очередь? Чем критичнее компонент, тем ниже вероятность его замещения – это ключевая проблема российской микроэлектроники.

Центральные процессоры и системная логика. Процессор – основной барьер. Доминирование x86-64 сформировало масштабную программную экосистему, с которой необходима совместимость [3, 7]. Патентная защита через перекрёстное лицензирование Intel и AMD исключает появление совместимых решений третьих сторон. Российские разработчики используют альтернативы: «Байкал» – архитектура ARM с зависимостью от ARM Holdings; «Эльбрус» – собственная VLIW-архитектура МЦСТ, переносящая планирование команд на компилятор. Это даёт потенциальную энергоэффективность, но исключает совместимость с существующим ПО [3, 11]. После отказа TSMC от сотрудничества

в 2022 году производство остановлено: отечественные мощности (65–90 нм) не позволяют выпускать процессоры для ПК и серверов в серийных объёмах [11, 13]. Чипсетов и системная логика поставляются Intel и AMD как часть платформ; независимый рынок фактически отсутствует [7].

Микроконтроллеры и интерфейсные контроллеры. Сегмент включает USB, SATA, Ethernet, аудио и питание. Проблема – широкая номенклатура, а не монополия. Ключевые поставщики: Microchip Technology, Texas Instruments, NXP Semiconductors, Infineon Technologies, Renesas. Замена требует отдельного проектирования, верификации и адаптации ПО. Отечественная промышленность предлагает ограниченный набор и не имеет полноценных аналогов массовых западных семейств даже в некритичных сегментах [14].

Оперативная память и накопители данных. Samsung, SK Hynix, Micron Technology и Kioxia контролируют производство DRAM и NAND. Сбой одного игрока влияет на глобальные поставки [8]. Российских производителей DRAM нет. Контроллеры накопителей (Phison, Silicon Motion, Innogrit) сосредоточены в Азии; отечественных решений промышленного уровня нет [8].

Графические процессоры и контроллеры питания. NVIDIA и AMD формируют дуополию дискретной графики; встроенные GPU доступны только в составе их процессоров. Обе компании зависят от TSMC и Samsung [7], что создаёт двойную зависимость. PMIC и VRM-контроллеры выпускают Renesas, ON Semiconductor и Analog Devices, покинувшие российский рынок в 2022 году. Без VRM процессор не функционирует, что сделало их одной из первых дефицитных позиций.

Причины технологической сложности производства. CPU, GPU и DRAM требуют литографических систем ASML, отсутствующих в России. Серийное производство ограничено 90 нм – уровень начала 2000-х годов, тогда как TSMC и Samsung освоили 3-4 нм [7, 13]. Линии 65 нм НИИМЭ («Микрон») не обеспечивают массового выпуска потребительских процессоров [13]. Переход на 28 нм к 2027 году оценивается как оптимистичный сценарий при зависимости от зарубежного оборудования [13].

Ключевые узкие места: литография (EUV и DUV ASML – зависимость близка к 100%); EDA-системы (Cadence, Synopsys, Siemens EDA – зависимость практически полная); особо чистые химикаты и кремниевые пластины. Стоимость фотошаблонов для 7 нм превышает 30 млн долл., что при отсутствии собственных норм делает их разработку экономически нецелесообразной [7]. Дополнительно – кадровый дефицит и разрыв компетенций.

Совокупность факторов означает: прямое импортозамещение этих компонентов в горизонте пяти лет невозможно без внешних технологических заимствований.

## 2.2. Российские и альтернативные решения в сфере электронных компонентов

Выше мы перечислили компоненты, заместить которые сложнее всего. Вопрос в том, есть ли чем замещать уже сейчас. Картина двойственная: что-то выпускается на собственных мощностях, что-то приходит из дружественных компаний, остальное идёт по обходным каналам.

Отечественная микроэлектроника держится на нескольких ключевых разработчиках. АО «МЦСТ» развивает линейку «Эльбрус»: восьмиядерный «Эльбрус-8С» в норме 28 нм пошёл в серию, тогда как более новые «Эльбрус-12С» и «Эльбрус-16С» в норме 16 нм проектировались под TSMC и после 2022 года остались на стадии опытных образцов [11, 17]. Архитектура VLIW даёт энергоэффективность на специализированных нагрузках – и обрекает на пересборку всего стека ПО, в чём и состоит её главная проблема.

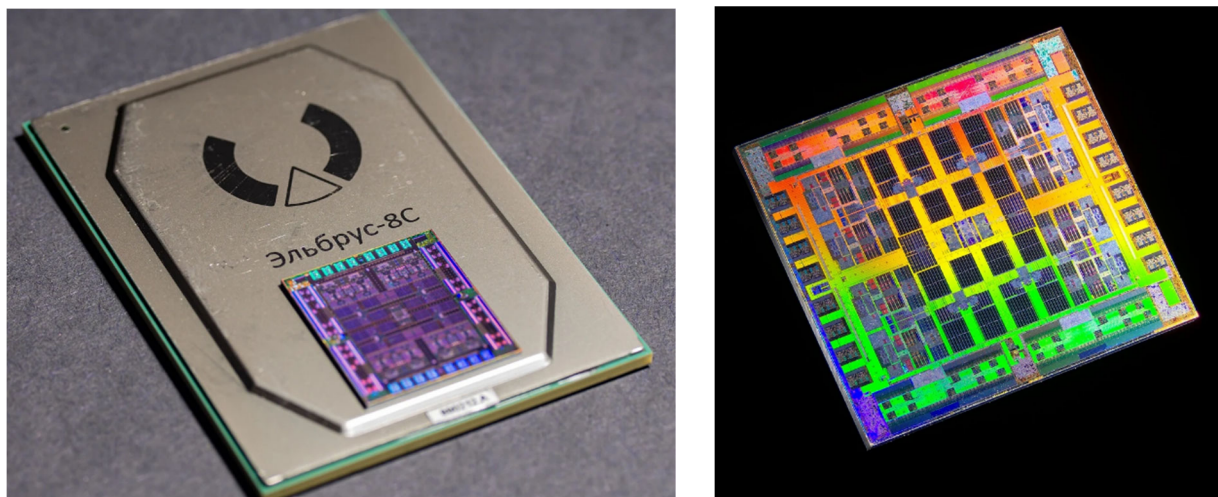


Рисунок 2 - Процессор «Эльбрус-8С» в корпусе и кристалл микропроцессора «Эльбрус-8С» [21].

По другому маршруту движется АО «Байкал Электроникс»: «Байкал-М» построен на лицензионной ARM Cortex-A57 (28 нм) для рабочих станций, серверный «Байкал-С» рассчитан на дата-центры, «Байкал-Л» закрывает встраиваемые применения [16, 18]. Зависимость от британской ARM Holdings здесь не теоретическая: лицензирование новых ядер с 2022 года фактически заморожено. Микроконтроллеры и DSP отечественной разработки выпускают ПМК «Миландр», АО «НИИМА Прогресс», «Ангстрем» и «Микрон»; здесь нормы 90–180 нм - рабочая реальность, а попытки выйти на 28 нм остаются в плоскости опытных партий [7, 16]. С оперативной памятью ставка сделана на сборку модулей из китайских чипов CXMT (ChangXin Memory Technologies) – этим занимаются АО «ЭЛВИС-НеоТек» и предприятия ГК «Элемент». Накопители идут по тому же сценарию: HМ-Тех, GS Group и Kraftway собирают SSD на китайских контроллерах Maxio и Phison с памятью YMTC.

Дальше вектор смещается на восток. Китайские поставщики закрывают сегодня большую часть критичной номенклатуры: процессоры Loongson 3A6000 на собственной архитектуре LoongArch, x86-совместимые Zhaoxin KX-7000, графические ускорители Moore Threads и Jingjia Micro, память CXMT и YMTC. Норма SMIC – 7 нм без EUV. Это потолок: Moore Threads пока не догоняет NVIDIA по драйверной поддержке, а Loongson - Intel и AMD по совместимости с привычным ПО [15, 16]. Растёт интерес и к компонентам из Вьетнама, Индии и стран ЕАЭС, правда, скорее в сегменте сборки, корпусирования и пассивных элементов, чем в активной кремниевой логике.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики альтернативных процессоров для ПК

Производитель	Продукт	Архитектура (ISA)	Техпроцесс	Год серийного выпуска	Целевой сегмент
АО «МЦСТ» (Россия)	«Эльбрус-16С»	VLIW (e2k)	16 нм	не серийный (2021)	серверы, рабочие станции, СХД
АО «Байкал Электроникс» (Россия)	«Байкал-С» (BE-S1000)	ARM v8 (Cortex-A75, 48 ядер)	16 нм	приостановлен (2021)	серверы, дата-центры
Loongson Technology (КНР)	Loongson 3A6000	LoongArch (LA664)	12 нм (SMIC)	2023	настольные ПК, ноутбуки

Производитель	Продукт	Архитектура (ISA)	Техпроцесс	Год серийного выпуска	Целевой сегмент
Zhaoxin (КНР)	Zhaoxin KX-7000 (KaiXian)	x86-64 (лицензия VIA)	16 нм	2024	корпоративные ПК

Источник: составлено автором по данным [15-18].

Проблему составляют и каналы поставок. Параллельный импорт через Казахстан, Армению, ОАЭ и Турцию работает основным маршрутом критичных позиций; китайские дистрибьюторы заняли место прежних западных партнёров; схемы предоплаты в юанях через банки третьих юрисдикций стали повседневной нормой расчётов, а отдельные цепочки уже носят откровенно теневой характер [9, 10]. На горизонте десятилетия особую роль играет открытая архитектура RISC-V: лицензионных отчислений ARM она не требует, допускает полностью отечественные реализации, и работы по ней ведут «Байкал Электроникс», МЦСТ и НИИСИ РАН [15]. Самое оснаждающее для отечественной микроэлектроники и самое профинансированное направление - RISC-V.

### 2.3. Практика замены и адаптации компонентов

Замена процессора на «Эльбрус», «Байкал» или Loongson не сводится к простой установке. Их сокет и распиновка несовместимы с LGA1700 Intel и AM5 AMD, что исключает использование готовых материнских плат. Топология платы перерабатывается: VLIW-ядра «Эльбруса» требуют иного размещения модулей DDR4, «Байкал» – специфической маршрутизации PCIe Gen 3, Loongson 3A6000 – иной интеграции контроллеров памяти и ввода-вывода по сравнению с x86. Чипсеты приходится проектировать заново; рынок готовых решений отсутствует. Переразводка SATA, USB и PCIe требует пересчёта дифференциальных пар с учётом частотных характеристик. Периферия из КНР добавляет проблемы: USB-хабы, кардридеры и сетевые контроллеры с нестандартными прошивками часто не распознаются BIOS отечественных плат [16, 19].

Подбор микросхем сводится к функциональной замене с доработкой схемы. Прямые клоны западных контроллеров практически отсутствуют. Renesas заменяется на SG Micro, Texas Instruments – на ПКК «Миландр» и АО «НИИЭТ», ON Semiconductor – на Silergy. Каждая замена требует повторной верификации. Логические уровни могут отличаться на 0,2–0,4 В, различаются тепловые режимы и временные диаграммы, что нарушает синхронизацию шин (рис. 3).



Рисунок 3 – Сравнение логических уровней оригинального и альтернативного компонентов.

В практике внедрения альтернативных контроллеров питания каждый третий случай требовал доработки схемы согласования и обратного инжиниринга по даташитами, осциллограммам и снимкам кристаллов [20].

Ключевой барьер – программная совместимость. Драйверы Moore Threads и Jingjia Micro под Linux ограничены, для FreeBSD отсутствуют; BIOS плат на «Эльбрусе» поддерживает узкий набор UEFI. Эмуляция x86 на ARM работает, но с серьёзными потерями: для «Байкала-М» и «Эльбруса-8С» – 20-50% и выше. В банковских пилотах «Эльбрус-8С» в Java-приложениях уступает Intel Core i5 десятого поколения в 23-26 раз [19]. Игровые задачи на Moore Threads и Jingjia Micro практически недоступны из-за ограничений DirectX 12 и Vulkan. Приемлемая эффективность достигается в корпоративном и государственном сегментах (документооборот, СУБД, ERP), что и определяет рынок отечественной ЭКБ; массовый потребитель остаётся вне его сегмента [16, 20].

### 3. Проблемы, перспективы и направления развития импортозамещения

#### 3.1. Основные проблемы импортозамещения в электронной промышленности

Системные барьеры импортозамещения в электронной промышленности образуют связанный комплекс, в котором технологическое отставание усугубляется ресурсной и кадровой зависимостью.

Технологическое отставание прежде всего количественное. Серийный потолок российских фабрик ограничен нормами 90 нм; «Микрон» осваивает 65 нм опытными партиями, переход к 28 нм запланирован на 2027 год и оценивается отраслевыми экспертами как оптимистичный сценарий [13, 22]. Мировые лидеры работают на 3-5 нм, китайская SMIC закрепились на 7 нм с ограничениями. Литографы ASML, без которых производство ниже 28 нм невозможно, в Россию не поставляются с 2019 года; вторичные санкции 2022 года прекратили и сервисную поддержку ранее установленного оборудования [7, 11]. Стоимость комплекта фотошаблонов для 7-нм процесса превышает 30 млн долл., а низкий первичный выход годных кристаллов на отечественных линиях 28 нм делает себестоимость одной единицы продукции экономически непригодной для серии [7, 22].

Зависимость от внешних поставок выходит далеко за пределы литографии. Перечень узких мест включает установки травления Lam Research, Applied Materials и Tokyo Electron, фоторезисты JSR и Tokyo Ohka Kogyo, особо чистые газы Air Liquide и Linde, EDA-системы Cadence, Synopsys и Siemens EDA; каждая из этих позиций формирует самостоятельную точку отказа. На программно-архитектурном уровне ситуация повторяется: набор инструкций x86-64 юридически недоступен, лицензирование новых ядер ARM Holdings заморожено, поставки оборудования китайской SMIC заблокированы вторичными санкциями США [11, 15]. Параллельный импорт расходных материалов снимает дефицит лишь частично: серийное производство требует ритмичных поставок, которые серая логистика обеспечить не способна [9, 11].

Кадрово-инфраструктурный дефицит замыкает картину. Эмиграция инженеров-разработчиков топологий после 2022 года, по отраслевым оценкам, унесла существенную часть среднего профессионального звена, наиболее производительной возрастной группы. Доля специалистов старше 55 лет в инженерных подразделениях российской микроэлектроники приближается к трети, тогда как приток выпускников профильных вузов восстанавливается медленно. Научная школа материаловедения изношена, исследовательских центров с компетенциями уровня 7 нм и ниже в стране нет, инфраструктура тестирования и сертификации микросхем покрывает лишь часть

номенклатуры. Цикл разработки нового процессора в России занимает 5-7 лет против 2-3 у лидеров рынка [11, 22].

### 3.2. Перспективы развития отечественной электронной компонентной базы

Ждать, что через три года Россия догонит TSMC, не приходится – но сократить технологическое отставание с двадцати лет до десяти задача реалистичная.

Развитие национальной микроэлектронной промышленности идёт по двум сходящимся направлениям. Первое – расширение производственных мощностей: проект «Микрон-2» в Зеленограде с целевыми нормами 28 нм, модернизация линий «Ангстрем-Т», поэтапный переход с серийных 90-180 нм на опытный 28 нм в горизонте 2027-2028 годов и последующее освоение 14 нм к 2030 году [12, 21]. Объёмы инвестиций при этом сопоставимы с годовым бюджетом крупного отраслевого холдинга, что и определяет заявленные сроки. Второе направление – развитие собственных архитектур: VLIW-линейка МЦСТ остаётся стратегическим заделом, а открытая RISC-V постепенно становится альтернативой ARM и x86, не требующей лицензионных отчислений и допускающей полностью отечественную реализацию [14].

Государственные программы поддержки формируют финансовую и регуляторную опору отрасли. Госпрограмма Минпромторга «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности» до 2030 года предусматривает целевое финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), льготное кредитование производителей и компенсацию части капитальных затрат [23]. Постановление Правительства РФ № 719 закрепляет критерии локализации: попадание в реестр отечественной продукции открывает доступ к государственным закупкам и корпоративным преференциям. Особые экономические зоны – «Алабушево» в Зеленограде и «Технополис Москва» – предоставляют резидентам налоговые льготы, упрощённый таможенный режим и готовую инженерную инфраструктуру под размещение производства.

Развитие научно-исследовательских и производственных центров напрямую связано с кадровым дефицитом. Базовые компетенции концентрируются в МИЭТ, МФТИ и НИУ ВШЭ; программа «Приоритет-2030» в части микроэлектроники финансирует совместные лаборатории вузов и промышленных партнёров – МЦСТ, «Байкал Электроникс», «Микрон» [10]. Параллельно расширяется целевой набор на профильные направления магистратуры и аспирантуры по специальностям проектирования СБИС (Сверхбольшие интегральные схемы) и технологии полупроводниковых приборов.

### 3.3. Практические рекомендации по развитию импортозамещения

Стратегия тотального импортозамещения критичных компонентов ПК – процессоров, памяти, графических чипов – к 2026 году не сработала. Технологический разрыв (28 нм против 3-5 нм) не сократился, а в ряде сегментов вырос. За пять лет ни одна российская компания не освоила серийный выпуск компонента, который встал бы в массовый ПК без многократной потери производительности или совместимости. На бюджетные средства созданы три семейства процессоров – «Эльбрус», «Байкал-М», «Байкал-С» – и ни одно не дошло до массового потребительского рынка. Это указывает на целесообразность дальнейшей корректировки деятельности, более чёткой дифференциации мер государственной поддержки и инициатив бизнеса, а также формирования устойчивых производственных цепочек.

В части государственной политики представляется обоснованным частичное смещение акцента с попытки воссоздания полного производственного цикла на стимулирование НИОКР по точечным направлениям, где зарубежные альтернативы объективно ограничены: литография 28 нм с заделом на 14 нм, фоторезисты, особо чистые газы и кремниевые пластины. Полезным шагом стало бы введение независимого

технологического аудита проектов на стадии обоснования бюджетного финансирования, что повысит эффективность распределения средств. Не менее значимым направлением является дальнейшее упорядочение механизмов параллельного импорта критичной ЭКБ и формирование государственного центра тестирования и сертификации компонентов, поступающих из КНР, Индии и Вьетнама. Целесообразны также налоговые стимулы для компаний, проектирующих системы на базе совместимых зарубежных чипов (Loongson, Zhaoxin, CXMT), и более гибкий подход к закупочным требованиям государственных учреждений: пилотные внедрения «Эльбруса-8С» в банковском секторе зафиксировали отставание от Intel Core i5 десятого поколения в Java-нагрузках в 23–26 раз [19], что подтверждает необходимость дифференцированного выбора платформ под конкретные классы задач.

Со стороны бизнеса перспективным представляется сосредоточение усилий в нишах, где технологическое отставание носит менее критический характер: промышленные контроллеры, АСУ ТП, встроенные системы, защищённые автоматизированные рабочие места. Стоит инвестировать в компонентную инженерию, а не в разработку «с нуля»: подбор готовых аналогов, проектирование плат под китайские чипы, обратный инжиниринг интерфейсов и прошивок [20]. Капиталоёмкие закупки оборудования (литографов, тестовых стендов, корпусирующих линий) рационально осуществлять в формате отраслевых консорциумов, позволяющих распределить инвестиционную нагрузку между несколькими участниками. В среднесрочной перспективе обоснованно выглядит постепенное включение в продуктовые дорожные карты архитектуры RISC-V, как единственной открытой архитектуры, не контролируемой из США [15]. Но даже при выполнении всех этих мер полный переход займёт не меньше 7-10 лет.

Таблица 2 – Сбалансированный комплекс мер импортозамещения ЭКБ для ПК

Сфера	Меры государственной поддержки	Направления деятельности компаний
Процессоры	Уточнение критериев реестра отечественной продукции с учётом сегментации рынка; допуск систем на лицензионных и совместимых зарубежных ядрах для массового сегмента	Разработка системных плат и BIOS под Loongson 3A6000 и Zhaoxin KX-7000; адаптация программного стека
Память	Формирование стратегического резерва DDR4/DDR5; финансирование линий корпусирования и тестирования	Развитие компетенций корпусирования и тестирования кристаллов CXMT и YMTC
Оборудование	Поддержка отечественной литографии с целевой нормой 14 нм к 2030 г.; упрощение ввоза метрологии через ЕАЭС	Объединение в консорциумы для закупки литографов и тестовых стендов
ПО	Признание эмуляции x86 на ARM и LoongArch допустимой в части некритичных госзакупок	Постепенное портирование прикладного ПО на RISC-V в горизонте 2030 г.

Источник: разработано автором на основе анализа отрасли.

Эффективное импортозамещение в сфере ЭКБ для ПК – задача не одного пятилетия. Её решение лежит в области разумного компромисса между развитием

собственных разработок и прагматичным использованием доступных зарубежных альтернатив.

Заключение.

Замена ключевых компонентов ПК в российских условиях остаётся фрагментарной и технологически ограниченной. Анализ показал почти полную зависимость от импорта по процессорам, памяти, накопителям и контроллерам, а также критическую концентрацию производства у узкого круга зарубежных компаний. Выявлены наиболее уязвимые элементы архитектуры, прежде всего CPU, GPU и DRAM, замещение которых затруднено из-за технологического разрыва и лицензионных ограничений. Описаны доступные альтернативы: отечественные решения на базе «Эльбрус» и «Байкал», а также китайские компоненты, однако их применение сопровождается проблемами совместимости, снижением производительности и необходимостью переработки аппаратной и программной части. Практика замены носит точечный характер и требует сложной инженерной адаптации.

Совокупность результатов показывает, что импортозамещение в текущем виде не обеспечивает полной технологической независимости и опирается на компромиссные решения. Критичные компоненты остаются недоступными для серийного производства внутри страны, а зависимость смещается в сторону азиатских поставщиков. В ближайшие годы развитие отрасли будет определяться ограничениями производственных норм, дефицитом оборудования и кадров, а также масштабом государственной поддержки. Реалистичный сценарий связан с постепенным снижением отставания, развитием собственных архитектур и углублением кооперации с дружественными странами без быстрого выхода на уровень мировых лидеров.

#### Список литературы:

1. Туаева, М. Т. Архитектура персонального компьютера: учебное пособие / М. Т. Туаева. – Владикавказ: ГБПОУ «Владикавказский торгово-экономический техникум», 2020. – 41 с.
2. Авдеев, В. А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование: учеб. пособие / В. А. Авдеев. – 2-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – 849 с. – ISBN 978-5-89818-570-1.
3. Афонин, И. Современные процессорные архитектуры / И. Афонин, Д. Кабачник // СТА. – 2019. – URL: <https://www.cta.ru/articles/cta/spravochnik/v-zapisnuyu-knizhku-inzhenera/124322/> (дата обращения: 15.04.2026). – Текст: электронный.
4. Фролова, С. В. Анализ современного состояния и основные тенденции развития отрасли радиоэлектронной промышленности в России / С. В. Фролова, Ю. С. Хилькевич // ЭФО. Экономика. Финансы. Общество. – 2024. – № 2 (10). – С. 14–24. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennogo-sostoyaniya-i-osnovnyie-tendentsii-razvitiya-otrasli-radioelektronnoy-promyshlennosti-v-rossii> (дата обращения: 15.04.2026). – Текст : электронный.
5. Импортозамещение вычислительной техники и микроэлектроники // TAdviser: [сайт]. – 2025. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Импортозамещение\\_вычислительной\\_техники\\_и\\_микроэлектроники](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Импортозамещение_вычислительной_техники_и_микроэлектроники) (дата обращения: 15.04.2026). – Текст: электронный.
6. Макуха, В. К. Микропроцессорные системы и персональные компьютеры : учебник для среднего профессионального образования / В. К. Макуха, В. А. Микерин. – 2-е

- изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2026. — 156 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-12091-2. — URL: <https://urait.ru/bcode/587884> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст : электронный.
7. Макушин, М. В. Микроэлектроника как фактор развития цифровой экономики / М. В. Макушин // Электроника: наука, технология, бизнес. — 2021. — № 4. — С. 40–49. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45710779> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.
  8. Зеленский, А. А. Обзор полупроводниковой промышленности в мире и России: производство и оборудование / А. А. Зеленский, М. С. Морозкин, А. А. Грибков // Известия вузов. Электроника. — 2021. — Т. 26, № 6. — С. 468–480. — DOI 10.24151/1561-5405-2021-26-6-468-480.
  9. Сенотрусова, С. В. Параллельный импорт и другие экономические меры как ответ на санкции в отношении российского импорта / С. В. Сенотрусова, Я. В. Сибирякова // Государственное управление. Электронный вестник. — 2023. — № 96. — С. 64–73. — DOI 10.24412/2070-1381-2023-96-64-73. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parallelnyy-import-i-drugie-ekonomicheskie-mery-kak-otvet-na-sanktsii-v-otnoshenii-rossiyskogo-importa> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.
  10. Гераськина, А. Р. Влияние антироссийских санкций на мировую экономику и современные международные экономические отношения / А. Р. Гераськина // Экономические отношения. — 2023. — Т. 13, № 2. — С. 221–236. — DOI 10.18334/eo.13.2.117900. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53965814> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.
  11. Курбатова, А. С. Перспективы импортозамещения в российском секторе информационных технологий в условиях санкционного давления / А. С. Курбатова // Современная мировая экономика. — 2023. — Т. 1, № 4 (4). — URL: <https://cwejournal.hse.ru/article/view/19877> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.
  12. Корнев, Т. Чипы держатся за российский рынок. Объём их импорта стабилен, хотя цены растут / Т. Корнев // Коммерсантъ. — 2023. — 16 марта (№ 44). — С. 7. — Текст: непосредственный.
  13. Корнев, Т. Чипы ушли от вычислений. Поставки процессоров Intel и AMD в Россию в 2024 году сократились на 95 % / Т. Корнев // Коммерсантъ. — 2025. — 22 мая (№ 89). — С. 9. — Текст: непосредственный.
  14. Дельцов, И. М. Актуальные вопросы импортозамещения при модернизации электронного устройства / И. М. Дельцов // Молодой ученый. — 2023. — № 5 (452). — С. 24–29. — URL: <https://moluch.ru/archive/452/99728> (дата обращения: 15.04.2026). — Текст: электронный.
  15. RISC-V в промышленности: как российские микроконтроллеры приходят на смену глобальным поставщикам // Новости IT канала : [сайт]. — 23.04.2026. — URL: <https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=195245> (дата обращения: 25.04.2026). — Текст: электронный.

16. Байкал утонул, Эльбрус замёрз: кто вытащит Россию из процессорной ямы? // SecurityLab : [сайт]. – 18.05.2025. – URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/Bitshield/355452.php> (дата обращения: 27.04.2026). – Текст : электронный.
17. Микропроцессоры Эльбрус и МЦСТ-R : каталог продукции / АО «МЦСТ». – Москва, 2021. – URL: [http://www.mcst.ru/files/616fe7/68dece/61ba37/da85eb/mcst\\_processors\\_2021-09\\_a4p\\_v09\\_lq.pdf](http://www.mcst.ru/files/616fe7/68dece/61ba37/da85eb/mcst_processors_2021-09_a4p_v09_lq.pdf) (дата обращения: 26.04.2026). – Текст: электронный.
18. Baikal-M : [официальная страница продукта] // Байкал Электроникс : [сайт]. – URL: <https://www.baikalelectronics.ru/products/baikal-m/> (дата обращения: 26.04.2026). – Текст: электронный.
19. Сбербанк заявил о катастрофическом несоответствии «Эльбрусов» своим требованиям // CNews: [сайт]. – 13.12.2021. – URL: [https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-13\\_sberbank\\_vyuyavil\\_katastroficheskoe](https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-13_sberbank_vyuyavil_katastroficheskoe) (дата обращения: 26.04.2026). – Текст: электронный.
20. Лясковский, В. Л. Методический подход поддержки принятия управленческих решений при импортозамещении электронной компонентной базы на основе информационной технологии управления инновациями / В. Л. Лясковский, Б. В. Сорокин, Д. Ю. Тарасов, Г. Л. Сухомлинов // Эргодизайн. – 2025. – № 2. – С. 136–151. – DOI 10.30987/2658-4026-2025-2-136-151.
21. МЦСТ / Эльбрус-8С : фотоальбом // Flickr : [сайт]. – URL: <https://www.flickr.com/photos/130561288@N04/albums/72177720295481227/with/51772946105> (дата обращения: 26.04.2026). – Изображение: электронное.
22. Ленчук, Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления / Е. Б. Ленчук // Экономическое возрождение России. – 2022. – № 3 (73). – С. 52–60. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnologicheskoe-razvitiye-rossii-v-usloviyah-sanktsionnogo-davleniya> (дата обращения: 26.04.2026). – Текст: электронный.
23. Стратегия развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.01.2020 № 20-р. – Москва: Правительство Российской Федерации, 2020. – 50 с.

#### References:

1. Tuaeveva, M. T. Architecture of a Personal Computer: textbook / M. T. Tuaeveva. – Vladikavkaz: Vladikavkaz Trade and Economic College, 2020. – 41 p.
2. Avdeev, V. A. Peripheral Devices: Interfaces, Circuit Engineering, Programming: textbook / V. A. Avdeev. – 2nd ed. – Moscow: DMK Press, 2023. – 849 p. – ISBN 978-5-89818-570-1.
3. Afonin, I. Modern processor architectures / I. Afonin, D. Kabačnik // STA. – 2019. – URL: <https://www.cta.ru/articles/cta/spravochnik/v-zapisnuyu-knizhku-inzhenera/124322/> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
4. Frolova, S. V. Analysis of the current state and main development trends of the radio-electronic industry in Russia / S. V. Frolova, Ū. S. Hil'kevič // EFO. Economics. Finance.

- Society. – 2024. – No. 2 (10). – P. 14–24. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennogo-sostoyaniya-i-osnovnyetendentsii-razvitiya-otrasli-radioelektronnoy-promyshlennosti-v-rossii> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
5. Import substitution of computing equipment and microelectronics // TAdviser: [website]. – 2025. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Импортозамещение\\_вычислительной\\_техники\\_и\\_микроэлектроники](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Импортозамещение_вычислительной_техники_и_микроэлектроники) (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
6. Makuha, V. K. Microprocessor Systems and Personal Computers: textbook for secondary vocational education / V. K. Makuha, V. A. Mikerin. – 2nd ed., revised and expanded. – Moscow: Yurait, 2026. – 156 p. – (Vocational Education). – ISBN 978-5-534-12091-2. – URL: <https://urait.ru/bcode/587884> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
7. Makušin, M. V. Microelectronics as a factor of digital economy development / M. V. Makušin // Electronics: Science, Technology, Business. – 2021. – No. 4. – P. 40–49. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45710779> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
8. Zelenskij, A. A. Overview of the semiconductor industry in the world and in Russia: production and equipment / A. A. Zelenskij, M. S. Morozkin, A. A. Gribkov // Proceedings of Universities. Electronics. – 2021. – Vol. 26, No. 6. – P. 468–480. – DOI 10.24151/1561-5405-2021-26-6-468-480.
9. Senotrusova, S. V. Parallel imports and other economic measures as a response to sanctions on Russian imports / S. V. Senotrusova, Â. V. Sibirâkova // Public Administration. E-journal. – 2023. – No. 96. – P. 64–73. – DOI 10.24412/2070-1381-2023-96-64-73. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parallelnyy-import-i-drugie-ekonomicheskie-mery-kak-otvet-na-sanktsii-v-otnoshenii-rossiyskogo-importa> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
10. Geras'kina, A. R. The impact of anti-Russian sanctions on the global economy and contemporary international economic relations / A. R. Geras'kina // Economic Relations. – 2023. – Vol. 13, No. 2. – P. 221–236. – DOI 10.18334/eo.13.2.117900. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53965814> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
11. Kurbatova, A. S. Prospects for import substitution in the Russian information technology sector under sanctions pressure / A. S. Kurbatova // Contemporary World Economy. – 2023. – Vol. 1, No. 4 (4). – URL: <https://cwejournal.hse.ru/article/view/19877> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.
12. Kornev, T. Chips hold on to the Russian market. Their import volume remains stable although prices are rising / T. Kornev // Kommersant. – 2023. – March 16 (No. 44). – P. 7. – Text: direct.
13. Kornev, T. Chips have moved away from computing. Deliveries of Intel and AMD processors to Russia fell by 95% in 2024 / T. Kornev // Kommersant. – 2025. – May 22 (No. 89). – P. 9. – Text: direct.
14. Del'cov, I. M. Topical issues of import substitution in the modernisation of an electronic device / I. M. Del'cov // Young Scientist. – 2023. – No. 5 (452). – P. 24–29. – URL: <https://moluch.ru/archive/452/99728> (accessed: 15.04.2026). – Text: electronic.

15. RISC-V in industry: how Russian microcontrollers are replacing global suppliers // IT Channel News: [website]. – 23.04.2026. – URL: <https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=195245> (accessed: 25.04.2026). – Text: electronic.
16. Baikal has sunk, Elbrus has frozen: who will pull Russia out of the processor pit? // SecurityLab: [website]. – 18.05.2025. – URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/Bitshield/355452.php> (accessed: 27.04.2026). – Text: electronic.
17. Elbrus and MCST-R Microprocessors: product catalogue / JSC MCST. – Moscow, 2021. – URL: [http://www.mcst.ru/files/616fe7/68dece/61ba37/da85eb/mcst\\_processors\\_2021-09\\_a4p\\_v09\\_lq.pdf](http://www.mcst.ru/files/616fe7/68dece/61ba37/da85eb/mcst_processors_2021-09_a4p_v09_lq.pdf) (accessed: 26.04.2026). – Text: electronic.
18. Baikal-M: [official product page] // Baikal Electronics: [website]. – URL: <https://www.baikalelectronics.ru/products/baikal-m/> (accessed: 26.04.2026). – Text: electronic.
19. Sberbank reports catastrophic non-compliance of 'Elbrus' processors with its requirements // CNews: [website]. – 13.12.2021. – URL: [https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-13\\_sberbank\\_vyavil\\_katastroficheskoe](https://www.cnews.ru/news/top/2021-12-13_sberbank_vyavil_katastroficheskoe) (accessed: 26.04.2026). – Text: electronic.
20. Lâskovskij, V. L. A methodological approach to supporting managerial decision-making in the import substitution of the electronic component base on the basis of innovation management information technology / V. L. Lâskovskij, B. V. Sorokin, D. Ū. Tarasov, G. L. Suhomlinov // Ergodesign. – 2025. – No. 2. – P. 136–151. – DOI 10.30987/2658-4026-2025-2-136-151.
21. MCST / Elbrus-8S: photo album // Flickr: [website]. – URL: <https://www.flickr.com/photos/130561288@N04/albums/72177720295481227/with/51772946105> (accessed: 26.04.2026). – Image: electronic.
22. Lenčuk, E. B. Scientific and technological development of Russia under sanctions pressure / E. B. Lenčuk // Economic Revival of Russia. – 2022. – No. 3 (73). – P. 52–60. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnologicheskoe-razvitie-rossii-v-usloviyah-sanktsionnogo-davleniya> (accessed: 26.04.2026). – Text: electronic.
23. Strategy for the Development of the Electronic Industry of the Russian Federation for the Period up to 2030: approved by Order of the Government of the Russian Federation No. 20-r of 17.01.2020. – Moscow: Government of the Russian Federation, 2020. – 50 p.