

Захаров Анатолий Иванович

кандидат технических наук, профессор, доцент кафедры математического и программного обеспечения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург.

Электронный адрес: vka_kaf27_1@mil.ru

Anatoly I. Zakharov

Ph.D. of Engineering Sciences, Full Professor, Associate Professor at the Department of Mathematical and Software Support, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg.

Email address: vka_kaf27_1@mil.ru

Брякалов Геннадий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математического и программного обеспечения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург.

Электронный адрес: vka_kaf27_2@mil.ru

Gennady A. Bryakalov

Ph.D. of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor at the Department of Mathematical and Software Support, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg.

Email address: vka_kaf27_2@mil.ru

Зоткин Максим Юрьевич

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры математического и программного обеспечения, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург.

Электронный адрес: vka_kaf27_3@mil.ru

Maxim Yu. Zotkin

Ph.D. of Engineering Sciences, Senior Lecturer at the Department of Mathematical and Software, Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg.

Email address: vka_kaf27_3@mil.ru

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЯДРО КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Статья посвящена анализу основных этапов появления и внедрения ядерной технологии в развитие средств вычислительной техники. Отмечена роль и возможности ядерной технологии в решении вопроса значительного повышения производительности электронных вычислительных машин (ЭВМ) широкого назначения. Материал статьи распространяется на широкий круг проблем и может быть полезен для специалистов, интересующихся вопросами ядерной технологии в вычислительной технике в плане её практического применения.

Ключевые слова: вычислительная техника, компьютеры, ядерная технология, информационные технологии.

Для цитирования: Захаров А.И., Брякалов Г.А., Зоткин М.Ю. Компьютерное ядро как средство повышения производительности компьютерной техники // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2026. № 3. С. 144–150. DOI: 10.18137/RNU.V9187.26.03.P.144

THE COMPUTER CORE AS A MEANS OF INCREASING
COMPUTER PERFORMANCE

Abstract. This article analyzes the key stages in the emergence and implementation of core technology in the development of computing systems. It highlights the role and potential of core technology in significantly boosting the performance of general-purpose electronic computers. The material covers a wide range of issues and will be of interest to specialists concerned with the practical application of core technology in computing.

Keywords: computing technology, computers, core technology, information technology.

For citation: Zakharov A.I., Bryakalov G.A., Zotkin M.Yu. (2026) The computer core as a means of enhancing computing system performance. *Vestnik of the Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis, and Control*. No. 3. Pp. 144–150. DOI: 10.18137/RNU.V9187.26.03.P.144 (In Russian).

Введение

В 1990-х годах производители процессоров столкнулись с физическими ограничениями, связанными с увеличением тактовой частоты. Одним из решений стало добавление в процессор нескольких ядер. Бытует мнение, что ядро (core) – это один из многих непонятных терминов информационной технологии (ИТ) [1]. Ядро и микросхема по своей сути разные понятия, которые имеют собственные значения в компьютерной и электронной технике. Ядро – это компонент процессора, самостоятельный, независимый вычислительный блок в архитектуре процессора, ответственный за выполнение инструкций в микропроцессоре и способный выполнять линейную последовательность задач, а также обрабатывать команды и управлять потоками данных за определённый период времени.

Особое место в вычислительной технике отводится понятию «микропроцессор». Микропроцессор формирует ядро вычислительной машины, дополнительные функции выполняются с помощью специально разработанных наборов микросхем (чипсет). В центре современного центрального микропроцессора (центральное вычислительное устройство) находится ядро (core) – кристалл кремния площадью примерно в один квадратный сантиметр, на котором посредством микроскопических логических элементов реализована принципиальная схема процессора. Ядро связано с остальной частью чипа по специальной технологии, обеспечивающей прямой контакт с радиатором кулера (специального вентилятора) для осуществления лучшей теплоотдачи. Микропроцессоры могут содержать одно или несколько ядер, что влияет на их производительность. Чем больше ядер, тем больше задач может быть обработано параллельно, что важно для многозадачных операционных систем и приложений.

Идею интеграции множества стандартных электронных компонентов в монолитном кристалле полупроводника впервые предложил в 1952 году британский радиотехник Джеффри Даммер [2]. Год спустя Харвик Джонсон подал первую в истории патентную заявку на прототип интегральной схемы (ИС). Второго сентября 1958 года компания Texas Instruments создала первую в мире интегральную микросхему. Первая микросхема – крошечная полоска германия на стеклянной подложке; на ней был расположен всего один транзистор, пара резисторов и конденсатор. Классификация по степени интеграции в зависимости от количества компонентов микросхемы включает в себя малые (менее

100 элементов в кристалле), средние (до 1000 элементов), большие (до 10 тысяч элементов) и сверхбольшие (более 10 тысяч элементов) интегральные микросхемы. В 1997 году фирма IBM выпустила POWER4 – один из первых коммерческих процессоров с двумя ядрами [3]. В 2005 году Intel выпустила Pentium D – первый массовый двухъядерный процессор, что ознаменовало новый этап в эволюции вычислительной техники [4]. Одной из главных проблем оставалась параллельная обработка данных в условиях многозадачности, но и это решалось с помощью технологии гипертренинга, при которой каждое ядро обрабатывает несколько потоков одновременно. Чем больше потоков и ядер, тем лучше. Но есть и другие параметры, такие как архитектура процессора [5], частота и объем кеш-памяти. Впервые слово «кэш» (cache) в компьютерном контексте было использовано в 1967 году. При редактировании очередной статьи редактор журнала вместо выражения «высокоскоростной буфер» предложил слово «cache». Вскоре это слово стало использоваться в компьютерной литературе как общепринятый термин. Кеш – промежуточный буфер с быстрым доступом к нему, содержащий информацию, которая может быть запрошена с наибольшей вероятностью. Доступ к данным в кеше осуществляется быстрее, чем выборка исходных данных из более медленной памяти или удаленного источника, однако её объем существенно ограничен по сравнению с хранилищем исходных данных.

Эпоха ядерной тематики в развитии компьютерной техники

Эра многоядерных процессоров началась в середине 2000-х годов. Например, первый многоядерный процессор Intel Core 2 Duo, выпущенный в 2006 году, имел два ядра и значительно улучшил производительность по сравнению с одноядерными компьютерами. В эти годы появились многоядерные процессоры, где несколько ядер на одном чипе выполняли параллельную обработку данных, что значительно увеличило производительность. В частности, фирмы Intel и AMD продолжили выпускать процессоры с несколькими ядрами, такие как серии Core i7 и Ryzen. В 2010 году фирма Intel представила процессоры Core i5 и Core i7 с 4 ядрами [6].

В 2017 году фирма AMD представила процессоры Ryzen на базе архитектуры Zen с числом ядер до 16, а фирма Intel выпустила 8-е поколение Core i7 и Core i9, увеличивая число ядер до 8 у каждого. Существенный прорыв по увеличению числа ядер произошел в 2022 году, когда процессоры AMD EPYC 3-го поколения с 64 ядрами обеспечили работу суперкомпьютера Frontier – одного из самых мощных в мире с производительностью 1,1 экса ($1,1 \cdot 10^{18}$ операций с плавающей точкой в секунду) [7].

Одной из главных проблем оставалась параллельная обработка данных в условиях многозадачности, но и это решалось с помощью технологии гипертренинга [6], при которой каждое ядро обрабатывает несколько потоков одновременно.

Влияние потоков на производительность микропроцессора

Поток создается активным процессом. Каждый раз, когда открывается приложение, оно само создает поток, который будет обрабатывать задачи этого конкретного приложения. Поэтому чем больше приложений будет открыто, тем больше потоков будет создано. Потоки создаются операционной системой для выполнения задачи конкретного приложения. Они управляются планировщиком, который является стандартной частью каждой ОС. Единственный факт, который ограничивает создание потоков, это количество основ-

Компьютерное ядро как средство повышения производительности
компьютерной техники

ных потоков, предоставляемых физическим процессором, а их количество зависит от ядер.

Потоки стали жизненно важной частью увеличения вычислительной мощности, поскольку они позволяют выполнять несколько задач одновременно. Это повышает производительность компьютера, а также позволяет сделать его способным к многозадачности. Можно сказать, что поток является виртуальным ядром самого ядра. Чем больше программ запускается на компьютере, тем сильнее нагружается CPU.

Новые подходы и многоядерные процессоры

Микропроцессор – это устройство, которое отвечает за выполнение арифметических и логических операций, записанных в машинном коде, и реализуется с помощью одной микросхемы. Кроме этих компонентов в архитектуру микросхем входит оперативная память, которая используется для хранения информации и ПЗУ для программного обеспечения. Сегодня без этого элемента сложно представить себе современный компьютер [8]. При этом далеко не каждому человеку известно, когда конкретно появился первый микропроцессор. Это устройство было создано в семидесятых годах прошлого века [3].

История началась в 1969 году, когда одна из японских фирм обратилась к фирме Intel с просьбой сконструировать ряд чипов для электронно-счетных машин. А история создания самих микропроцессоров началась больше 40 лет назад. Эту разработку сначала вели инженеры компании Intel Гордон Мур, Роберт Нойс и Эндрю Гроув [9]. В апреле 1970 года в команду Intel пришел итальянский физик Федерико Фаджин, который имел большой опыт работы в сфере логического проектирования компьютеров. Благодаря общим совместным усилиям инженеры Intel смогли соединить микросхемы в общий чип. Эра многоядерных процессоров началась в середине 2000-х годов. Отправной точкой развития многоядерных процессоров считается серия Intel Core 2, зародившаяся как двухъядерная. Так, например, первый многоядерный процессор Intel Core 2 Duo, выпущенный в 2006 году, имел два ядра и значительно улучшил производительность по сравнению с одноядерными компьютерами. Впоследствии микропроцессоры Intel претерпели много изменений [10].

Следующие процессоры Intel – это модели 8008, 8080 и 8800. Модель Intel 8008 появилась в начале 70-х. Спустя некоторое время появилось еще одно обновление – чип 8080. Однако в этом случае изменения, внесенные в архитектуру процессора, были значительно существеннее. Микропроцессор Intel 8080 представили в апреле 1974 года. Стоит отметить, что его производство было переведено на новый технологический процесс. В модели 8080 появился более широкий набор команд. Он включал 16 команд передачи информации и 31 команду для их обработки. Тактовая частота процессора достигала 2 МГц, что в 4 раза превосходило предшественников. Следует отметить, что был разработан и отечественный аналог процессора 8080 со своей типовой маркировкой КР580ВМ80А, который создал Киевский НИИ микроприборов. В общей сложности было изготовлено несколько версий микропроцессоров, включая модели для военных объектов. За время своего существования микропроцессоры претерпели много изменений. Их изготовлением занимались самые разные компании.

1979 год стал временем жесткой конкуренции нескольких компаний. В это время появился микропроцессор Intel 8088. Он был аналогом 8086, но обладал важным отличии-

ем – восьмиразрядной шиной данных. Таким образом, устройство стало связующим элементом между 8- и 16-разрядными процессорами.

Развитие микропроцессоров не останавливается и сегодня. В настоящее время осталось только две компании, которые выпускают микропроцессоры для персональных компьютеров (ПК). Это Intel и AMD. Они стараются выпускать все более мощные процессоры, чтобы обойти конкурентов [9]. Сегодня пальму первенства все же удерживает Intel. После выпуска очень удачного варианта Intel Core второго поколения компании удастся быстро наращивать долю десктопного рынка (рынка настольных компьютеров). При этом AMD несколько отстает. Однако ситуация может в любой момент измениться. Появление микропроцессоров на рынке стало настоящим прорывом в области компьютерных технологий. С того момента было выпущено много моделей таких устройств. Однако их развитие не прекращается и сегодня.

Существенный прорыв по увеличению числа ядер произошел в 2022 году, когда процессоры AMD EPYC 3-го поколения с 64 ядрами обеспечили работу суперкомпьютера Frontier (OLCF-5). Это первый в мире сверхмасштабный суперкомпьютер с производительностью 1,1 эксафлопс ($1,1 \cdot 10^{18}$) операций с плавающей точкой в секунду, общее количество процессорных ядер составляет около 8,7 млн [8]. Он размещён в Национальной лаборатории Окриджа Министерства энергетики США и начал функционировать в 2022 году. В ноябре 2024 года Frontier смоделировал расширяющуюся Вселенную объёмом более 31 млрд кубических мегапарсек. Это крупнейший проект такого рода, который поможет учёным изучить природу тёмной материи и эволюцию Вселенной [8].

Расчет влияния ядер на производительность микропроцессора

Для подсчета максимальной производительности процессора нужно учитывать, что современные процессоры в каждом своём ядре содержат несколько микросхем, исполняющих потоки разного типа (в том числе и операции с плавающей точкой), работающих параллельно. Это позволяет выполнять более одной инструкции за такт, то есть

$$PR = cmf, \quad (1)$$

где PR – производительность; c – количество ядер в процессоре; m – количество потоков (тактов) за счет ядра; f – тактовая частота работы микросхемы.

Например, для процессора Эльбрус-16С, имеющего в своём составе 16 ядер, 32 потока, работающих на частоте 2 ГГц, теоретический предел производительности составляет

$$PR_{(Э-16С)} = 16 \cdot 32 \cdot 2 \text{ ГГц} = 1024 \text{ Гфлопс} = 1,024 \text{ Тфлопс}.$$

Такая же технология сохраняется и для других подобных микропроцессоров, а для больших компьютеров и даже суперкомпьютеров обязательно необходимо в расчетах производительности учитывать общее число серверов и микропроцессоров, входящих в структуру вычислительного средства.

Тенденции дальнейшего развития компьютерного ядра

Тенденции развития компьютерного ядра связаны с повышением производительности, энергоэффективности и адаптации к новым технологиям. Развиваются первоначально и активно аппаратные аспекты ядер процессоров. К ключевым тенденциям развития компьютерного ядра в первую очередь следует отнести следующие тенденции:

Компьютерное ядро как средство повышения производительности
компьютерной техники

1. Многоядерность и гетерогенные архитектуры.

Увеличение числа ядер на кристалле остаётся одним из основных путей повышения производительности. Современные процессоры включают как универсальные ядра, так и специализированные, что позволяет оптимизировать выполнение разных типов нагрузок. Например, в процессорах Intel последнего поколения используются P-cores (производительные ядра) и E-cores (эффективные ядра).

2. Использование языка Rust в ядрах операционной системы (ОС).

В 2025 году организация Linux сняла экспериментальный статус с Rust, и этот язык начал активно внедряться в драйверы, подсистемы и новые компоненты ядра.

3. Энергоэффективность.

Разрабатываются технологии для снижения энергопотребления.

4. Микроядра и гибридные архитектуры.

В монолитных ядрах внедряются элементы микроядерной архитектуры для улучшения изоляции компонентов и повышения безопасности

5. Поддержка контейнеризации и виртуализации.

Современные ядра активно развивают механизмы для эффективной работы с контейнерами и виртуальными машинами.

6. Специализированные ускорители.

Нейронные процессорные устройства (NPU), графические процессоры (GPU), тензорные ускорители (для матричных операций) и квантовые процессоры становятся неотъемлемой частью современных систем.

*7. Безопасность.**8. Модульность и динамическая загрузка компонентов.*

Современные ядра поддерживают динамическую загрузку и выгрузку модулей, что упрощает обновление и расширение функциональности без перезагрузки системы.

Заключение

В последнее десятилетие стали намечаться некоторые тренды и определенные тенденции дальнейшего развития теории и практики ядерных технологий.

В статье подробно рассмотрены основные этапы появления, значения и внедрения технологии ядра и потока в развитие средств вычислительного процесса. Значительно возросла роль и возможности ядерной технологии в повышении производительности электронных вычислительных машин (ЭВМ) широкого назначения.

В конце статьи коротко предложено обратить внимание читателей на тенденции дальнейшего развития не только компьютерного ядра, но и компьютерных технологий в целом.

Литература

1. Алиев И.Х. Программное моделирование явлений ядерных реакций на основе технологии создания множества данных с использованием системы алгоритмов на языке C++. Проект «Ядро-ЭВМ»: монография. Литрес, 2022. 99 с. ISBN: 9785005617781
2. Члиянц Г. Экскурс в историю создания ИС // Радиолюбитель. Ваш компьютер. 2000. № 12. С. 7.
3. Гук М., Юров В. Процессоры Pentium IV, Athlon и другие. Санкт-Петербург: Питер, 2001. 511 с. Серия: Анатомия ПК. ISBN: 5-318-00559-4

4. Лав Роберт. Разработка ядра Linux. (Linux Kernel Development). 2-е изд. Москва : Вильямс, 2006. С. 448. ISBN: 0-672-32720-1
5. Харис М., Харис С.А. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. 2-е изд., испр. Москва : Пресс, MIPS, 2018. 791 с. ISBN: 978-5-97060-570-7
6. Морс С.П., Алберт Д.Д. Архитектура микропроцессора 80286 = The 80286 architecture : пер. с англ. Москва : Радио и связь, 1990. 304 с. ISBN: 5-256-00466-2
7. Мэлоун М. The Intel. Как Роберт Нойс, Гордон Мур и Энди Гроув создали самую влиятельную компанию в мире. Москва : Эксмо, 2015. Серия: Top Business Awards.
8. Таненбаум Э.С., Остин Т. Архитектура компьютера. 6-е изд. Санкт-Петербург : Питер, 2025. 816 с. ISBN: 978-5-4461-1103-9
9. Тендлер Дж.М., Додсон Дж.С., Филдс-младший Дж.С., Х. Ле, Б. Синхарой Микроархитектура системы POWER4 // Журнал IBM по исследованиям и разработкам. 2002. № 46 (1). DOI: 10.1147/rd.461.0005
10. Теплюк П.А., Якунин А.Г. Выявление недостатков безопасности ядра Linux с применением фаззинга системных вызовов // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2024. № 2. С. 138–151.

References

1. Aliyev I.Kh. (2022) Software modeling of nuclear reaction phenomena based on dataset generation technology using C++ algorithms. "Nucleus-Computer" Project : Monograph. LitRes, 99 p. ISBN: 9785005617781 (In Russian).
2. Chliyants G. (2000) A look back at the history of IC creation. *Radiolyubitel. Vash kompyuter*. No. 12. P. 7. (In Russian).
3. Guk M., Yurov V. (2001) Pentium IV, Athlon, and other processors. St. Petersburg: Piter Publishing, 511 p. Series: PC Anatomy. ISBN: 5-318-00559-4 (In Russian).
4. Love Robert (2006) Linux Kernel Development. 2nd ed. Moscow: Williams Publishing, 448 p. ISBN: 0-672-32720-1 (In Russian).
5. Harris M., Harris S.L. (2018) Digital Design and Computer Architecture. 2nd ed., rev. Moscow: Press, MIPS Publishing, 791 p. ISBN: 978-5-97060-570-7 (In Russian).
6. Morse S.P., Albert D.J. (1990) The 80286 Architecture. Moscow: Radio i Svyaz' Publishing, 304 p. ISBN: 5-256-00466-2 (In Russian).
7. Malone M. The Intel. (2015) How Robert Noyce, Gordon Moore, and Andy Grove created the most influential company in the world. Moscow: Eksmo Publishing. Series: Top Business Awards.
8. Tanenbaum A.S., Austin T. (2025) Computer Architecture. 6th ed. St. Petersburg: Piter Publishing, 816 p. ISBN: 978-5-4461-1103-9 (In Russian).
9. Tendler J.M., Dodson J.S., Fields J.S. Jr., Le H., Sinharoy B. POWER4 System Microarchitecture. *IBM Journal of Research and Development*. No. 46 (1). DOI: 10.1147/rd.461.0005 (In Russian).
10. Teplyuk P.A., Yakunin A.G. (2024) Detecting Linux Kernel Security Vulnerabilities Using System Call Fuzzing. *Information Security Problems. Computer Systems*. No. 2. Pp. 138–151. (In Russian).

Поступила в редакцию: 10.07.2026

Поступила после рецензирования: 20.08.2026

Принята к публикации: 02.09.2026

Received: 10.07.2026

Revised: 20.08.2026

Accepted: 02.09.2026