

ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВМЕСТИМОГО МУЛЬТИРАЗЯДНОГО МИКРОПРОЦЕССОРА AMD64 ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

EVALUATE THE USE OF THE INTERNAL
CAPABILITIES OF A COMPATIBLE AMD64
MULTI-BIT MICROPROCESSOR TO
COUNTER IONIZING RADIATION

D. Prikhodko

Summary. As part of the article, the author considers the analysis of the use of a multi-bit microprocessor, which is operated in extreme environmental conditions, such as space conditions. At the same time, for analysis, the simplest technical characteristics, such as the number of transistors, crystal area and technological process, are selected as characteristics.

Keywords: multi-bit microprocessor, evaluation calculation of multi-bit microprocessor.

Приходько Дмитрий Игоревич

*Магистр, инженер вычислительных и электронно-вычислительных машин, Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, г. Москва
mitry1205@mail.ru*

Аннотация. В рамках статьи автором рассматривается анализ использования мультиразрядного микропроцессора, который эксплуатируется в экстремальных условиях окружающей среды, таких как космические условия. При этом для анализа в качестве характеристик выбраны самые простые технические характеристики, такие как количество транзисторов, площадь кристалла и технологический процесс.

Ключевые слова: мультиразрядный микропроцессор, оценочный расчёт мультиразрядного микропроцессора.

Введение

Современные вычислительные системы, представляя собой серьезный набор технических и программных средств. При этом многие отрасли народного хозяйства сложно представить без разработанных информационных систем. [1] Они используются в современном обществе, начиная с цифровых средств образования (электронное учебное пособие, различные электронные книги, энциклопедии, Интернет ...), и заканчивая современными системами автоматического проектирования для программных средств, и практически полной автоматизации производства для аппаратных средств.

Тем не менее, одной из актуальных проблем вычислительной техники является её надёжность. [2] Причем наиболее остро этот вопрос возникает для ситуации, когда вычислительная система создается для эксплуатации не в стандартных условиях, которые знакомы большинству пользователей, а для экстремальных условий окружающей среды, к которым можно отнести, например, ионизирующее излучение в космических условиях.

В качестве одного из возможных решений является использование мультиразрядных микропроцессоров. Однако, при этом возникает технологические вопросы, связанные с оценками такого подхода.

Целью статьи является описание методики оценки изменения данных параметров с построением простейшего расчёта в программе matlab для совместимой с AMD64 [3] моделью.

Методология

Не смотря на распространенность, современные вычислительные системы имеют различную структуру построения, опирающуюся на микропроцессор, которые принадлежат к различным классам. При этом понятия микроконтроллер и микропроцессор в настоящее время уже не различимо с точки зрения моделей вычислительной техники. Обычно под микроконтроллером понимают предыдущее поколение микропроцессоров. Так, например, многие контроллеры обладает синтаксисом, совместимым с i8085 и i8086, которые в свое время были носителями целого поколения операционных систем [4].



Рис. 1. Краткая структура работы табличного регистра для микропроцессора выбранной архитектуры.

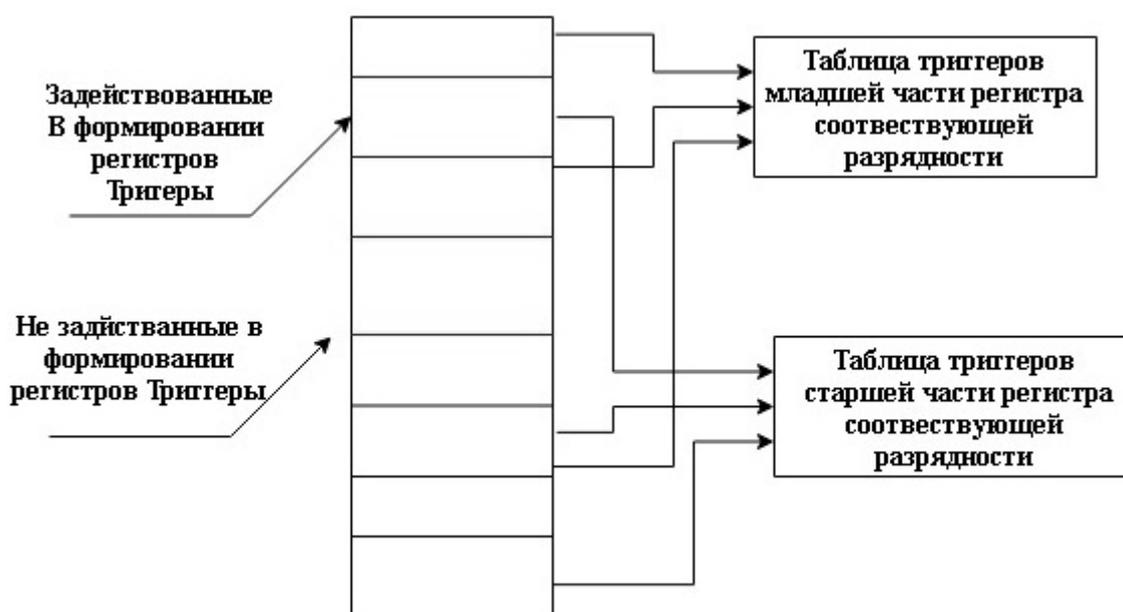


Рис. 2. Табличная структура регистра в разрезе триггеров, физическое расположение которых выбрано случайным образом.

Воздействие ионизирующего излучения на вычислительную технику можно отобразить следующим образом:

1. Сначала идет постепенный вывод аппаратной части из строя.
2. Аппаратные повреждения элементов вычислительной системы приводят к накоплению программных ошибок в вычислительных системах.
3. При накоплении критической массы ошибок идет программный выход из строя, который в обычных случаях невозможно исправить.

Например, при повреждении микропроцессоров ионизирующее излучение воздействует на него с различных сторон, причем характер воздействия может быть нескольких видов:

1. Удачный. Под удачным подразумевается то, что повреждения микропроцессора не позволяют использовать все возможности, однако имеется возможность использовать младшие режимы микропроцессора. Например, для AMD64 или эмулятора AMD архитектуры в Эльбрусе возможно использовать не режим AMD64, а режим IA-32.
2. Проблемный. Под проблемным режимом можно назвать то, что излучение попало случайно, но не так удачно, как хотелось бы — без использования специальных механизмов невозможно перестроить регистры и как следствие не возможен запуск на младшем режиме работы.
3. Ужасный. Использовать микропроцессор нельзя — повреждена как младшая, так и старшая части регистра.

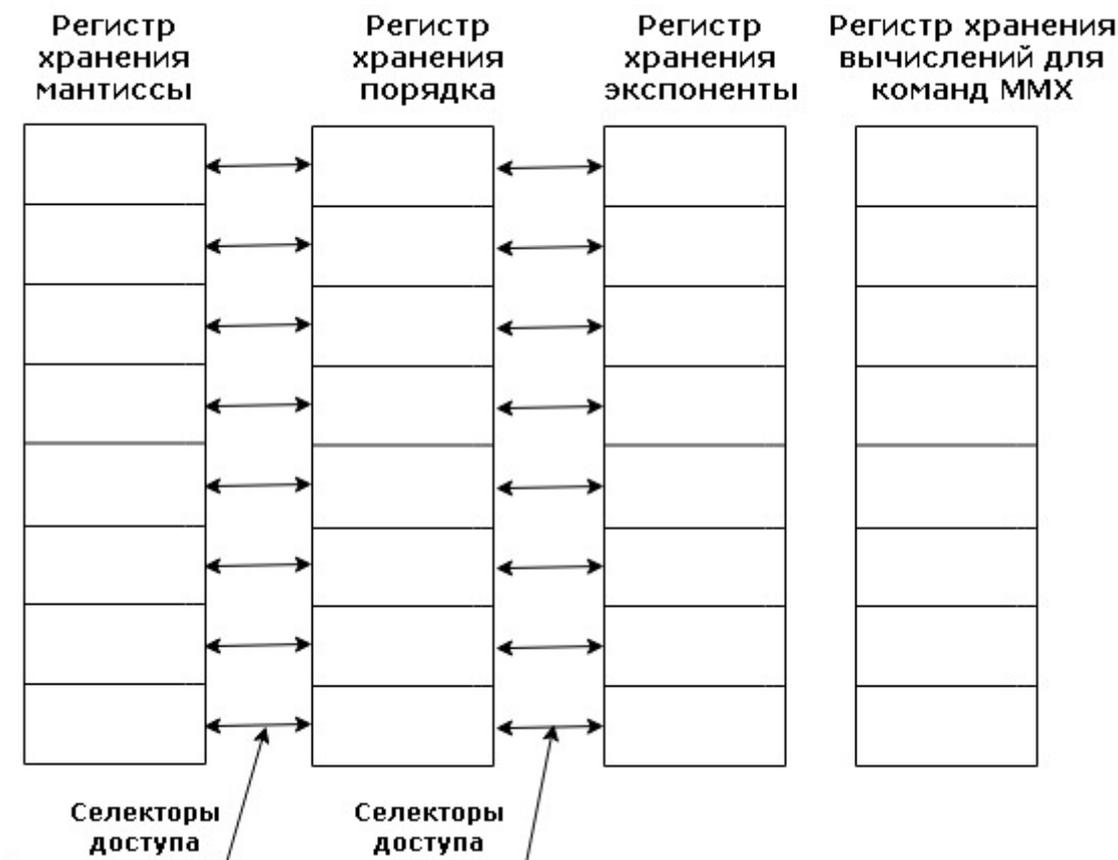


Рис. 3. Структура регистров сопроцессора на новой архитектуре.

Из этого списка наиболее устраивающий пользователей аппаратуры, вариант первый. Для того, чтобы добиться этого варианта, необходимо выполнить пере-строение внутренних механизмов микропроцессоров:

Табличная структуры работы с регистрами. Эта структура позволяет организовать логическое построение регистра, т.е. когда у нас каждый триггер в регистре помечен некоторым внутренним номером. А сам регистр представлен таблицей, в которой физический адрес и логический номер однозначно увязаны с собой. Структурная схема работы представлена на рис. 1.

Систему резервных триггеров. Этот механизм позволяет сохранять значения из основных триггеров регистра, и через логическую адресацию — восстанавливать записанное значение в регистре.

Специфическая структура работы регистров сопроцессора. Она нужна для упрощения работы с числами IEEE-754, и позволяет упростить схему смены режима адресации при использовании в мультиразрядном микропроцессора. Краткая схема представлена на рис. 3.

Однако, добавление рассмотренных специфических механизмов ведет к изменению характеристик микропроцессора. В частности, наиболее очевидными к изменениям относятся следующие характеристики:

1. Меняется технологический процесс микропроцесса. Формально по своим возможностям происходит технологический откат по числу транзисторов.
2. Меняется аппаратная размерность регистра (число триггеров на регистр).
3. Меняется число транзисторов, которое необходимо для работы на каждом режиме работы.

Результаты

Как уже было описано в методологии, для построения имеющихся расчётов необходимо описать формулы расчётов и выбрать схематичные механизмы для решения этой задачи.

Для расчёта числа задействованных транзисторов, можно использовать следующий принцип: число транзисторов пропорционально отношению регистров, которые используются на каждом режиме работы микро-

Таблица 1. Сравнение моделей процессоров с разрядностью 32 и 64 бита

Показатель	Athlon 64	Pentium 4 Prescott	Athlon K7	Intel Pentium 4 Northwood
Частота, ГГц	2,2	2	2,2	1,6–3,4
Разрядность	64	64	32	32
Число транзисторов, млн	105,9	125	37,5	55

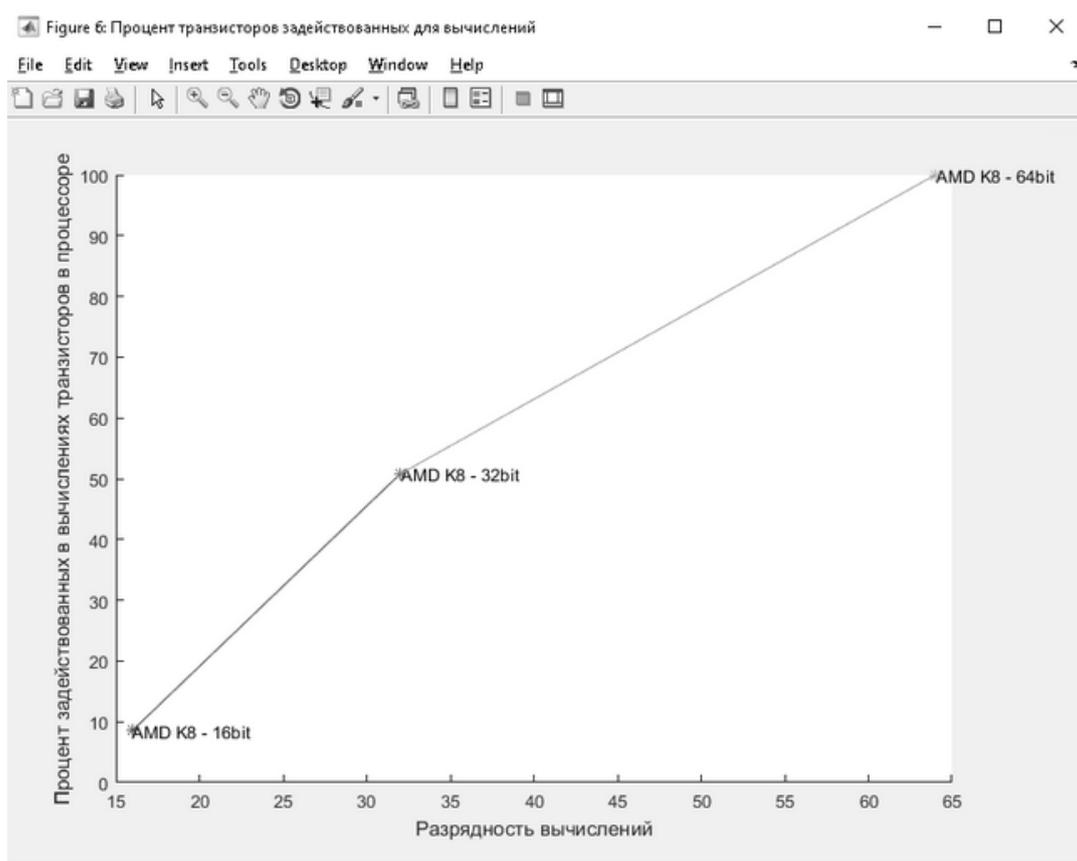


Рис. 4. Процент задействованных транзисторов в различных режимах работы на архитектуре AMD k8

процессора. Такая пропорция связана с тем, что, хотя и микропроцессоры могут быть и совместимы с i8086 в реальном режиме работы, тем не менее возможности существенно шире, чем даже для микропроцессора i80286.

Поэтому для расчётов транзисторов в микропроцессоре [6] можно использовать специальные формулы, которые изображены на формула 1 и формула 2.

$$P_{TR} = N_{reg} / N_{CPU} \tag{1}$$

$$S_{kaskd} = S_{CPU} / N_{CPU} \tag{2}$$

$$V_{CPU_ANALOG} = V_{CPU} / (1 - N_{rez} / N_{CPU}) \tag{3}$$

Формула 1. Упрощенные формулы расчета данных по процессорам

$$P_{TR} = N_{reg} / N_{CPU} * N_{zad_yad} / N_{zad_cpy} \tag{1}$$

$$S_{kaskd} = S_{CPU} / N_{CPU} * N_{zad_yad} / N_{zad_cpy} \tag{2}$$

$$V_{CPU_ANALOG} = V_{CPU} / (1 - N_{rez} / N_{CPU} * N_{zad_yad} / N_{zad_cpy}) \tag{3}$$

Формула 2. Расширенный вариант формул.

Отличие Формула 1 от Формула 2 в том, что последние формулы учитывают наличия нескольких ядер в микропроцессорах, например в модели [5] их целых 64.

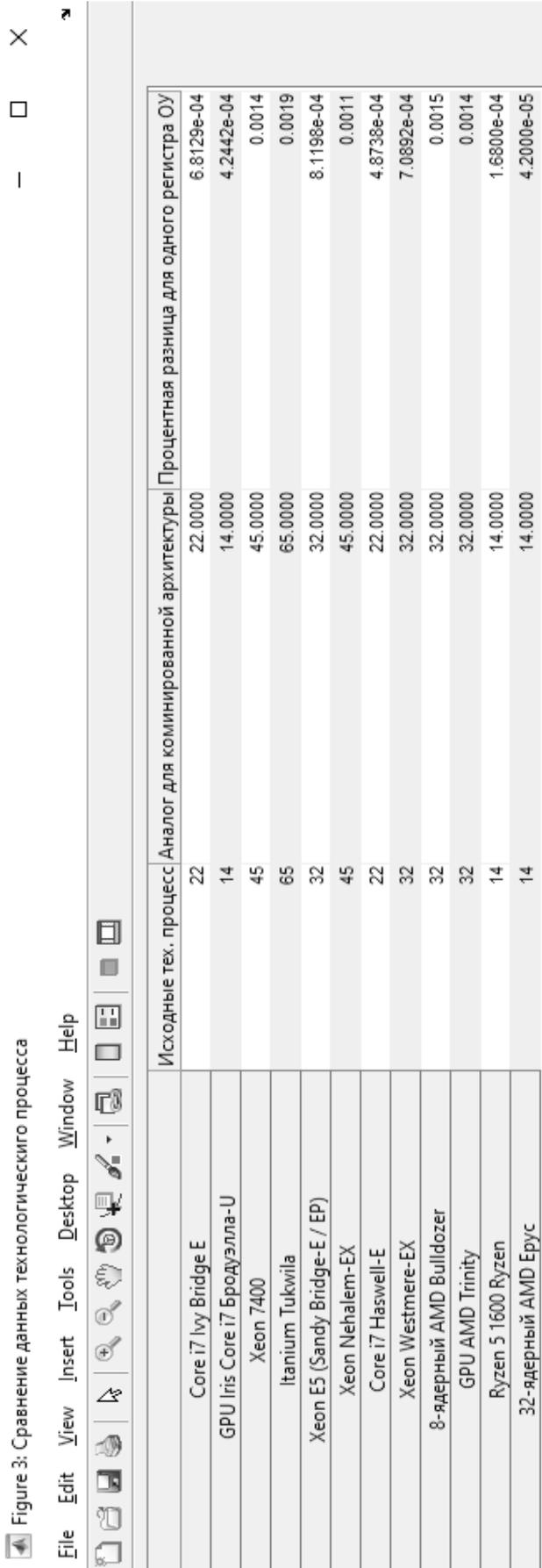


Figure 3: Сравнение данных технологического процесса

Рис. 6. Скриншот табличного результата, построенного при помощи программы Matlab 2015b

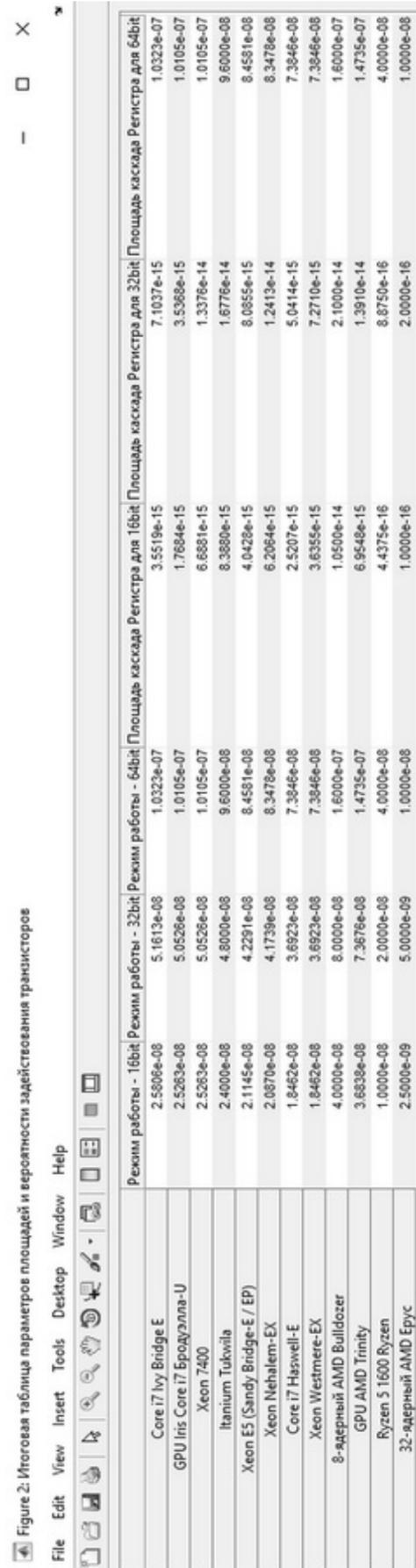


Figure 2: Итоговая таблица параметров площадей и вероятности задействования транзисторов

Рис. 7. Скриншот сравнительно анализа на предмет увеличения площадей при внедрении механизма резервной копии для одного регистра.

Для примера рассмотрим следующие модели микропроцессоров, характеристики которых показаны в таблице 1.

Для семейства AMD выполним следующий расчет: сначала определим отношения Athlon K7 (модель IA-32), и модель Athlon 64 (первая версия AMD64) по транзисторам и затем по регистрам.

Получим:

1. ОЧТ в ядре ЦПУ = $37,5/105,9 = 0,3541$;
2. ОЧТ в регистрах ЦПУ = $(13*32)/(19*64) = 0,3421$.

В результате разность составит: $0,3541 - 0,3421 = 0,012$. Это отличный результат.

Для семейства Intel.

1. ОЧТ в ядре ЦПУ = $55/125 = 0,44$;
2. ОЧТ в регистрах ЦПУ = $(13*32)/(19*64) = 0,3421$.

В результате разность составит: ОЧТ: $0,44 - 0,3421 = 0,0989$.

К этому результату необходимо добавить следующее примечание: разброс у микропроцессоров для Intel связан с тем, что внедрялись очень большие изменения в каждую из моделей, в том числе и кэш память.

Поэтому график использования транзисторов для каждого из режимов для микропроцессора AMD64 может быть построен следующим образом (см. Рис. 4).

Таким образом, получается, что введенной оценки доли задействованного микропроцессора для нескольких режимах является практически применимой. Однако все-таки желательно дополнительно учитывать и внутренние триггеры в микропроцессоре, которые хранят внутренние значения.

Возникает вопрос, а каким образом поведут себя более умные микропроцессоры, которые относятся к последним поколениям. Для построения графиков выберем следующие микропроцессоры с техническими характеристиками (см. Таблица 2).

Для более умных микропроцессоров, которые сойдутся в Таблица 2, результаты расчёты по на Рис. 5.

Результат построения такого графика изображён на Рис. 5 и Рис. 6 и Рис. 7.

Для расчёта остальных величин воспользуемся следующим алгоритмом:

1. Для вычисления технологического процесса — добавляем к одному регистру резервные три-

ггеры и затем считаем аналогичный технологический процесс (текущей процесс умножаем на отношения транзисторов и затем находим разность).

2. Анализ площадей строиться в оценке того, насколько при внедренном одном регистре будет изменение размерности самого кристалла. Алгоритм расчёта будет аналогичным предыдущему пункту, но в качестве множителя наступает площадь поверхности.

Полученные результаты продемонстрированы на Рис. 6 и Рис. 7.

Таким образом с точки зрения современного микропроцессора в целом больших изменений при внедрении изменений для одного регистра не обнаружено. Для изменений по всем регистрам пропорции увеличатся до некоторой величины.

Обсуждение

Большинство работ, которые посвящены космическим исследованиям, в основном описывают улучшения вычислительных систем, с помощью механизмов дублирования поврежденного функционала. Автором Зебревым был рассмотрен вопрос воздействия излучением на интегральные микросхемы [7], а Лаговым в диссертации также были рассмотрены ионизирующие эффекты в микропроцессоре с точки зрения внутренней структуры, но, тем не менее, архитектура не была предложена.

Поэтому, основываясь на результатах программы matlab, выведенных в рамках Рис. 6 и Рис. 7, можно сделать вывод: модификация одного регистра существующего процессора на новый механизм с добавлением триггеров для хранения одной или нескольких резервных копий значений, не меняет технологический процесс у выбранного модели, так как соотношения исходной и модифицированной архитектуры меньше сотых долей нанометров.

Поэтому при внедрении в микропроцессор защитных механизмов позволяет повысить устойчивость к ионизирующему излучению за счет незначительного увеличения числа дополнительных компонентов, количественные характеристики которых не слишком влияют на размерность микропроцессора.

Заключение

В статье были рассмотрены простейший математический расчёт на основе, выбранных простейших показателей, как число транзисторов для каждого режима, ис-

пользуемая площадь на каждом из режимов для одного регистра позволяют сделать вывод: в общем виде с точки зрения размерностей микропроцессора изменений существенных не предвидится.

Оценки показывают, что механизмы мультиразрядных микропроцессоров обеспечивают наилучшим образом необходимую надежность в экстремальных условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босова Л.Л., Босова А.Ю. «Информатика. Базовый уровень». Учебник для 10 класса. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2017. — 288 с.
2. Зыков А.Г., Поляков В.И. Арифметические основы ЭВМ. — СПб: Университет ИТМО, 2016. — 140 с.
3. AMD x86–64 Architecture Programmer's Manual.: Application Programming. URL: <http://support.amd.com/TechDocs/24592.pdf>. (дата обращения 13.11.2022)
4. Инюшкина О.Г. Проектирование информационных систем (на примере методов структурного системного анализа): учебное пособие, Екатеринбург: «Форт-Диалог Исеть», 2014. 240 с.
5. AMD EPYC™ 7763 | AMD. <https://www.amd.com/ru/products/cpu/amd-epyc-7763#product-specs>. (дата обращения 13.11.2022)
6. Приходько Д.И. Разработка и оптимизация методов эксплуатации информационных систем как этапа их жизненного цикла с учетом воздействия агрессивной внешней среды: дис. магистерская: 01.04.02 — РГУ им. А.Н. Косыгина, Москва, 2021–204 с.
7. Зебрев Г.И. Монография. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах высокой степени интеграции, 2010

© Приходько Дмитрий Игоревич (mitry1205@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Российская академия наук