

ОБЗОР СТРУКТУРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЙ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Д.И. ПРИХОДЬКО¹, магистр, А.В. МОКРЯКОВ^{2,3}, канд. физ.-мат. наук,
В.В. ГОРШКОВ³, д-р техн. наук

¹ФНЦ Научно-исследовательский институт системных исследований РАН
117218, Москва, Нахимовский просп., 36, к. 1, e-mail: mitry1205@mail.ru

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
125993, Москва, Волоколамское ш., 4, e-mail: ali.latex@gmail.com

³Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)

119071, Москва, ул. Малая Калужская, 1, e-mail: gorshkov-vv@rguk.ru

© Приходько Д.И., Мокряков А.В., Горшков В.В., 2023

В статье рассмотрено современное представление вычислительных систем в системном анализе. Авторами проведены дополнительная внутренняя систематизация и классификация защитных механизмов вычислительной системы, предназначенной для эксплуатации в космических условиях. На основе приведенной классификации защитных механизмов была построена расширенная структура вычислительной системы.

Ключевые слова: структура вычислительной системы, экстремальные условия окружающей среды.

DOI: 10.46573/2658-5030-2023-3-96-103

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существующий системный подход позволил достигнуть высот в различных отраслях науки и техники. Современные вычислительные системы прошли путь от научно-исследовательских инструментов до современной портативной техники. При этом повышалось качество ее обслуживания и мощность использования. В результате эволюционировало и понятие системного подхода и анализа как категории работы различных систем, что привело к значительному усовершенствованию теории систем, которая позволила многим отраслям развиваться в рамках концепции системного подхода. В процессе возрастания мощности вычислительных систем стал существенно расширяться перечень задач, решаемых данными системами, и в настоящее время вычислительные системы используются в том числе и для выполнения космических исследований (как автономно на различных зондах, так и на орбитальных станциях, например МКС).

Тем не менее эксплуатация вычислительных систем в космических условиях подразумевает применение специфических механизмов и методов для обеспечения работоспособности. Целью статьи является построение расширенной структуры вычислительной системы, эксплуатирующейся в космических условиях.

МЕТОДОЛОГИЯ

Вычислительные системы, которые созданы для решения задач в экстремальных условиях окружающей среды, имеют внутренние особенности [1]. Например, микропроцессоры (МПС), устанавливаемые в них, предполагают наличие специальных

дополнительных механизмов. В частности, для вычислительных систем, эксплуатируемых в космических условиях, используют специализированные защитные механизмы, суть которых заключается в том, чтобы предотвратить воздействие агрессивной окружающей среды на функциональную часть системы.

Простейшая структура взаимодействия систем с окружающей средой показана на рис. 1.

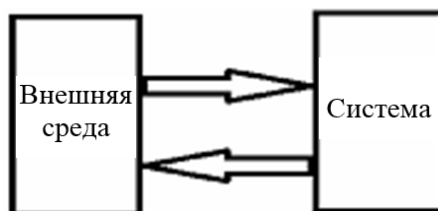


Рис. 1. Общая структура взаимодействия системы с внешней средой

Приведенная структура (см. рис. 1) является универсальной. Тем не менее основная проблема эксплуатации вычислительных систем состоит в том, что существует довольно обширный перечень задач, в которых необходимо разделять внутреннее устройство системы на составляющие, т.е. на механизмы, обеспечивающие защиту вычислительной системы от воздействия внешней среды, и механизмы, осуществляющие полезную работу. Например, корпус ноутбука защищает материнскую плату от попадания пыли и влаги, а материнская плата обеспечивает взаимодействие МПС с оперативной памятью, монитором и т.д.

Таким образом, защитные механизмы являются самыми уязвимыми компонентами вычислительных систем, поскольку корректируют рабочие условия для функционала и обеспечивают защиту от внешних изменений. Структуру взаимодействия вычислительной системы можно представить в виде набора компонентов [2, 3]:

1. Внешние условия – это среда, в которой функционирует система. Условия бывают стабильными и нестабильными.

2. Система. Делится на следующие составляющие:
адаптивные механизмы и защитные – компенсируют воздействие окружающей среды на рабочий функционал самой системы;
рабочий функционал – часть системы, которая отвечает за работоспособность и решение задач с требуемыми точностью и качеством.

Описанные выше компоненты можно представить в виде структурной схемы (рис. 2).

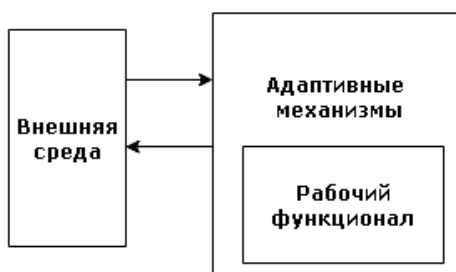


Рис. 2. Структурная схема вычислительной системы с разделением функциональной и адаптивной частей

В качестве примера использования схемы (см. рис. 2) можно указать процесс запуска операционной системы Android в виртуальной машине VirtualBox под Windows. Взаимодействие Android с Windows имеет свои особенности:

1. Внешней средой для Android выступает система Windows, обеспечивающая доступ виртуальной ОС к аппаратным функциям. Однако прямого доступа у Android к аппаратным ресурсам нет, так как Windows непосредственно контролирует аппаратное обеспечение. Чтобы получить доступ, нужно использовать вспомогательное решение – виртуальную машину.

2. Виртуальная машина VirtualBox является адаптивным механизмом получения доступа к ресурсам Windows из Android.

3. Функциональной частью является сама система Android, которую желает запустить пользователь.

Данный пример является простейшим, однако именно он показывает, что расширение изначальных возможностей по эксплуатации вычислительной системы (Android запускается на ноутбуке как самостоятельная система) возможно не только за счет улучшения функциональной части. При этом расширение эксплуатационных возможностей вычислительной системы неизбежно ведет к изменениям надежности [4]. Для вычислительных систем изменение функциональной части системы – процесс достаточно затратный, поэтому в рамках статьи построение детализированной структуры вычислительной системы целесообразно только с точки зрения систематизации и анализа защитных механизмов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При рассмотрении авторской концепции проектирования вычислительной системы необходимо отметить, что механизмы, предназначенные для защиты функциональной части, могут быть сгруппированы в подсистемы:

- 1) работы непосредственно с окружающей средой;
- 2) обработки часто возникающих отказов системы;
- 3) альтернативной остановки работы устройства;
- 4) управления работой адаптивных механизмов.

Если учитывать особенности построения вычислительных систем и особенностей условий эксплуатации, то одна часть представленных выше групп защитных механизмов может отсутствовать, а другая – присутствовать не полностью. Например, при анализе защитных механизмов в вычислительных системах, использующихся в сфере информационных технологий [5], набор защитных механизмов для большинства систем может выглядеть следующим образом:

1. Функционал защиты от перегрева различных микросхем. Важнейший механизм с различными функциями. Например, в ноутбуках при слишком сильном тепловыделении идет отключение всего устройства.

2. Функционал защиты от попадания грязи и от других внешних факторов. Это корпус устройства. Предназначение – защита вычислительной техники от грязи, излучения и прочих внешних агрессивных факторов.

3. Индикаторная функция. Данный функционал относится к категории диагностических средств. Индикаторная функция необходима с точки зрения анализа работоспособности компонентов, а также выявления ошибок.

4. Функция хранения и резервирования данных. Является специфической, представляет собой использование не только жесткого диска, но и системы RAID-массива (массива независимых дисков) для защиты данных, хранящихся на жестком диске, от потери. У современных пользователей эта функция выполняется с помощью внешних накопителей: флешек, съемных жестких дисков, оптических дисков.

5. Функция дублирования компонентов. Подразумевает наличие дублирующих компонентов вычислительной системы. В частности, это дополнительный МПС, включенный параллельно, видеокарта. Кроме того, данная функция реализована в RAID-технологии сохранения данных, однако самым ярким представителем является технология Hot Swar (технология горячей замены), позволяющая менять компоненты внутри системного блока без отключения питания. Используется в первую очередь на серверах.

Таким образом, структура вычислительной системы (см. рис. 2), дополненная детализацией адаптивных механизмов [6], преобразуется в структурную схему (рис. 3).

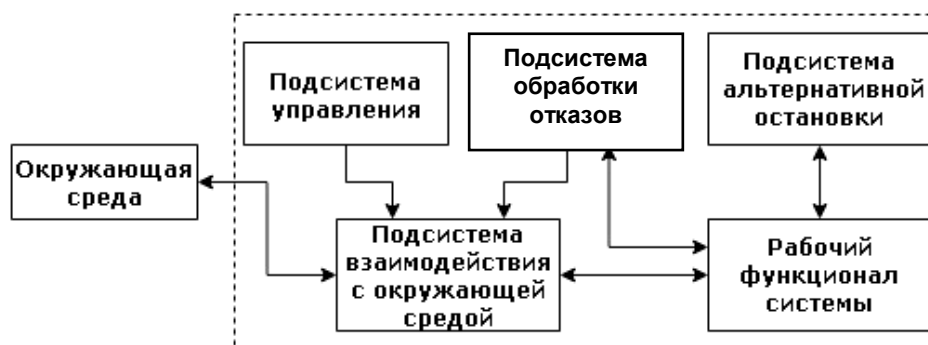


Рис. 3. Структура вычислительной системы, предназначенной для эксплуатации в экстремальных условиях окружающей среды, с учетом детализации адаптивных механизмов

Согласно представленной на рис. 3 структуре, состав вычислительной системы состоит из следующих компонентов:

1. Окружающей среды – внешних условий, в которых эксплуатируется вычислительная система. Принимаются за постоянные факторы воздействия.
2. Рабочего функционала системы – технических возможностей вычислительной системы.
3. Подсистемы взаимодействия с окружающей средой – непосредственной части адаптивных механизмов, взаимодействующая с окружающей средой.
4. Подсистемы управления.
5. Подсистемы обработки отказов.
6. Подсистемы альтернативной остановки.

В указанном списке пункты 1 и 2 являются стандартными. Они определяются в момент составления технического задания на разработку вычислительной системы, поэтому в рамках настоящей статьи разбираться не будут. Назначение оставшихся четырех компонентов, наоборот, будет рассмотрено, поскольку они являются составляющими адаптивных механизмов.

Таким образом, состав адаптивных механизмов включает следующие подсистемы:

1. Взаимодействия с окружающей средой.
2. Управления.
3. Обработки отказов.
4. Альтернативной остановки.

Подсистема взаимодействия с окружающей средой. Единственной задачей является обработка сигналов, поступающих из окружающей среды [7]. К сигналам можно отнести изменения влажности, радиоизлучение, подъем ветра, изменение уровня шума.

Детальный анализ функций подсистемы является избыточным. Рассмотрим стандартные возможности в контексте вычислительной системы остальных блоков.

Подсистема управления. Предназначена для управления защитными механизмами. Ее стандартный функционал – обеспечить эффективную работу защитных механизмов с учетом внешних окружающих факторов. Это достигается путем:

управления работой системы при смене условий внешней среды;

управления простейшими отказами системы. Для этого вызывается отдельная подсистема;

осуществления функции запасного управления. Это дает минимальную гарантию в случае утраты возможности управлять системой (такие случаи часто возникают при чрезвычайных ситуациях). Следует отметить, что в данном случае, как правило, используется функция аварийной остановки;

вызова экстренной остановки вычислительной системы. Это дополнительная функция.

Подсистема обработки отказов. Основное назначение – первичная диагностика и исправление ошибок. Иными словами, функционал этой подсистемы целиком зависит от доли повреждения внутренних компонентов системы. Для обработки отказов подсистема использует механизмы:

переключения между дублирующими частями системы. Способ используется при полном выходе из строя (в процессе работы) системы соответствующего элемента, который отвечает за выполнение системных задач;

отключения поврежденных элементов системы. Осуществляется при неисправности элемента, когда его дальнейшая работа вредит системе;

обмена данными с подсистемой управления. Координирует действия системы управления на основе имеющихся данных;

передачи аварийного сигнала в подсистему альтернативной остановки.

Подсистема альтернативной остановки. Предназначена для экстренных случаев, когда вычислительную систему необходимо срочно остановить. Например, при перегреве вычислительной системы (ноутбука) аппаратная операционная система (BIOS или UEFI) отключает питание [8]. Такие возможности имеются не во всех вычислительных системах, однако в большинстве случаев они есть в ядерных установках или космических аппаратах. Основные функции данного блока:

1) выполнять остановку системы в условиях, когда повреждено внешнее управление. Функция исключает потерю контроля (недопустимую независимо от степени повреждения) в работе вычислительной системы;

2) останавливать систему при критических нарушениях блока, отвечающего за взаимодействие вычислительной системы с окружающей средой. При этом дальнейшая работа системы, как правило, невозможна, следовательно, ее проще остановить, так как в противном случае будет потеряно управление и может произойти катастрофа;

3) останавливать систему по команде от подсистемы управления;

4) останавливать систему при отказе работы подсистемы обработки отказов. Когда подсистема обработки отказов перестает работать, это означает, что у вычислительной системы остался минимальный запас прочности, так что отключение всей вычислительной системы позволит сохранить техническую работоспособность. Данная функция используется не везде, а в некоторых случаях и вовсе не используется. Например, для необитаемых спутников указанная функция не требуется, так как проводить ремонт некому;

5) осуществлять дублирование механизмов остановки, реализованных в функциональной части (резервный механизм для остановки системы).

Данная подсистема отличается максимальным быстродействием в сравнении с остальными, поскольку является критическим ресурсом для предотвращения технических неустранимых отказов.

Таким образом, были рассмотрены и классифицированы основные элементы адаптивной части вычислительной системы, а также предложена классификация технического обслуживания вычислительной системы с учетом классификации вычислительной системы.

ОБСУЖДЕНИЕ

В работах по системному анализу рассматривались различные аспекты внутреннего устройства систем и концепции их построения. Однако структуру вычислительных систем, при помощи которой можно было бы описать набор требований, не изучали. Например, в работе [9] показано использование автоматической обработки отказов и системы автоматического обслуживания, однако отсутствует структурирование внутренних механизмов как абстрактной категории.

В исследованиях [10, 11] был рассмотрен методологический подход к сигналам с точки зрения системного анализа, однако техническое обслуживание в качестве системной категории не приведено, также не классифицированы в общем виде внутренние механизмы защиты вычислительной системы.

Необходимость рассмотрения расширенной структуры вычислительной системы (рис. 3) связана в первую очередь с особенностями космического пространства. В нем активно распространяется ионизирующее излучение, воздействие которого приводит сначала к небольшим повреждениям, а затем к неустранимому отказу аппаратной части системы. Ионизирующее излучение, воздействующее на центральную часть МПС AMD64, схематически изображено на рис. 4.

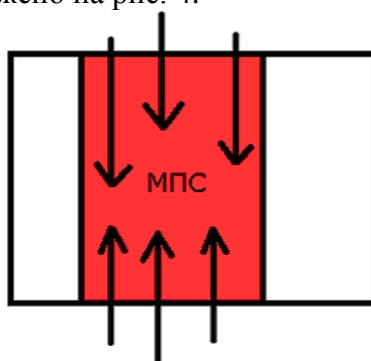


Рис. 4. Схема воздействия излучения на МПС

Для реализации защиты МПС от излучения необходимо использовать защиту не функциональную (так как полупроводниковые приборы более подвержены воздействию излучения, чем их предшественники – электровакуумные приборы), а через адаптивные механизмы.

Если брать во внимание общую классификацию, такими механизмами могут быть:

1. Дополнительный внешний корпус – подсистема взаимодействия с окружающей средой.
2. Датчик аварийного отключения при перегреве – подсистема аварийной остановки.
3. Элементы внутренней диагностики – подсистема обработки отказов.

4. Управляющая подсистема с набором МПС на материнской плате – подсистема управления.

Таким образом, данная структура подразумевает, что космическая техника требует иных стандартов при разработке (как элементной базы, так и методологии проектирования). Расширенная структура вычислительных систем может помочь при разработке методологии и определении стандартов для эксплуатации в экстремальных условиях окружающей среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная структура вычислительных систем дает возможность определить особенности проектирования отдельных элементов. Например, при проектировании вычислительных систем для пользователей, которым нужен простой стационарный компьютер, достаточно использовать обычные внутренние механизмы в виде корпуса, радиатора или водяного охлаждения, а также стандартный функционал, характеризующийся набором программного обеспечения, необходимого конкретному пользователю (с учетом его бюджета).

При разработке систем, которые должны эксплуатироваться на ТЭЦ, необходимо предусмотреть особую защиту от попадания пыли и грязи на вычислительную технику, а в ситуации, когда идет разработка вычислительной системы для космической отрасли, на первом месте должны стоять механизмы управления и обработки отказов, подсистема восстановления и т.д.

Таким образом, использование детализированной структуры вычислительной системы позволяет улучшить методологию проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. СПб.: Питер. 2013. 843 с.
2. Мокряков А.В., Приходько Д.И. Общие концепции и идеи теории эксплуатации в контексте вычислительной техники // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки»*. 2020. № 12. С. 88–92.
3. Мокряков А.В., Приходько Д.И. Критерии анализа эксплуатационных характеристик первичных мультизагрузчиков // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки»*. 2020. № 12. С. 93–96.
4. Романова Ю.Д. Информатика и информационные технологии. М.: Эксмо. 2009. 320 с.
5. Липаев В.В. Системное проектирование сложных программных средств для информационных систем. М.: Синтег. 2002. 268 с.
6. Приходько Д.И. Разработка и оптимизация методов эксплуатации информационных систем как этапа их жизненного цикла с учетом воздействия агрессивной внешней среды. Дисс... магистерская. Москва. 2021. 204 с.
7. Липаев В.В. Процессы и стандарты жизненного цикла сложных программных средств. Справочник. М.: Синтег. 2006. 276 с.
8. Вирт Н., Гуткнехт Ю. Разработка операционной системы и компилятора. Проект Оберон. М.: ДМК Пресс. 2017. 560 с.
9. Амбарцумян А.А., Хадеев А.С. Анализ функциональности систем управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования // *Проблемы управления*. 2005. № 6. С. 2–12.
10. Цветков В.Я. Теория систем. М.: МАКС Пресс. 2018. 87 с.

11. Цветков В.Я. Системный анализ при обработке информации. М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2014. 92 с.

Для цитирования: Приходько Д.И., Мокряков А.В., Горшков В.В. Обзор структуры вычислительной системы, предназначенной для эксплуатации в экстремальных условиях окружающей среды // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2023. № 3 (19). С. 96–103.

EXPANDED INTERNAL STRUCTURE OF COMPUTER SYSTEM INTENDED FOR OPERATION IN EXTREME ENVIRONMENTAL CONDITIONS

D.I. PRIKHODKO¹, Master, A.V. MOKRYAKOV^{2,3}, Cand. Sc.,
V.V. GORSHKOV³, Dr. Sc.

¹FSC Research Institute for System Research RAS
bld. 1, 36, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117218, Russian Federation,
e-mail: mitry1205@mail.ru

²Moscow Aviation Institute (National Research University)
4, Volokolamskoe Hwy., Moscow, 125993, Russian Federation, e-mail: ali.latex@gmail.com

³Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art)
1, st. Malaya Kaluzhskaya, Moscow, 119071, Russian Federation,
e-mail: gorshkov-vv@rguk.ru

The article discusses the issue of a detailed representation of the mechanisms of a computer system from the point of view of a system approach, which as a result allows you to determine the necessary criteria and a set of regulations for the development and operation of computer systems. Maintenance structure is considered for proposed structure of computer system.

Keywords: structure of the computer system, extreme environmental conditions.

Поступила в редакцию/received: 10.01.2023; после рецензирования/revised: 31.01.2023;
принята/accepted: 06.02.2023