

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Факультет радиотехники и кибернетики

Кафедра информатики и вычислительной техники

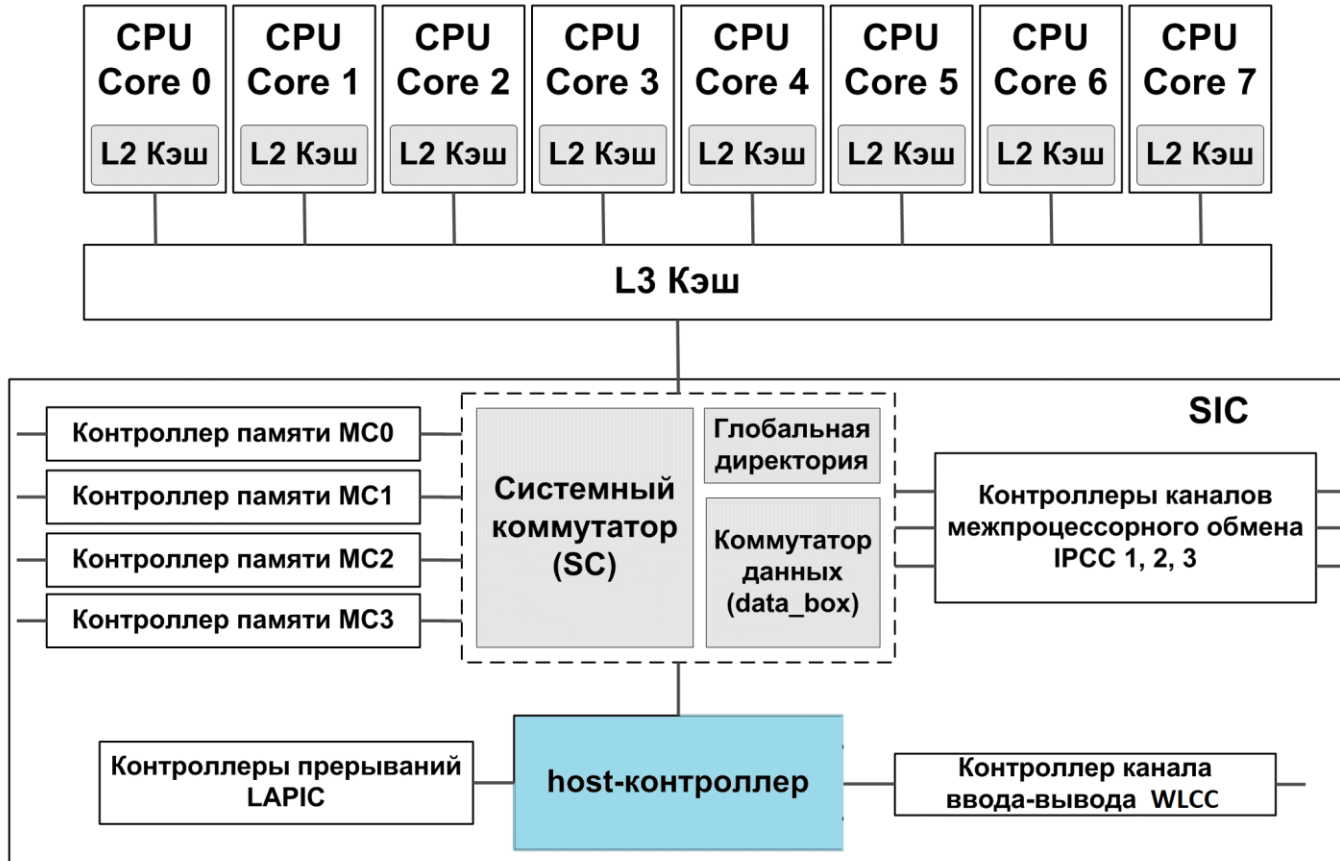
**Магистерская диссертация**

**Поддержка операций ввода-вывода  
в ссNUMA-системах семейства «Эльбрус»**

Выполнил: Перов Д.Ю., ФРТК, 816 гр.

Научный руководитель: к.т.н. Груздов Ф.А.

# Микропроцессор «Эльбрус-4С+»



- 8 процессорных ядер общего назначения архитектуры «Эльбрус»
- Общий кэш третьего уровня
- 3 контроллера межпроцессорных линков
- Контроллер канала ввода-вывода (пропускная способность 8 Гб/с)

Технологический процесс: 28 нм

Тактовая частота: 1,3 ГГц

# Host-контроллер

Функции host-контроллера:

- обработка запросов от ядер всех процессоров кластера в пространство ввода-вывода своего процессора (PIO-запросов);
- обработка DMA-запросов от устройств ввода-вывода, подключенных к своему процессору, в память всех процессоров кластера;
- пересылка сообщений о прерываниях

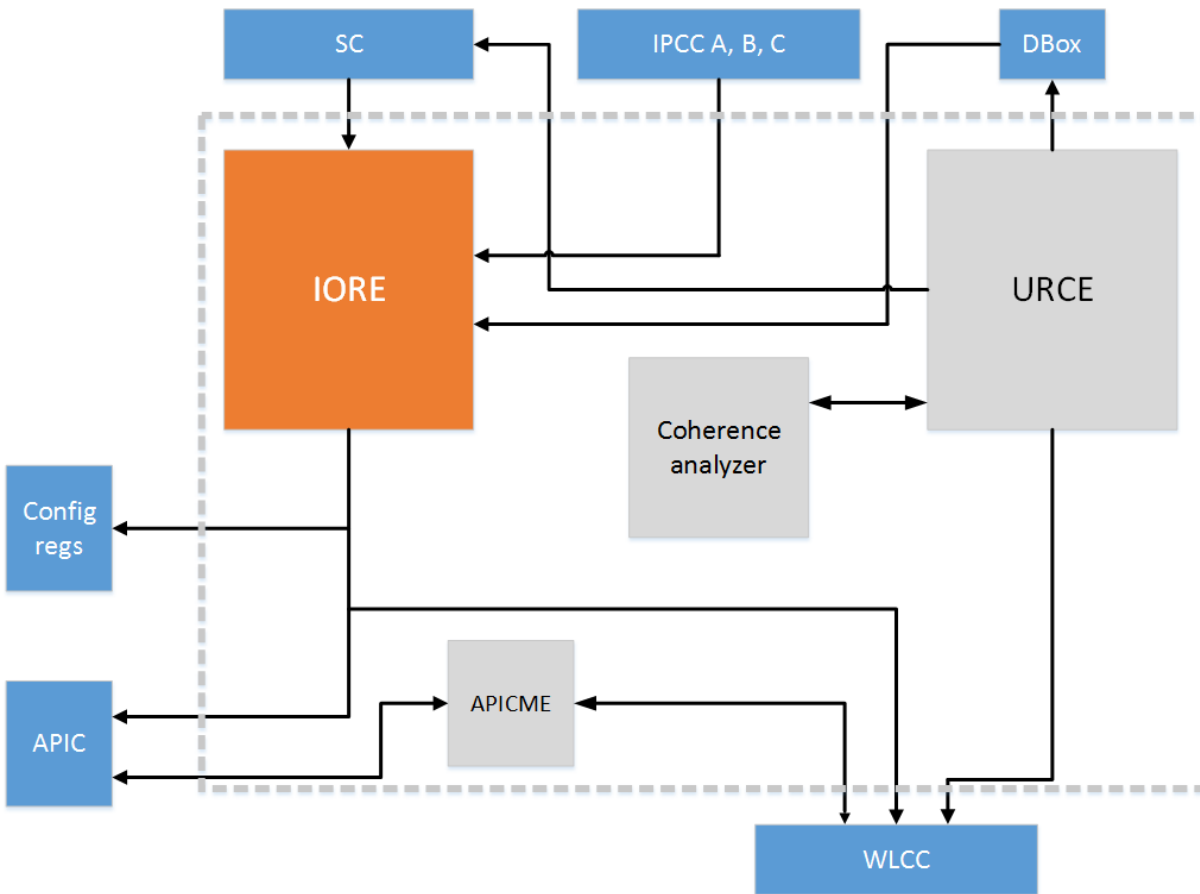
## Постановка задачи

Цель работы – создание блока обработки процессорных запросов в пространство ввода-вывода в составе нового host-контроллера системы «Эльбрус-4С+»

### Требования:

- Совместимость с контроллером канала ввода-вывода WLCC
- Поддержка когерентных операций
- Обработка некорректных запросов и аварийных ситуаций

# Host-контроллер МП «Эльбрус-4С+»



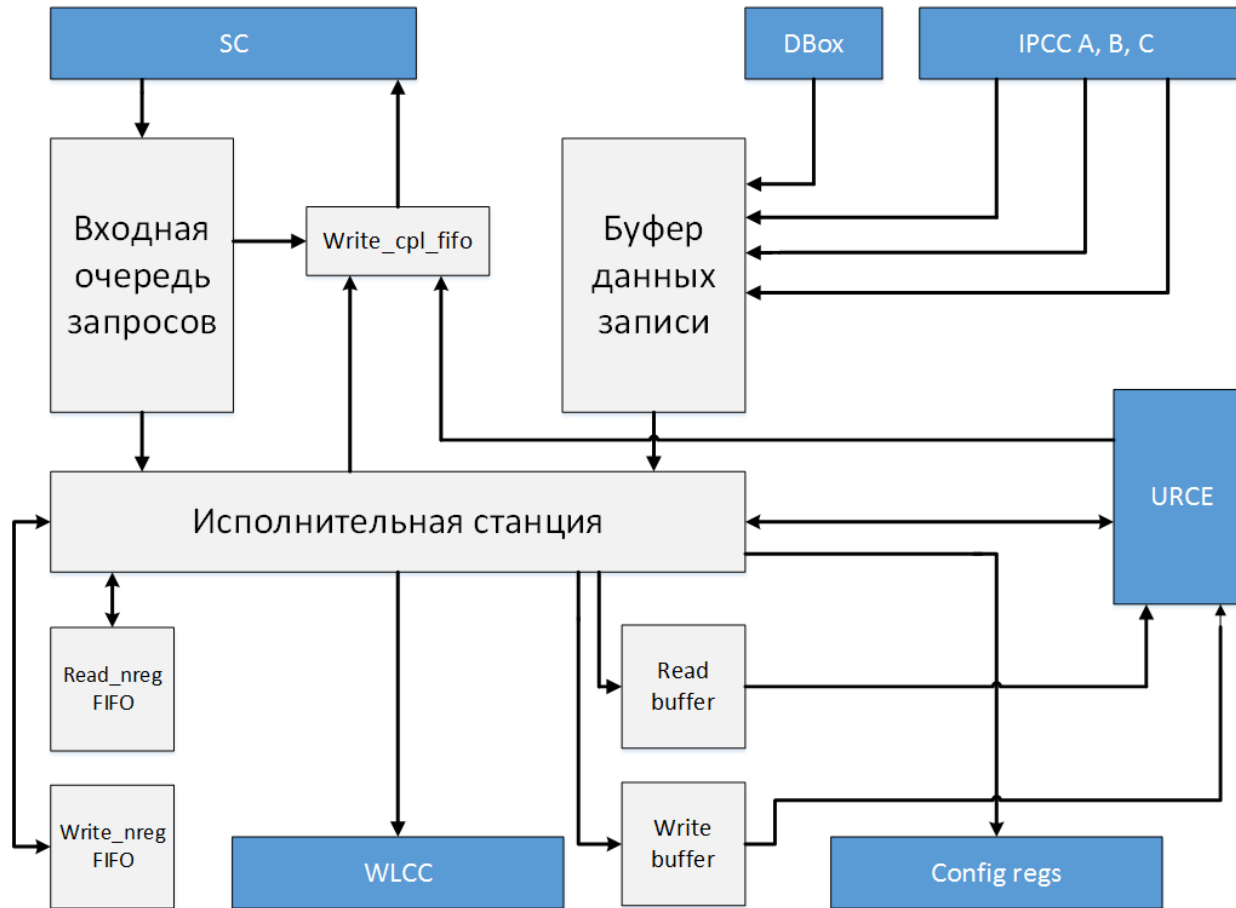
- IORE – обработчик PIO-запросов
- URCE – обработчик DMA-запросов
- SC – системный коммутатор
- IPCC – контроллеры межпроцессорных линков
- DBox – коммутатор данных
- Config regs – конфигурационные регистры
- APIC – контроллер прерываний
- Coherence analyzer – обработчик snooper-запросов
- APICME – обработчик сообщений APIC
- WLCC – контроллер канала ввода-вывода

# Процессорные IO-запросы

Возможные направления PIO-запросов:

- Пространство памяти внешних устройств (PCI\_mem)
- Конфигурационное пространство внешних устройств (PCI\_cfg)
- Пространство ввода-вывода внешних устройств (PCI\_IO)
- Область загрузки (BOOT)
- Конфигурационные регистры SIC, расположенные в IO\_box (регистры APIC, WLCC, HC)

# Обработчик PIO-запросов



- Write\_cpl\_fifo – очередь сообщений о завершении процессорных записей
- Read\_nreg FIFO – хранилище свободных идентификаторов для запросов по чтению
- Write\_nreg FIFO – хранилище свободных идентификаторов для запросов по записи
- Read buffer – буфер параметров чтений
- Write buffer – буфер параметров записей

- Максимальная пропускная способность: 9,07 Гб/с (автономные тесты)
- Средняя пропускная способность: 2,79 Гб/с (конфигурация с 6 Гб/с каналом ввода-вывода)

# Поддержка когерентных обращений

**Концепция:** возможность обратиться в любую область памяти с любым MAS (Memory Access Specifier).

**Проблема:** кэшируемое обращение в пространство ввода-вывода ведет к появлению когерентных операций в НС, требующих сбора когерентных ответов от кэш-памятей.



# Поддержка когерентных обращений

## Способы решения

- 1) Организовать в НС только точку сбора когерентных ответов
- 2) Перенести точку сериализации запросов в пространство ввода-вывода из системного коммутатора в host-контроллер

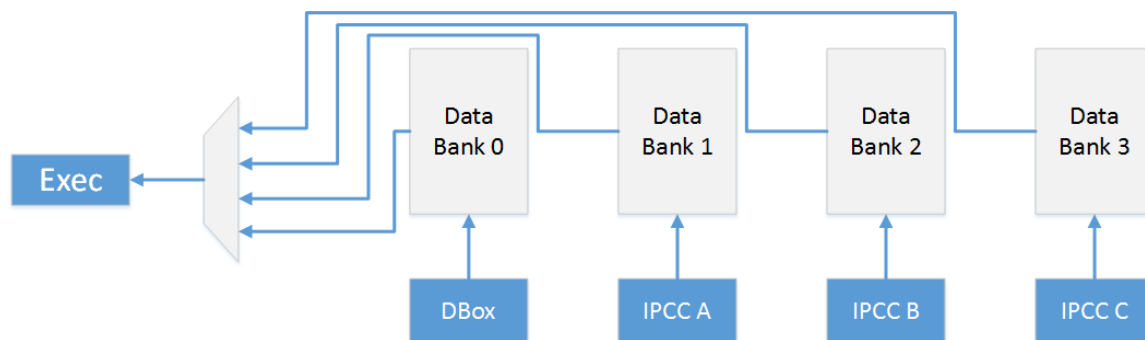
## Недостатки второго подхода:

- Для сериализации запросов требуется контроль конфликтов при обращениях по одному адресу
- Сложность поддержки когерентности. В «Эльбрус-4С+» поддержка когерентности осуществляется с помощью кэш-справочника=> нужен справочник для НС или возврат к широковещательной рассылке snoor-запросов
- Сложность маршрутизации некоторых типов сообщений за счет появления дополнительной точки сериализации

**Решение:** организовать в НС сбор когерентных ответов. Snoor-запросы рассылает системный коммутатор.

# Поддержка когерентных обращений

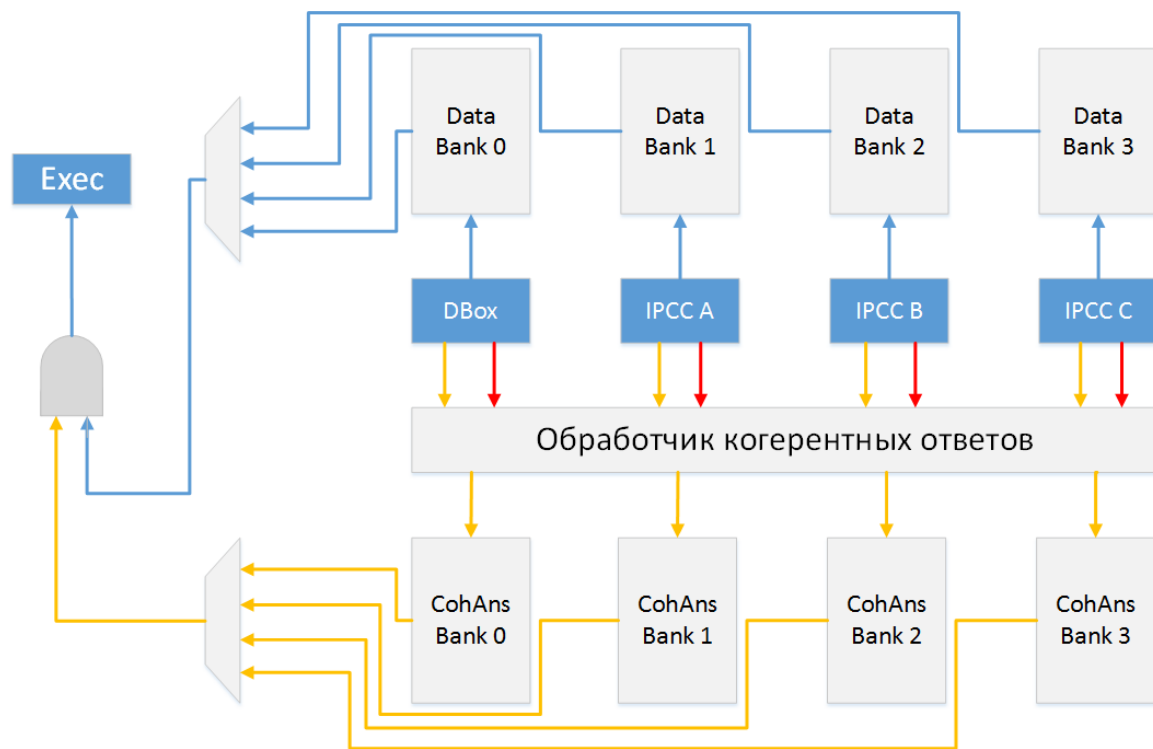
## Буфер данных записи



- Data Bank 0-3 – банки памяти для данных записи
- Dbox – коммутатор данных
- IPCC A,B,C – контроллеры межпроцессорных линков
- Exec – исполнительная станция

# Поддержка когерентных обращений

## Буфер данных записи



- Data Bank 0-3 – банки памяти для данных записи
- DBox – коммутатор данных
- IPCC A,B,C – контроллеры межпроцессорных линков
- Exec – исполнительная станция
- CohAns Bank 0-3 – банки памяти для когерентных ответов с данными

# Обработка ошибочных и аварийных ситуаций

- Ошибочная ситуация – ситуация, вызванная ошибками программирования или неисправностью внешних устройств. После возникновения ошибки возможно дальнейшее функционирование микропроцессора.
- Аварийная ситуация – серьезная аппаратная проблема, при которой невозможно дальнейшее функционирование микропроцессора в штатном режиме.

## Требования:

- Любой запрос в пространство ввода-вывода должен быть корректно обработан
- Необходимо оповещение о возникновении ошибочной или аварийной ситуации.

# Обработка ошибочных и аварийных ситуаций

## Возможные проблемы

### *Ошибочные ситуации:*

- Обращение в неразмеченную область памяти
- Неверный формат запроса: несоответствие кода операции адресу (типу памяти) и размеру
- Устройство назначения неверно сконфигурировано (Unsupported Request)
- Внешнее устройство-адресат запроса неисправно (Completer Abort)

### *Аварийные ситуации:*

- Неизвестный код операции

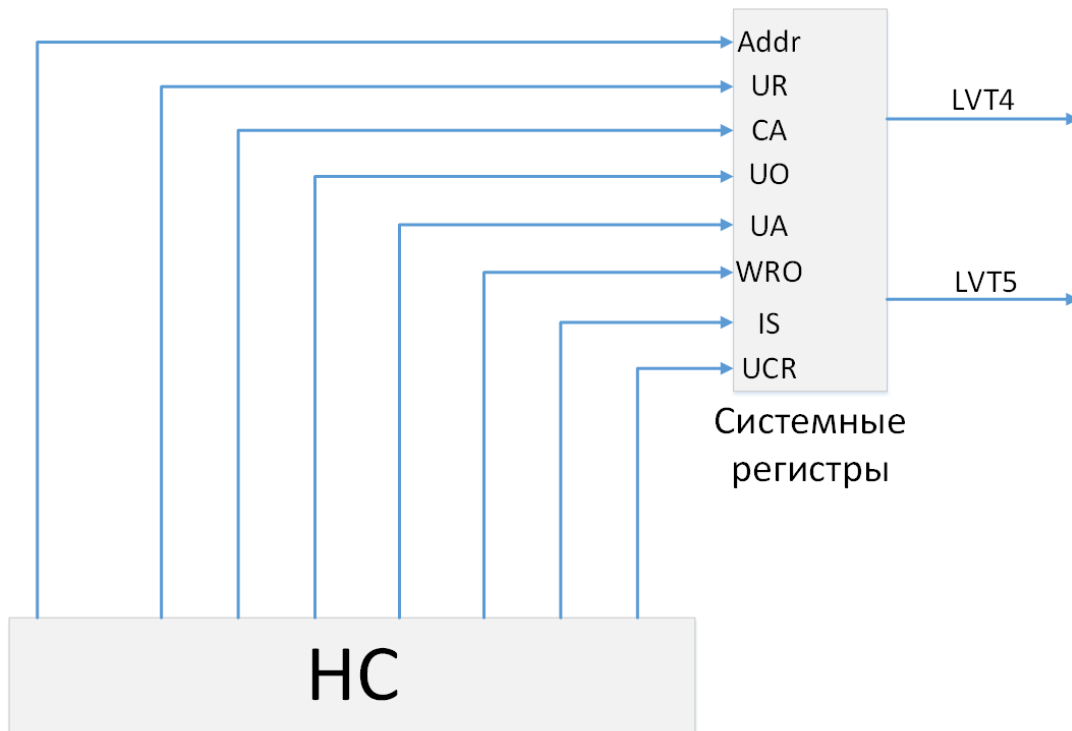
# Обработка ошибочных и аварийных ситуаций

## Реализация

- **Проблема:** сложность отладки при возникновении исключительных ситуаций. Ранее приходилось анализировать диагностическую информацию в ответах на запросы
- **Решение:** ввести в микропроцессоре еще одно (неаварийное) прерывание и сохранять в системных регистрах информацию о произошедших исключительных ситуациях

# Обработка ошибочных и аварийных ситуаций

## Реализация



- НС проверяет корректность запроса
- Если запрос некорректен, он не отправляется в устройство назначения
- Выдается ответ о завершении операции
- В регистрах SIC выставляются биты, сигнализирующие об ошибках, и сохраняется адрес запроса
- Иницируется аварийное (LVT5) или неаварийное (LVT4) прерывание

# Обработка ошибочных и аварийных ситуаций

## Реализованные проверки

Описание	Строгость
На процессорный запрос в хост-контроллер поступил ответ из Ю-линка со статусом <b>Unsupported Request</b> («неподдерживаемый запрос»)	неаварийная
На процессорный запрос в хост-контроллер поступил ответ из Ю-линка со статусом <b>Completer Abort</b> («устройство назначения отвергло запрос»)	неаварийная
<b>Unsupported Opcode</b> – поступил процессорный запрос с неподдерживаемым кодом операции.	<b>аварийная</b>
<b>Unknown Address</b> – адрес процессорного запроса (PIO) попадает в неразмеченную область памяти	неаварийная
<b>Write to Read-Only</b> – процессорная запись в read-only область памяти (boot). Ошибочными являются все операции записи, кроме операции Flush. Flush в boot является допустимым и на него высылается сообщение о завершении записи, как для штатного запроса, хотя данные не отправляются в WLCC.	неаварийная
<b>Illegal Size</b> – процессорный запрос в PCI_CFG, PCI_IO или в блок регистров на чтение или запись блока данных объемом более 4 байт.	неаварийная
<b>Unexpected Coherent Request</b> – процессорная когерентная операция в область PCI_CFG, PCI_IO или в блок регистров.	неаварийная



# Результаты работы

- Разработан блок обработки процессорных запросов в составе host-контроллера, совместимого с контроллером канала ввода-вывода WLCC;
- Обеспечена корректная обработка когерентных операций в пространстве ввода-вывода;
- Обеспечена обработка некорректных обращений в IO-пространство;
- Устройство включено в состав микропроцессора, прошло тестирование на прототипе микропроцессора и отправлено в его составе на фабрику для изготовления.

Спасибо за внимание!