

## РАСПРЕДЕЛЕННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ ЕС ЭВМ

Г.Р.Вульфсон, Ю.Г.Гайлит, В.И.Дехтярь,  
В.А.Мелентьев, В.К.Мищенко, В.А.Сергеев

В настоящее время резко возросла потребность в средствах вычислительной техники, которая не удовлетворяется в полной мере серийно выпускаемыми ЭВМ. В то же время имеющийся парк ЭВМ не полностью загружен в силу различных причин, в том числе из-за отсутствия технических средств по распределению вычислительной работы между менее загруженными центрами. Объединение существующих ЭВМ в единую систему позволяет решить проблему по распределению пиковых нагрузок и дает ряд новых услуг пользователям по сравнению с эксплуатацией одиночных ЭВМ. К таким услугам относятся: возможность использования программ и данных, находящихся в любых ЭВМ системы, решение задач, представленных в параллельной форме, решение задач, которые не могут быть решены за приемлемое время на одной ЭВМ из-за недостаточной мощности.

Поэтому создание вычислительных систем на базе серийных ЭВМ является весьма важным и способствует решению проблемы построения высокоэффективных универсальных вычислительных средств высокой производительности.

### 1. Функциональная структура РВС

Описываемая распределенная вычислительная система РВС на базе ЕС ЭВМ относится к классу однородных вычислительных систем с программируемой структурой, строящихся на принципах: параллельности выполняющихся операций, программируемости структуры и конструктивной однородности [1]. Кроме того, при построении системы поддерживался принцип невмешательства в базовые технические и программные средства ЭВМ.

Система позволяет осуществлять взаимодействия параллельно протекающих процессов в разнесенных ЭВМ, а также реализует необходимые сетевые и сервисные функции. Число машин в системе и ее топология не фиксированы и определяются областью применения. Объединение машин в систему осуществляется посредством использования выпускаемых промышленностью мультиплексоров передачи данных МПД-3 с телефонными адаптерами ТА-1 и синхронными адаптерами СА-2. В качестве каналообразующей аппаратуры используются модемы ЕС-8001 (200 бод), ЕС-8010 (2400 бод) или могут быть использованы другие типы модемов со стандартным окончанием по стыку С2. Связь осуществляется по телефонным некоммутируемым каналам и линиям связи.

На рис.1 показан фрагмент структуры РВС и состав системных технических средств элементарной машины (ЭМ). Мультиплексор передачи данных МПД-3 подключен к мультиплексному каналу ЕС ЭВМ. Двухсторонний одновременный обмен информацией между ЭВМ обеспечивается путем подключения двух адаптеров МПД-3 к одному модему с четырехпроводным окончанием, причем каждый из адаптеров работает только в одном направлении (передача либо прием) и использует соответствующие цепи стыка С2.

Программное обеспечение РВС использует в своей основе программное обеспечение базовой ЭВМ с расширением функциональных возможностей посредством включения в его состав системных программ, реализованных в виде надстройки над базовым.

Системное программное обеспечение описываемой РВС реализует системные и сетевые взаимодействия отдельных ЭМ РВС и состоит из транспортной системы и системы передачи файлов. Операции настройки и обмена выполняются транспортной системой. Операции управления ходом вычислительного процесса реализуются на уровне проблемных программ.

## 2. Архитектура транспортной системы

Функционирование РВС невозможно без организации службы, обеспечивающей надежную доставку информации между географически распределенными ее компонентами. Этим целям служит транспортная система, обеспечивающая выполнение следующих основных функций:

- установление, поддержание и разрыв соединений между взаимодействующими процессами;

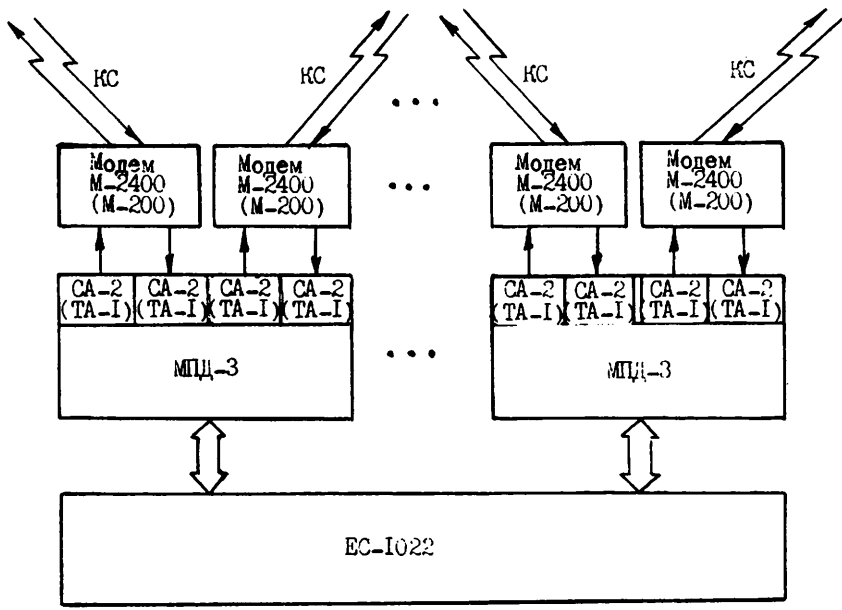
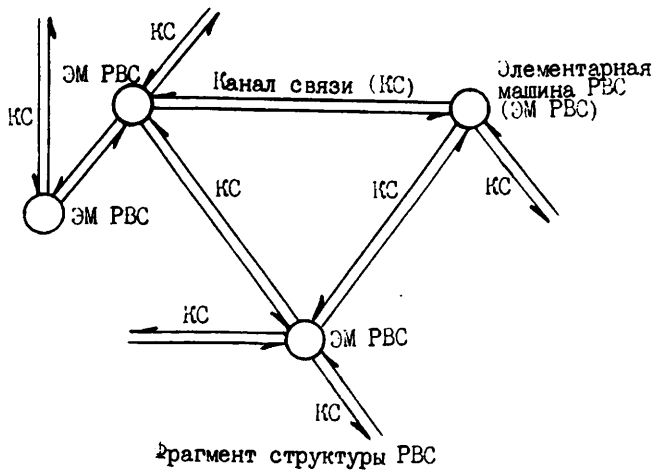


Рис.1. Состав системных технических средств элементарной машины.

- реализацию метода пакетной коммутации, компоновку и сжатие данных при обмене;
- управление потоками данных между коммуникационными узлами сети;
- обеспечение прозрачности тракта передачи данных;
- обнаружение и исправление ошибок, возникающих на всех уровнях транспортировки, восстановление потоков данных.

Для пользовательских и обслуживающих процессов транспортная система обеспечивает функциональную целостность системы, позволяет рассматривать РВС как совокупность распределенных ресурсов и реализовывать параллельные алгоритмы на системе произвольной структуры.

2.1. Система протоколов. На рис.2 показана иерархия компонентов транспортной системы и протоколы, регламентирующие соответствующие взаимодействия. Функции каждого уровня и предоставляемые им услуги обеспечиваются за счет средств нижних уровней иерархии (метод упаковки [2]).

Базовая архитектура системы включает в себя три основных уровня управления:

- уровень управления передачей;
- уровень сквозного транспортного управления;
- уровень управления проблемными задачами и обслуживающими функциями.

2.1.1. Уровень управления передачей. Функции непосредственной передачи данных между элементарными машинами РВС реализуются ее распределенным функциональным компонентом, называемым в дальнейшем сетью пакетной коммутации. В свою очередь в функциональной структуре сети пакетной коммутации можно выделить два основных уровня управления передачей пакетов:

- уровень управления информационным каналом (линейное управление);
- уровень пакетной коммутации.

Рассмотрим каждый уровень подробнее.

Протокол уровня управления информационным каналом. Процедуры, организующие передачу данных в информационном канале [3], регламентированы протоколом управления информационным каналом, соответствующим нижнему уровню в иерархии сетевых протоколов. Реализация этого протокола распределена между аппаратными и программными средствами ин-

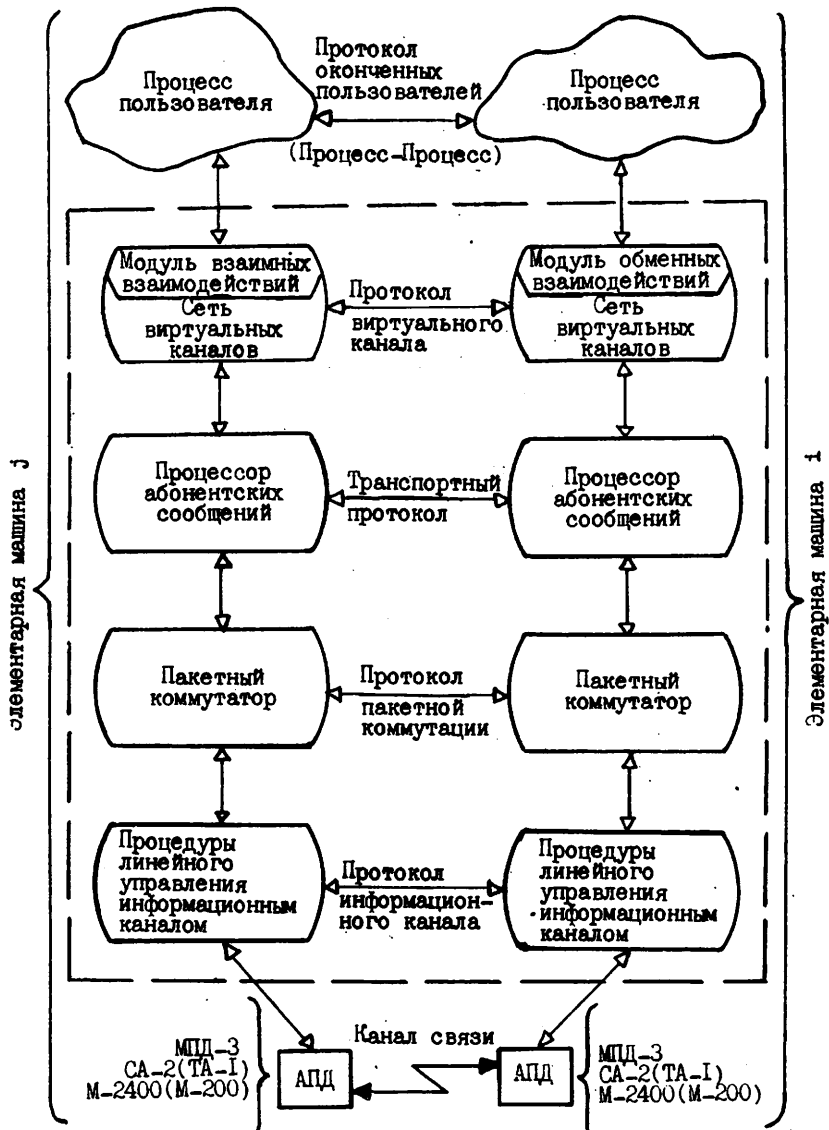


Рис.2. Иерархическая система протоколов транспортной системы.

формационного канала, включающими средства базисного телекоммуникационного метода доступа ЕС ЭВМ [4].

Информационный канал соединяет посредством двухполюсной связи смежные ЭМ РЭС. На уровне протокола управления информационным каналом выполняются следующие функции управления:

- установление, поддержание и разрыв информационного канала;
- управление процедурами передачи данных в информационный канал;
- преобразование кодов из параллельной формы в последовательную при передаче их в линию связи и обратное преобразование при приеме;
- распознавание и обработку служебных символов и последовательностей управления, обеспечивающих прозрачность тракта передачи.

Средства базисного телекоммуникационного метода доступа ЕС ЭВМ совместно с аппаратурой передачи данных реализуют протокол VSC, обеспечивающий синхронный позначный метод передачи в полудуплексном режиме [4].

Функции контроля и восстановления целостности информационного канала при обнаружении ошибок распределены между передающей и принимающей оконечными установками передачи данных. Контроль выполняется путем формирования при передаче и проверки при приеме контрольной последовательности блока.

Протокол уровня пакетной коммутации. Функции пакетной коммутации реализуются специальным программным компонентом транспортной системы - пакетным коммутатором. Соответствующий ему протокол пакетной коммутации определяет процедуры управления и контроля передачи пакетов от одного узла сети к другому, способ прокладки маршрута для пакетов при их движении в сети пакетной коммутации. Пакетный коммутатор может включать в себя средства отслеживания нагрузки на сеть пакетной коммутации и осуществлять контроль и защиту ее от перегрузок. Цель управления потоком состоит в сохранении графика в пределах, определяемых ресурсами сети пакетной коммутации, обеспечивающими его эффективное обслуживание.

2.1.2. Уровень сквозного транспортного управления. Протоколами этого уровня являются:

- транспортный протокол, управляющий передачей сообщений между процессами;

- протокола виртуального канала, позволяющий процессам устанавливать логические соединения друг с другом.

**Транспортный протокол.** Функции управления доставкой сообщений между абонентами транспортной системы реализуются процессором абонентских сообщений, работа которого регламентирована транспортным протоколом.

При передаче сообщений предусмотрена возможность их промежуточной буферизации в дисковой области памяти, что позволяет значительно сократить требования к объему оперативной памяти, используемой транспортной системой.

Транспортный уровень содержит процедуры сжатия сообщений, подлежащих передаче в сеть пакетной коммутации, и фрагментации (просечки) их на пакеты. В пункте назначения в дисковой области буферизации из поступающих пакетов komponуются сообщения, восстанавливаемые к первоначальному виду для последующей передачи процессу пользователя.

Стратегия управления, принятая в транспортном протоколе, проста и достаточно надежна. Новое сообщение между парой ЭМ РВС не передается в сеть пакетной коммутации до тех пор, пока не будет передано предыдущее сообщение. Несмотря на то, что вся ответственность за сохранность и доставку пакетов возлагается на коммутационную сеть, сообщение сохраняется во внешней памяти процессора абонентских сообщений (источника) и до момента получения положительной квитанции переводится в состояние готовности к повторной передаче. Эта мера необходима для осуществления возможности повторной передачи всего сообщения либо некоторой его части (селективная передача) в случаях:

- не обнаруженных на уровне управления передачей искажений пакетов или потери их при продвижении в сети пакетной коммутации;
- невозстановливаемых сбоев на диске при записи-считывании пакетов сообщения в различных стадиях его обработки.

**Управление виртуальным каналом.** Одним из базовых понятий, на котором в разработанной системе основывается концепция взаимодействия пользователей РВС, является понятие виртуального соединения [3,5].

С точки зрения абонентов транспортной системы следствием установления виртуального канала является осуществление преобразования  $\varphi = \chi(\mu)$ , где  $\mu$  - физический адрес либо логическое имя абонента (группы абонентов) в случае использования логической ад-

ресации,  $\phi$  - идентификатор образованного виртуального канала, посредством которого процесс будет адресоваться к установленному соединению в ходе информационного обмена. Установленное соединение представляется для взаимодействующих процессов  $P_{r_1}$  и  $P_{r_2}$  идентификаторами виртуального канала  $\phi_1$  и  $\phi_2$  соответственно (рис.3). В свою очередь порты  $P_1$  и  $P_2$  являются оконченными пунктами адресации для транспортной системы. (На рис.3 введены следующие обозначения: ТС - транспортная система, Pг - процесс, P - порт,  $\phi$  - идентификатор виртуального канала, СПК - сеть пакетной коммутации.)

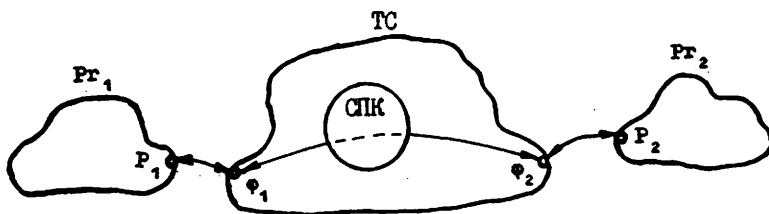


Рис. 3

Принятая при разработке организация логического сопряжения позволяет каждому процессу устанавливать связь одновременно с любым, в рамках имеющихся ресурсов, числом удаленных корреспондентов. Более того, между двумя взаимодействующими процессами может быть установлено произвольное число виртуальных каналов.

На уровне управления проблемными задачами, взаимодействующие через транспортную систему процессы могут организовать и поддерживать свой сквозной протокол обмена данными.

Организация виртуальных каналов между портами взаимодействующих процессов делает возможным образование виртуальной сети процессов РВС. Этим реализуется один из основополагающих принципов построения модели коллектива вычислителей [1,6] - программируемость логической структуры вычислений на РВС произвольной конфигурации.

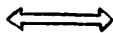
2.2. Программное обеспечение транспортной системы. Программное обеспечение транспортной системы РВС выполнено как совокупность шести кооперирующихся процессов и ряда используемых ими процедур:



- входной процесс `SPITATEL` , осуществляющий прием информации из канала связи;
- выходной процесс `PISATEL` , обеспечивающий передачу информации в канал связи;
- процесс ограничения доступа пакетов в сеть пакетной коммутации `PASRQBF` ;
- процесс приема и обработки пакетов, принятых в процессоре абонентских сообщений из сети пакетной коммутации `PASMAIN`;
- дисковый процесс `PROCDISK`, реализующий функции подсистемы буферизации сообщений;
- интерфейсный логический модуль транспортной системы `PROSVK`, выполняющий функции сопряжения с процессом пользователя и контроля следования протокола виртуального канала.

Структура программного обеспечения транспортной системы узла и информационных и логических связей между ее компонентами показана на рис.4.

Обозначения, принятые на рис.4:



- передача управления;



- служебная информация и однопакетные сообщения пользователей;



- информационные сообщения абонентов транспортной системы.

В рассматриваемой системе каждый процесс оформлен подзадачей. Приоритеты подзадач определяются последовательностью их подключения.

Процесс пользователя подключается к транспортной системе основной задачей раздела последним. Этим обеспечивается его более низкий приоритет в отношении к процессам транспортной системы.

Функции диспетчера, распределяющего процессорное время, синхронизирующего работу процессов и регламентирующего их взаимодействия, полностью реализуются ядром операционной системы - супервизором ДОС ЕС. Синхронизация взаимодействия процесса с внешней аппаратурой, а также информирование системы о некоторых внутренних для нее событиях, выполняется посредством прерываний.

Для синхронизации взаимодействующих процессов принят механизм, использующий понятие семафора и операций над ним [7,8].

Изменение состояния взаимодействующих процессов при обработке прерываний супервизором ДОС ЕС выполняется по синхронной стратегии с приоритетами [5], согласно которой точки потенциальных



приостановок процессов связываются не только с неудовлетворенными Р-операциями, но останов может произойти в любой момент времени в результате внешнего прерывания с последующей передачей управления другому, более приоритетному, чем текущий, процессу.

### 3. Система передачи файлов

Для эффективного использования РВС необходимо наличие развитой системы управления данными, обеспечивающей как работу с локальными данными, так и доступ к информации, находящейся в удаленных ЭМ. В РВС на базе ЕС ЭВМ управление локальными данными обеспечивается средствами стандартных операционных систем.

Разработанная система передачи файлов обеспечивает передачу файлов между внешними устройствами и/или оперативной памятью элементарных машин. Система передачи файлов не только обеспечивает доступ пользователей к одному из сетевых видов обслуживания, но и является основой для создания более высоких уровней управления распределенными данными, позволяющих работать с отдельными записями, организовывать распределенные базы данных и т.д.

При обслуживании запросов пользователей система передачи файлов выполняет следующие функции:

- ввод и интерпретацию директив пользователя;
- установление связи через транспортную систему с системой передачи файлов в удаленной ЭМ;
- осуществление операций ввода-вывода файлов в ЭМ;
- информирование пользователя о результатах работы системы.

В соответствии с этим в системе передачи файлов можно выделить следующие функциональные подсистемы (рис.5): диалоговую, работы с файлами и управления (в [9] последние две объединены в подсистему управления распределенными файлами).

3.1. Диалоговая подсистема. Диалоговая подсистема обеспечивает ввод директив пользователя, их синтаксический и семантический контроль и интерпретацию в соответствии с протоколом "пользователь-система передачи файлов", а также вывод сообщений системы пользователю. Этот протокол является межуровневым протоколом и регламентирует взаимодействия пользователя и системы передачи файлов. В рамках протокола осуществляется:

- установление связи между пользователем и системой передачи файлов и передача в систему адресов абонентов и имен файлов (под абонентом здесь и ниже понимается запоминающая среда: основная па-

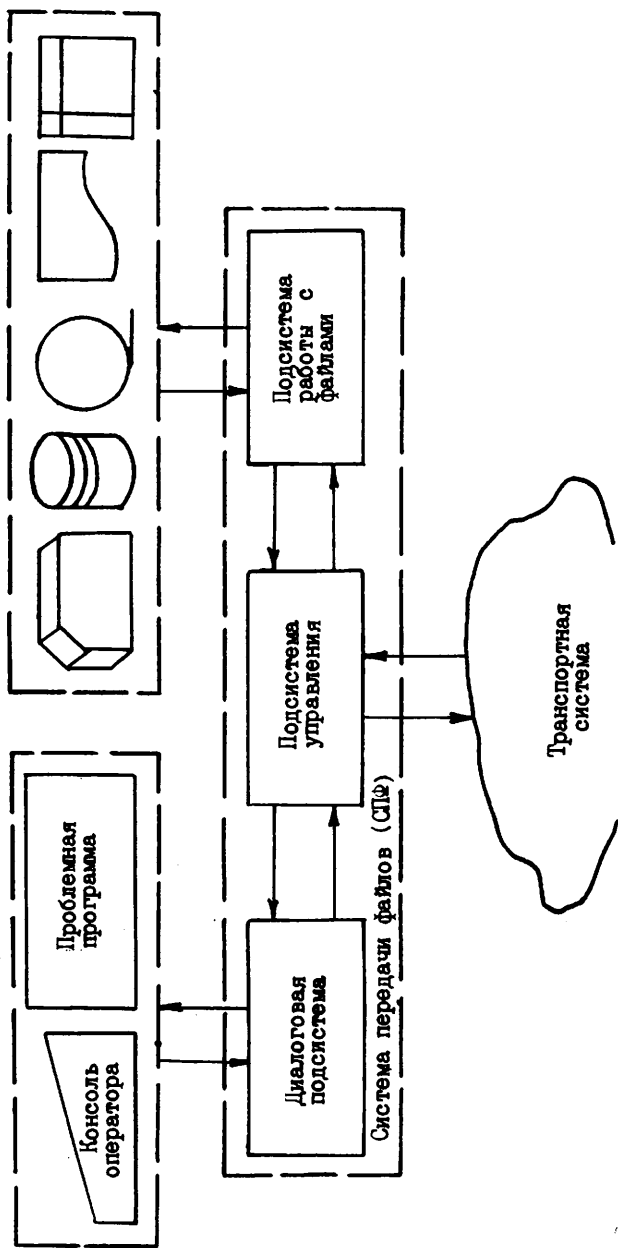


Рис. 5. Функциональная структура системы передачи файлов.

мьять, диск, магнитные ленты, перфокарты и др., - в которой размещается файл);

- обработка директив пользователя на передачу файлов;
- инициация разрыва связи между абонентами, между пользователем и системой передачи файлов.

Установление логического канала осуществляется по директиве вызова VYZ, в которой задаются тип канала, приоритет, номера портов в местной и удаленной системах передачи файлов, адреса связи - ваемых абонентов и имена файлов. При этом пользователь может не задавать конкретный номер порта, тогда система сама выберет свободный порт и сообщит его номер.

Работа с файлами при установленном логическом канале осуществляется по директивам PUT (передача файла удаленному абоненту) и GET (получение файла от удаленного абонента). При этом в директивах достаточно указывать только номер порта в местной ЭМ, так как на этапе вызова этому порту поставлены в однозначное соответствие адреса абонентов, имена файлов и выделенный логический канал.

Разрыв связи между абонентами осуществляется по директиве KIS с указанием порта в местной элементарной машине.

Система позволяет одновременно осуществлять парный дифференцированный обмен файлами между любыми абонентами, используя различные логические каналы.

Система передачи файлов информирует пользователя о результатах обработки запросов, используя сообщения трех типов. Первый тип связан с обнаружением ошибок в директивах пользователя. В сообщении указывается тип ошибки, и система предлагает пользователю повторить ввод директивы. Второй тип связан с невозможностью удовлетворения запроса пользователя. Система сообщает о причинах отказа реализовать заданную ей операцию и предлагает пользователю повторить ввод данной директивы через некоторое время. Третий тип сообщений - это квитанция о правильном завершении выполнения заданных директив. Директива разрыва связи позволяет прервать обмен между абонентами и разорвать логический канал до получения квитанции на предыдущий запрос.

3.2. Подсистема работы с файлами.  
Подсистема работы с файлами обеспечивает ввод (вывод) файлов с внешних устройств (на внешние устройства) элементарных машин. Подсистема осуществляет также преобразование форматов файлов в стан-

данный формат виртуального файла, использование которого упрощает действия по обмену между различными внешними устройствами.

Для реализации операций с файлами на дисках система передачи файлов использует несколько специально разработанных логических транзитов, осуществляющих поиск файлов на дисках, их открытие и закрытие. При необходимости создания нового файла транзиты отыскивают на указанном томе свободное место для этого файла и заносят в оглавление соответствующую информацию.

**3.3. Подсистема управления.** Подсистема управления обеспечивает выделение портов и осуществление связи с удаленной системой передачи файлов и обрабатывает запросы (местные и удаленные) на работу с файлами, реализуя протокол "СПФ-СПФ". Связь между системой передачи файлов и транспортной системой осуществляется в соответствии с межуровневым протоколом "СПФ-ТС\*").

Протокол "СПФ-СПФ" является протоколом уровня "процесс - процесс" и регламентирует взаимодействие систем передачи файлов, расположенных в различных ЭМ.

Для установления связи с удаленной системой передачи файлов местная система посылает пакет "ВЫЗОВ". Удаленная система подтверждает готовность установить связь лишь в том случае, когда порт, указанный в пакете "ВЫЗОВ", является свободным (не связан с другими логическими каналами), или если номер порта не указан и в удаленной системе есть свободный порт.

После установления связи системы передачи файлов могут начать операции по передаче файла. Фаза передачи (приема) файла считается нормально завершенной после получения передающей системой квитанции с признаком конца обработки файла.

Фаза передачи считается ненормально завершенной при неготовности местного абонента или при получении квитанции с признаком неготовности удаленного абонента.

Разрыв логического канала может осуществляться по запросу любой из взаимодействующих систем передачи файлов. Связь считается разорванной после получения от удаленной системы подтверждения разрыва.

Все программы транспортной системы и системы передачи файлов написаны на языке АССЕМБЛЕР и реализованы в операционной среде ДОС ЕС [10]. При проектировании и разработке широко использована -

---

\*) СПФ - система передачи файлов, ТС - транспортная система.

лись идеи модульного и структурного программирования, что существенно облегчило комплексную отладку системы вследствие большей ее ясности, обозримости и логической завершенности.

Программное обеспечение транспортной системы занимает около 6К оперативной памяти (включая логический модуль базисного телекоммуникационного метода доступа). В процессе разработки были созданы две версии транспортной системы, ориентированные на работу с адаптерами ТА-1 и СА-2, входящими в состав мультиплексора МПД-3.

Система передачи файлов использует 24К основной памяти, из них 16К отведены под массивы данных. Системой передачи файлов обслуживаются внешние устройства основного комплекта ЕС ЭВМ. Доступ пользователя-оператора к системе осуществляется с консоли оператора. Обращение к системе из проблемной программы выполняется специальной макрокомандой.

Работы по созданию транспортной системы и системы передачи файлов не только показали принципиальную возможность реализации системы межмашинного обмена в РВС на базе стандартных программных и технических средств ЕС ЭВМ, но и позволили отработать основные принципы и алгоритмы ее функционирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. ЕВРЕИНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. - Новосибирск, Наука, 1966. - 308 с.
2. ПУЗЕН Л., ЗИММЕРМАН Ю. Руководство по протоколам. - Тр. Ин-та инж. радио-электр.: т.66, 1978, №11, с. 64-92.
3. Сети ЭВМ. Под редакцией Глушкова В.М. -М.: Связь, 1979, с. 205-307.
4. ЕС ЭВМ. Операционная система ДОС ЕС. Базисный метод телекоммуникационного доступа. Руководство для программиста. Е10.132.087 Д1, Е10.132.087 Д 3. -М., 1978.
5. ДЭВИС Д., БАРЕЕР Д. Сети связи для вычислительных машин. -М.: Мир, 1976, с. 465-467.
6. ЕВРЕИНОВ Э.В. Единая распределенная вычислительная система. Проблемы и перспективы развития. -В кн.: Вычислительные системы. Вып.1. М., 1980, с. 8-24.
7. DIJKSTRA E.W. The structure of the "The2-multiprogramming system." -Communs ACM, 1968, N 11, p. 341-347.
8. ДИЙКСТРА Э. Взаимодействие последовательных процессов. - В кн.: Языки программирования. М., 1972, с. 9-87.
9. ЗИНОВЬЕВ Э.В., СТРЕКАЛОВ А.А. Организация службы передачи файлов в экспериментальной вычислительной сети. -В кн.: Вычислительные сети коммутации пакетов. Тезисы докладов Всесоюзной конференции. Рига, 1978, с. 49-51.

10. Распределенная вычислительная система на базе ЕС ЭВМ. Создание системных средств для РВС на базе ЕС ЭВМ. (Заключительный отчет). Новосибирск, Сибирский филиал ВПИИ ЦСУ СССР, 1980.

Поступила в ред.-изд.отд.  
26 июня 1981 года