

C-958

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

79-168

На правах рукописи

Сычев Александр Юрьевич

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МУЛЬТИДОСТУПА
В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

01.01.10 – математическое обеспечение вычислительных машин и систем

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Московском радиотехническом институте АН СССР.
Научный руководитель: доктор технических наук, профессор С.М.Рубчинский.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор Е.В.Гливенко, кандидат физико-математических наук Л.Г.Каминский.

Ведущее предприятие - Институт теоретической и экспериментальной физики (г. Москва).

Защита диссертации состоится "7" мая 1980 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д 047.01.04 по присуждению ученых степеней в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований (г. Дубна, Московской обл.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "4" апреля 1980 г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физ.-мат. наук

З.М.Иванченко



Актуальность проблемы. Экспериментальная ядерная физика явилась одним из пионеров применения ЭВМ для обработки информации в реальном времени. Задачей такой обработки является обычно проверка качества и редуцирование информации, поступающей в ЭВМ непосредственно из аппаратуры.

Скорость обработки существенно влияет на время выполнения физического эксперимента, поскольку это время, в основном, определяется временем сбора статистически значимого объема данных, измеряемого в современных экспериментах миллиардами бит. Поэтому все компоненты комплексов обработки строятся с учетом необходимости получения максимальной производительности. В частности, математическое обеспечение этих комплексов, как правило, узкоспециализировано, что позволяет обеспечить высокую степень использования ресурсов ЭВМ.

Однако, при увеличении сложности обработки данных продолжительность эксперимента может вырасти за счет времени разработки сложной системы программ или трудностей при ее эксплуатации. Указанная тенденция характерна для комплексов обработки снимков с пузырьковых камер на базе проекторов, на которых операторы кодируют под управлением ЭВМ информацию, содержащуюся на снимках. С появлением в 70-х годах так называемых "больших" пузырьковых камер сложность кодирования значительно возросла. Это повысило трудоемкость разработки соответствующих

компонентов математического обеспечения, контролирующих процесс кодирования в реальном времени. Развитие научных связей между физическими центрами привело к необходимости обработки в каждом центре снимков с разных камер и экспериментов, а большая стоимость комплекса сделала экономически выгодным создание в физическом центре многофункционального комплекса (МК), способного обеспечить одновременную обработку на большом числе разнотипных проекторов нескольких видов информации. Объем математического обеспечения такого комплекса достигает сотен тысяч команд ЭВМ.

В этих условиях к математическому обеспечению МК предъявляются требования повышенной универсальности, устойчивости к сбоям аппаратуры и ошибкам в программах, простоты адаптации к новым камерам, проекторам, экспериментам при сохранении высокой производительности (этого не было в комплексах 60-х годов). Большой объем такого математического обеспечения требует введения этапности разработки, независимости программирования различных его компонентов, отладки и модификации программ во время работы МК. Выполнение указанных требований не связано с задачами собственно контроля обработки, а определяется организацией режима мультидоступа, т.е. схемой использования всеми проекторами и программами ресурсов ЭВМ, организацией взаимодействия программ и т.д. Поэтому исследование особенностей и разработка принципов организации режима мультидоступа для многофункционального комплекса является весьма актуальной задачей.

Состояние вопроса. Существует большой опыт в разработке операционных систем, организующих режим мультидоступа на универсальных ЭВМ и предоставляющих обширный сервис пользователям этих систем в части как разработки, так и эксплуатации программного обеспечения. В некоторых физических центрах использовались модифицированные универсальные операционные системы для организации работы с относительно небольшим числом проекторов.

Большинство физических центров использует самостоятельно разработанное программное обеспечение, в котором организация режима мультидоступа и контроль операторов неразделимы. Это обеспечивает эффективное использование ресурсов ЭВМ и является, вероятно, наилучшим решением задачи в тех случаях, когда требуется подключить к ЭВМ как можно больше проекторов, работающих в одном режиме в течение длительного времени. Для многофункционального комплекса такое решение нецелесообразно, поскольку гибкость его программного обеспечения и возможность обработки снимков по разным алгоритмам на разных проекторах является обязательным требованием.

Цель работы. Основная задача заключалась в разработке и создании системного математического обеспечения мультидоступа для многофункционального комплекса обработки снимков с пузырьковых камер на базе просмотрово-измерительных проекторов и ЭВМ среднего класса. Это математическое обеспечение должно организовать работу в реальном времени диалоговых программ сопровождения (ПС) операторов в процессе обработки. При этом необходимо было решить следующие задачи:

1. Разработать принципы эффективного использования ресурсов ЭВМ, в частности, оперативной памяти и внешней памяти с прямым доступом в многофункциональных комплексах обработки.
2. Разработать схему программирования, обеспечивающую простоту изготовления и адаптации математического обеспечения МК к изменениям видов и алгоритмов обработки, ресурсов ЭВМ, типам и степени автоматизации проекторов.
3. Разработать методы повышения устойчивости комплекса к сбоям аппаратуры и ошибкам в неполностью отлаженных ПС и программах системы.
4. Разработать адекватные задаче методы отладки и исследования характеристик математического обеспечения и провести такие исследования в условиях реальной эксплуатации.

Научная новизна. Созданная операционная система для МК обладает основными возможностями универсальной системы коллективного пользования и в то же время обеспечивает высокую эффективность работы диалоговых программ, учитывая в операционной системе особенности класса решаемых задач. В отличие от традиционных систем математического обеспечения таких комплексов автором предложена организация математического обеспечения, в основу которой положен принцип специализированной виртуальной среды программирования для ПС обработки. Введение такой среды позволяет исключить прямую зависимость ПС от ресурсов ЭВМ, конфигурации аппаратуры МК, наличия других ПС и числа одновременно работающих проекторов.

Предложенное и реализованное систематическое использование таблиц решений (ТР) для разработки управляющих программ специализированной операционной системы облегчает как создание, так и модификацию математического обеспечения мультидоступа. Введено формальное определение ТР в виде теоретико-множественной функции, доказана универсальность ТР как средства программирования и определены ее верификационные свойства. Разработан новый вид ТР, обладающий свойствами конструкции структурного программирования, показана связь такой ТР с другими структурными конструкциями.

Разработанный принцип программной интерпретации обращений к сегментной памяти на уровне языка программирования ПС позволяет организовать специализированную виртуальную среду на ЭВМ среднего класса, не имеющей аппаратного обеспечения сегментной памяти.

Разработанная аналитическая модель использования 2-уровневой динамической памяти (ДДП) в режиме мультидоступа для типовых задач МК позволяет проводить сравнительный анализ различных вариантов организации программного обеспечения комплексов в зависимости от специфики класса типовых задач.

Предложенная схема использования ДДП с образованием динамического псевдорезидента вместо обычно применяющегося статического разделе-

ния программ на резидентные и оверлейные части обеспечивает оптимальное использование памяти ЭВМ без ручной настройки системы при изменении состава выполняемых в ней работ и числа проекторов.

Разработанное комплексное решение задачи повышения устойчивости системы к сбоям и ошибкам, основывающееся на сочетании специальных форматов хранения информации с использованием процедур ликвидации последствий сбоев и ошибок, позволяет восстанавливать работоспособность системы силами операторов без анализа причины отказа системы.

Реализация. Основные алгоритмы управления, схемы организации режима мультидоступа и виртуальной среды программирования, методы использования ТР; методы отладки и исследования легли в основу реализации подсистемы реального времени математического обеспечения FAUST комплекса обработки снимков с пузырьковых камер в ИФЗЭ, и внедрены в диспетчере трансляторе с языка FAUCOD программах анализа и др. Общий объем созданного автором или под его непосредственным руководством программного обеспечения составляет около 27 000 операторов автокода использованной ЭВМ.

Система FAUST находится в эксплуатации с 1974 г. и обеспечила весь объем измерений снимков для подготовки маски для НРД, основную часть ручных измерений всех экспериментов на камере "Мирабель", часть измерений снимков с камер ВЕВС и FNAL (всего 250 000 событий). Система обслуживала одновременно до 12 проекторов пяти типов, основная часть которых подключена во время эксплуатации. В это же время в рамках системы было разработано и отлажено 5 ПС, обеспечивающих различные виды работ на всех подключенных проекторах. Одновременно и независимо проводилась модернизация операционной системы и, в частности, диспетчера. Все эти работы не требовали прерывания нормального хода эксплуатации.

Минимальный объем оперативной памяти, необходимой для работы системы, не зависит от числа проекторов и ПС и составляет около 12К. Эффективное обслуживание обеспечивается при объеме оперативной памяти, составляющем всего 10-20% от общего объема памяти, занимаемого системой.

Практическая ценность. Разработанные принципы организации структуры 2-уровневой памяти, методы повышения устойчивости к сбоям, методы анализа могут быть использованы при создании аналогичных систем обработки на базе ЭВМ среднего класса и для других применений, характеризующихся стабильным набором проблемно-ориентированных программ, работающих в режиме мультидоступа. Результаты исследования, полученные на реально работающей системе, могут быть использованы как исходные данные при проектировании аналогичных систем.

Апробация и публикации. Постановка задачи и основные положения диссертации были доложены на Международном симпозиуме по вопросам автоматизации обработки данных с пузырьковых и искровых камер (Дубна, 1971), всесоюзных семинарах по обработке физической информации (Ереван, 1975, 1977), Всесоюзном совещании по системам автоматизации научных исследований (Рига, 1975), Всесоюзном семинаре "Диалог-77" (Пушино, 1977), на семинарах в МРТИ АН СССР, ИФВЭ, ЛВТА ОИЯИ и опубликованы в работах /1-9/.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 4 Приложений. Объем диссертации составляет 139 стр. текста, 30 рисунков и 20 таблиц. Список литературы включает 70 наименований.

Во введении дается основная цель работы, ее актуальность и место в общей задаче построения математического обеспечения МК, а также приводятся данные по распределению материала в диссертации.

В первой главе формулируются критерии, которым должны удовлетворять программы, организующие режим мультидоступа в системе. Первый критерий оценивает время реакции системы на посылку оператора, что является основной характеристикой режима мультидоступа, непосредственно влияющей на производительность обработки. В силу повышенных требований к технологическим и эксплуатационным характеристикам программ МК введено еще пять качественных критериев, оценивающих эти параметры. Указан-

ные критерии являются частными по отношению к глобальному критерию минимума средней стоимости обработки одного снимка за весь период эксплуатации комплекса; их связь с глобальным критерием показана в Приложении I. Они используются как для оценки существующих систем математического обеспечения обработки, рассматриваемых в последующих параграфах первой главы, так и для анализа вариантов разрабатываемого математического обеспечения.

Обзор систем обработки данных на проекторах построен на базе материалов 14 ведущих отечественных и зарубежных физических центров. Рассматриваются применяющиеся схемы использования оперативной памяти и памяти на внешних устройствах, дисциплины обслуживания посылок операторов, влияние конфигурации ЭВМ на структуру программного обеспечения, использование стандартного обеспечения и др. Отмечается, что организация рассматриваемых систем, являющаяся компромиссом между рядом противоречивых требований, не обеспечивает в необходимой для МК степени сочетания гибкости с хорошими временными характеристиками. Кроме того, в этих системах не уделяется достаточного внимания вопросам надежности работы. При построении МК решение перечисленных задач является необходимым условием успешного функционирования такого комплекса.

Вторая глава посвящена разработке решений по организации режима мультидоступа, позволяющих обеспечить указанное выше сочетание. Предлагается строить математическое обеспечение МК как универсальную систему коллективного пользования с предоставлением диалоговым программам виртуальной среды программирования, что позволяет достичь необходимой гибкости. Для сохранения высокой производительности предлагается ориентировать как виртуальную среду, так и алгоритмы распределения ресурсов на типовые задачи обработки, используя основное свойство МК — стабильный во времени набор задач, выполняющихся в комплексе одновременно /1-3/.

Производительность комплекса, обслуживаемого одной ЭВМ, равная сумме производительностей всех работающих проекторов, пропорциональна числу проекторов только при небольшом их числе. При значительном увели-

чении числа проекторов время реакции ЭВМ на посылку каждого оператора растет, что снижает скорость его работы. Время реакции ЭВМ определяется суммой времени обработки посылки программой сопровождения и времени ожидания посылки в различных очередях. В МК одной из основных очередей является очередь на загрузку текущего модуля ПС и информации проектора из внешней памяти в оперативную, что связано с размещением значительной части программ и информации проекторов во внешней памяти ввиду большого их суммарного объема (100–150К). Таким образом, важной задачей, которую необходимо решить при создании математического обеспечения МК, является рациональная организация ПС и данных, допускающая эффективное их распределение по уровням этой 2-уровневой памяти при сохранении простоты ее использования для ПС.

Разработанная организация 2-уровневой динамической памяти ДДП состоит в следующем:

1. Информация каждого проектора размещается отдельно от текста ПС в одном или нескольких полях данных, каждое из которых может размещаться на произвольном месте ДДП: в оперативной памяти или на внешнем запоминающем устройстве с прямым доступом; длина полей переменная и соответствует объему записанной информации; распределение информации по разным полям и ее структура определяется при программировании каждой ПС независимо.

2. ПС представляет собой совокупность модулей, каждый из которых также может размещаться на обоих уровнях ДДП; одни и те же модули могут входить в разные ПС, разбиение ПС на модули производится программистом ПС.

3. Диалоговые модули оформляются как чистые процедуры, чтобы один экземпляр текста модуля в оперативной памяти мог обслуживать одновременно несколько проекторов; настройка ПС на работу с конкретным проектором производится путем подключения к модулю полей данных этого проектора.

4. Перемещение модулей и полей между уровнями ДДП, настройка ПС, изменение размеров полей выполняется централизованно диспетчером в соответствии с ситуацией в ЭВМ.

5. ДДП представлена программисту в виде виртуальной сегментной двумерной оперативной памяти большого размера, выделяемой целиком для ПС и данных одного проектора; каждое поле или модуль является сегментом этой памяти, каждая ячейка сегмента определяется идентификатором сегмента и адресом внутри сегмента.

Разработанная организация позволяет программировать разные ПС независимо, поскольку размещение их в общей памяти выполняется диспетчером централизованно. Программисту ПС не нужно предусматривать в программе возможность обслуживания нескольких проекторов одновременно, так как это выполняется автоматически. Взаимная защита проекторов, обеспечиваемая диспетчером путем контроля связей модулей ПС с полями данных, позволяет производить отладку новых ПС в диалоговом режиме с реальным проектором без прерывания нормальной работы комплекса. Процедура отладки при этом направлена на выявление только алгоритмических ошибок логики обработки, поскольку отлаженная на одном проекторе ПС будет правильно работать с произвольным их числом.

Рассмотренная организация ДДП сложнее обычно применяющихся на распространенных ЭВМ среднего класса. С целью количественной оценки предлагаемой организации рассматриваются метод и результаты сравнительного анализа влияния структуры ДДП на время реакции ЭВМ на посылки оператора. Ввиду невысоких требований к точности при сравнительном анализе и учитывая отсутствие надежных исходных данных был применен аналитический метод моделирования. Разработанная модель описана в Приложении II. Она строится на следующих допущениях:

1. Интенсивности потоков посылок операторов равны между собой и образуют в сумме пуассоновский поток. Последнее основано на центральной предельной теореме, которая выполняется в интересующей нас области (5 - 20 проекторов).

2. Процессорное время мало по сравнению со временем ожидания загрузки, т.е. время реакции определяется, в основном, временем ожидания и обмена с одним устройством внешней памяти. Это предположение основывается на опыте многих систем обработки снимков на проекторах: процессор в них загружен не более 30%.

3. Длины всех сегментов в ДДП равны между собой (как показали экспериментальные результаты гл. IV, коэффициент вариации длины меньше 40%).

В этих предположениях, используя результаты теории массового обслуживания для одноканальных систем, среднее время реакции можно выразить через параметры устройства внешней памяти, вероятность отсутствия сегмента в оперативной памяти и среднее время между запросами на загрузку сегмента. Две последние неизвестные можно связать с вероятностью обращения к каждому сегменту, вероятностью обращения к оператору и средним временем реакции оператора, используя результаты, полученные для систем коллективного пользования со страничной организацией памяти. Тогда интересующее нас время реакции системы получается решением системы:

$$T = T(T_3, T_6, p_w),$$

$$p_w = p_w(K_1, \dots, K_n, K_{os}),$$

$$f(T_3, K_1, \dots, K_n, K_{os}, T_0) = 0,$$

где K_1, \dots, K_n - число вызовов сегментов 1, ..., n, соответственно, при обработке текущего снимка на каждом проекторе; K_{os} - число обращений к операторам проекторов при обработке текущего снимка; T_0 - среднее время реакции оператора; T - среднее время реакции системы на посылку оператора; T_3 - среднее время между запросами на загрузку сегмента в оперативную память; T_6 - среднее время загрузки сегмента; p_w - вероятность отсутствия сегмента в оперативной памяти при вызове.

Неизвестные K_1, \dots, K_n и K_{os} в модели определяются на основании параметров ПС и их числа, числа проекторов и их привязки к разным ПС, а также организации размещения ПС в ДДП.

Сравнительный анализ трех вариантов организации (один из которых соответствует предлагаемому в настоящей работе, а два других – распространенным в системах на ЭВМ среднего класса), проведенный для некоторой обобщенной ПС, показал, что введение чистых процедур, централизованное распределение памяти, хранение не только модулей ПС, но и данных на внешней памяти позволяют в 2–3 раза увеличить предельное число обслуживаемых проекторов. Кроме того, показано, что оптимальные результаты получаются при образовании в оперативной памяти псевдорезидента из наиболее часто используемых модулей ПС. Его состав зависит от свойств всех одновременно работающих ПС и от числа обслуживаемых ими проекторов и, следовательно, не может быть задан при программировании ПС.

Далее в главе приводится анализ причин отказов системы и их возможных последствий. Показано, что к наибольшим потерям приводит уничтожение информации о структуре данных, хранящихся на внешних запоминающих устройствах с прямым доступом, поскольку в этом случае наиболее вероятное локальное уничтожение информации приводит к потере всех данных.

В последнем параграфе главы рассматриваются особенности программирования ПС и приводится описание разработанной виртуальной среды программирования. Виртуальная двумерная оперативная память исключает необходимость учитывать при программировании ПС возможность совместной работы с другими ПС и особенности динамического распределения памяти. Введение виртуального проектора упрощает разработку и отладку диалоговых процедур при обслуживании разнотипных проекторов МК и обеспечивает необходимую для простоты модификации аппаратуры развязку проблемного математического обеспечения от аппаратнозависимого.

В конце главы приводится таблица соответствия предлагаемых решений по организации математического обеспечения критериями качества. Реализация предлагаемых решений позволяет удовлетворить многим противоречивым требованиям к математическому обеспечению МК, однако предполагает наличие средств работы с сегментированной памятью, отсутствующих обычно в ЭВМ среднего класса, и требует сложного диспетчера. Отличи-

тельной особенностью диспетчера является то, что он является единственной резидентной частью программ системы и что он полностью организует все компоненты режима мультидоступа в МК. Поэтому в него включена часть процедур, входящих обычно в операционные системы или в ПС. В следующих двух главах рассматриваются, в частности, способы снижения трудоемкости разработки диспетчера и методы реализации сегментной памяти.

В третьей главе разрабатываются вопросы организации диспетчера как программы, приводятся разработанные структура и состав программ диспетчера /4-6/.

Повышенные требования к эффективности программ диспетчера, работающих в реальном времени с подключенной к ЭВМ аппаратурой, заставляет использовать в качестве основного языка программирования язык уровня автокода. Это приводит к большой вероятности внесения ошибок при разработке, основная часть которых в силу специфики диспетчера проявляется в труднопредсказуемые моменты времени. Поэтому предлагается для улучшения качества разработки использовать подход структурного программирования, а в качестве основы - использовать таблицы решений (ТР), допускающие формальную проверку полноты задания алгоритмов работы во всех возможных ситуациях. Возможность систематического применения ТР обосновывается путем доказательства универсальности ТР как средства программирования. Для этого вводится формальное определение ТР в виде

$$\Psi: \prod_{i \in I} C_i \rightarrow \bigcup_{j \in J} P^j,$$

где $C_i = \{c_{in}\}$ - множество значений i -того условия над переменными программы; $P = \{p_m\}$ - множество действий; P^j - j -тая степень множества; J - число действий в ТР; I - число условий в ТР. Показано, что ТР может быть сведена к универсальной функции, определяющей процесс вычисления на дискретной ЭВМ, т.е. что сама ТР универсальна. Показывается, что любая программа может быть построена как иерархия ТР определенного вида, каждая из которых включает только действия элементарного присваивания и, возможно, вызов других ТР как процедур. В При-

ложении III показано, что ТР такого вида отвечают требованиям к конструкциям структурного программирования, выводятся правила верификации ТР в нотации Хоара, указывается связь со структурными конструкциями Дейкстры и выводится слабое предположение для ТР.

Далее в главе обосновывается структурное деление диспетчера на функциональные программы, программы ядра и отладочные программы. К функциональным относятся программы, выполняющие задачи собственно организации мультидоступа. Основная цель выделения программ ядра состоит в упрощении разработки и отладки функциональных программ путем централизации и унификации функционально-независимых процедур. Разработанный автомат-переключатель процессов и программ реализует нижний уровень планирования центрального процессора ЭВМ и позволяет не следить при программировании за ситуационными связями, которые могут возникать при асинхронной работе блоков функциональных программ диспетчера. Резидентная динамическая память, примененная в диспетчере для хранения буферных и рабочих массивов, позволяет повысить эффективность использования оперативной памяти диспетчером и облегчить разработку функциональных программ, использующих общую рабочую информацию в асинхронном режиме. Предложено оформить ядро диспетчера как расширение процессора ЭВМ, для чего использовать функционально полный набор макрокоманд обращения к программам, входящим в ядро, и разработан состав и формат таких макрокоманд для диспетчера.

Отладочные и исследовательские средства необходимо включить в диспетчер МК ввиду возможных модификаций при изменении аппаратной конфигурации и состава проекторов во время эксплуатации. Обосновывается целесообразность включения этих средств в ядро и приводится их состав.

Четвертая глава посвящена реализации некоторых функций диспетчера, причем существенное внимание уделяется унификации форматов и процедур как средству упрощения диспетчера /7-9/.

В первых трех параграфах описываются унификация 2-уровневой динамической памяти, алгоритмы распределения этой памяти и организации вы-

числительного процесса. Предложено использовать при реализации ДДП сочетание сегментного распределения оперативной памяти с сегментно-страничным распределением внешней памяти. При таком сочетании полностью реализуется виртуальная память, описанная во второй главе. Кроме того, при этом удается простыми средствами повысить сохранность информации в системе и ускорить в среднем обмен между оперативной и внешней памятью. Приводится разработанный программный метод реализации доступа к такой памяти на ЭВМ среднего класса, не имеющей соответствующих аппаратных средств. Обосновывается применимость такого метода, базирующегося на интерпретации функций аппаратуры, для класса типовых задач МК. Предложенная организация памяти также позволяет восстановить работоспособность системы после фатального сбоя без привлечения системных программистов и анализа причины и возможных последствий сбоя. Состояние, в котором оказывается процесс обработки на каждом проекторе, однозначно известен оператору независимо от момента сбоя.

В третьем параграфе приводится и обосновывается алгоритм управления ДДП, а в Приложении IV формально доказывается его корректность.

В последнем параграфе дана схема организации диалога с проекторами разных типов, использующая унифицированное сообщение как единицу обмена. Такая унификация позволяет без расширения состава резидентных программ диспетчера организовать имитацию устройств проектора телетайпом, необходимую для отладки ПС в диалоговом режиме, прокрутку ПС с использованием программно сгенерированных или хранящихся в памяти посылок оператора проектора, а также организовать обмен данными между резидентом диспетчера и его перезагружаемыми секциями.

В пятой главе излагаются методика и результаты экспериментального исследования работы системы FAUST в эксплуатационном режиме на основании статистических данных, накопленных в течение 1977-78 гг. Описываются состав собираемой информации, ее объем, представительность и способы обработки. Приводимые характеристики выполнявшихся в системе работ подтверждают основные предположения, положенные в основу анали-

за гл. II. Результаты измерений характеристик режима мультидоступа показывают, что загрузка системы за указанный период далека от критической при которой снижается производительность обработки.

Заклучение. Основным результатом работы является созданное математическое обеспечение режима мультидоступа для просмотрно-измерительных проекторов многофункционального комплекса обработки на базе ЭВМ среднего класса. По структуре и возможностям, предоставляемым программам сопровождения обработки снимков, разработанное математическое обеспечение находится на уровне передовых систем коллективного пользования, но не требует аппаратных средств, имеющихся обычно только в мощных ЭВМ.

В процессе разработки были получены результаты, представляющие самостоятельный научный и практический интерес:

1. Предложен и реализован принцип построения программного обеспечения обработки снимков как специализированной системы коллективного пользования, предполагающий создание виртуальной среды программирования задач контроля оператора. На основании анализа типичных особенностей таких задач разработана конкретная виртуальная среда для многофункционального комплекса обработки, позволяющая сочетать универсальность диалоговых программ с эффективным использованием ресурсов ЭВМ.

2. Предложен подход к организации структурных программ, предполагающий систематическое использование таблиц решений и позволяющий упростить коллективную разработку логически ориентированных программ. Доказана универсальность введенных структурных таблиц решений как программной конструкции, показана их связь с другими структурными конструкциями. Определены правила верификации ТР, позволяющие формально доказывать корректность программ. В качестве примера приведено доказательство корректности разработанного алгоритма реорганизации памяти ЭВМ — одного из важнейших алгоритмов организации мультидоступа.

3. Разработан способ реализации виртуальной сегментной памяти, позволяющий организовать память такого вида на ЭВМ среднего класса, не имеющей соответствующих аппаратных средств. Показана применимость такого метода для комплексов диалоговой обработки данных.

4. Предложен способ повышения надежности работы комплекса при наличии сбоев аппаратуры и ошибок в программах. Способ основывается на сочетании специальной организации сегментной памяти с использованием процедур копирования и позволяет восстанавливать работоспособность системы силами операторов без анализа причин сбоя и его последствий.

5. Разработан состав программ диспетчера многофункционального комплекса обработки. Разработан набор примитивных команд, обеспечивающих представление ядра диспетчера в виде виртуального расширения процессора ЭВМ.

6. Разработан способ автоматического измерения характеристик режима мультидоступа в многофункциональном комплексе в течение периода эксплуатации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.И.Громов, А.Ю.Сычев, Е.Д.Щербаков. Математическое обеспечение комплекса проекторов ИФВЭ (система FAUST). Труды Радиотехнического института АН СССР, 1974, № 17, стр. 112-118.
2. А.Ю.Сычев. Организация двухуровневой памяти в системе обработки снимков на просмотрово-измерительных проекторах. Материалы семинара по обработке физической информации, АРУС, Ереван, 1978, стр. 374-382.
3. В.Н.Бойцов, А.Л.Бонч-Осмоловский, Ю.Н.Иванов, А.Ю.Сычев, Е.Д.Щербаков. Программирование задач реального времени в системе FAUST. Препринт ИФВЭ 78-149, Серпухов, 1978.
4. А.Л.Бонч-Осмоловский, А.Ю.Сычев, Е.Д.Щербаков. Принципы построения специализированной операционной системы для комплекса обработки снимков с пузырьковых камер на просмотрово-измерительных проекторах. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по системам автоматизации научных исследований, Рига, 1975, стр. 137-141.
5. В.Н.Бойцов, А.Л.Бонч-Осмоловский, Ю.Н.Иванов, А.Ю.Сычев, Е.Д.Щербаков. Диспетчер в системе FAUST. Часть I. Препринт ИФВЭ 79-79, Серпухов, 1979.
6. В.Н.Бойцов, А.Л.Бонч-Осмоловский, Ю.Н.Иванов, А.Ю.Сычев, Е.Д.Щербаков. Диспетчер в системе FAUST. Часть II. Препринт ИФВЭ 79-80, Серпухов, 1979.
7. А.Ю.Сычев, А.М.Чернобровцев. Система связи просмотрово-измерительных проекторов с универсальной ЭВМ. Труды Радиотехнического института АН СССР, М., 1972, № 10, стр. 52-58.

8. А.Л.Бонч-Осмоловский, А.И.Громов, В.А.Кузьмин, А.Ю.Сычев, Е.Д.Щербаков. Операционная система комплекса обработки снимков с пузырьковых камер на просмотрно-измерительных проекторах. Материалы семинара по обработке физической информации, АРУС, Ереван, 1976, стр. 356-364.
9. А.Л.Бонч-Осмоловский, А.Ю.Сычев. Ресурсы операционной системы STOL и их распределение. Труды Радиотехнического института АН СССР, 1974, № 17, стр. 235-242.

Рукопись поступила в издательскую группу
26 октября 1979 года.