



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**  
**ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

**10 - 4437**

**Н.Н.Говорун**

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ  
ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН  
В ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Специальность 040 - экспериментальная физика**

**Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук**

**Дубна 1969**

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации.

Официальные оппоненты:

член-корреспондент АН СССР

В.В. Владимирский

доктор технических наук

А.Д. Смирнов

доктор физико-математических наук

Л.Н. Королев

Ведущее предприятие:

Институт физики высоких энергий в Серпухове.

Автореферат разослан " " " 1969 г.

Защита диссертации состоится " " " 1969 г.

на заседании Ученого совета Лаборатории высоких энергий  
Объединенного института ядерных исследований, в конференц-  
зале ЛВЭ ОИЯИ (г. Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Инсти-  
тута.

Секретарь Ученого совета Лаборатории  
высоких энергий ОИЯИ

кандидат физико-математических наук

А.А. Кузнецов

10 - 4437

Н.Н. Говорун

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ  
ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН  
В ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени доктора физико-математических наук

Диссертация состоит из введения и шести глав. Во введении даётся обзор развития методики использования ЭВМ в эксперименте и кратко излагается содержание глав диссертации. Текст автореферата совпадает с текстом введения диссертации. Первая глава содержит описание систем ЭВМ и систем обработки данных в ряде крупных центров США и в ЦЕРНе. Во второй и третьей главах описываются системы математического обеспечения обработки данных с пузырьковых камер и камеры Вильсона. Четвертая глава посвящена вопросам развития он-лайн методики, пятая глава - вопросам использования систем ЭВМ для обработки данных. В шестой главе обсуждаются вопросы использования языка ФОРТРАН для обработки данных.

Развитие физических исследований в последние пятнадцать лет неразрывно связано с прогрессом вычислительной техники.

Вначале электронные вычислительные машины использовались в физических исследованиях для научно-технических расчётов, преследовавших предварительную теоретическую оценку характеристик установок и исследуемых процессов до их реализации на практике.

Последующий прогресс физики вообще и особенно физики высоких энергий тесно связан с развитием методики обработки громадных объёмов экспериментального материала, базирующейся на использовании современных электронных машин. В ведущих физических центрах мира затраты на средства обработки данных (электронные машины, измерительные приборы и установки) составляют миллионы рублей и соизмеримы с затратами на основное физическое оборудование (ускорители, большие пузырьковые камеры и т.д.). Методика применения ЭВМ в физике высоких энергий за последние десять лет претерпела большие изменения. Можно отметить два этапа в её развитии.

Первый этап состоит в создании систем обработки больших массивов информации, получаемой, например, на пузырьковых камерах (миллионы снимков в год). Были созданы устройства, ускоряющие процессы просмотра и измерений (сканирующие системы типа НРФ, спиральный измеритель, *SMP*) вместе с соответствующими программами, так что весь процесс обработки информации оказался в значительной мере автоматизированным. Этот этап продолжается и сейчас. Усилия направлены на полную автоматизацию не только процесса измерений событий на плёнке, но и на автоматизацию просмотра

и опознавания зарегистрированных событий (проекты PEPR, POLLY ).

Второй этап характеризуется применением электронных машин непосредственно для самого проведения эксперимента, когда ЭВМ является частью физической установки, управляющей всеми её блоками и контролирующей их работу. Быстрое развитие этой методики вызвано не только тем, что экспериментатору важно получить наглядные данные о результатах опыта (в виде кривых на осциллографе, графиков и гистограмм). Новая методика значительно ускоряет подготовку, проведение эксперимента и получение окончательного результата. Немного (в десятки раз) увеличивается эффективность использования основного оборудования (например, ускорителей), так как в течение одного цикла ускорителя появляется возможность зарегистрировать сотни событий, что совершенно недостижимо для фильмовых методов регистрации. Более того, применяя управляемые электроникой установки, мы имеем возможность проводить отбор полезных событий до их регистрации, еще более увеличивая эффективность этой методики.

Развитие методики проведения экспериментов на линии с ЭВМ в последнее время привело уже к созданию крупных экспериментальных установок (ускорителей), полностью автоматизированных не только в смысле съёма с них экспериментальных данных, но также и управляемых электронной машиной, которая в соответствии с заданной программой поддерживает параметры комплекса ускоритель - экспериментальная установка в оптимальных пределах.

Широкое использование электронных машин в физических исследованиях приводит к тому, что задачи, стоящие перед ЭВМ в крупных

физических центрах, почти всегда не могут быть решены применением электронных машин в том виде, в каком они поставляются промышленностью. Это приводит к тому, что крупные физические центры вынуждены иметь (и имеют) большие группы опытных электронщиков и математиков, занятых модернизацией серийных ЭВМ, созданием комплексов вычислительных машин и их математического обеспечения. В Объединенном институте ядерных исследований к задачам, которые обычно решаются в физических центрах, добавилась ещё проблема, связанная с необходимостью создания транслятора с ФОРТРАНа и соответствующей операционной системы для основной вычислительной машины БЭСМ-6 в создаваемом вычислительно-измерительном комплексе.

Краткое изложение этапов развития методики использования ЭВМ в физических исследованиях, данное выше, отражает и историю развития применения ЭВМ в Объединенном институте ядерных исследований.

Использование ЭВМ в ОИЯИ началось с поступления в 1958 г. ЭВМ Урал-1. В 1961 г. устанавливаются ЭВМ М-20 и "Киев", через год эти машины соединяются кабелем, и на их основе создается первая система обработки filmовой информации, поступающей на "Киев" в виде перфорированной киноплёнки с измерительных полуавтоматов, а также спектрометрической информации, поступающей по кабелю из измерительного центра Лаборатории нейтронной физики непосредственно на магнитную ленту "Киева". В 1963 г. машина "Киев" заменяется ЭВМ Минск-2, в 1965 г. система дополняется ещё одной машиной М-20, фактически удвоившей вычислительную мощность. На базе системы из этих трех машин к 1967 г. создаются две системы обработки экспериментальных данных в ОИЯИ (filmовой и бесfilmовой для обработки спектрометрической информации).

С прибытием в ОИЯИ ЭВМ БЭСМ-3М в 1966 г. и проведением эксперимента по (П-р) - рассеянию начинается период развития методики с использованием ЭВМ на линии с экспериментальным оборудованием. В это же время начинается работа по созданию новой системы обработки экспериментальных данных в ОИЯИ на базе системы ЭВМ из БЭСМ-6, СДС-1604А и ряда периферийных машин типа БЭСМ-4 в создаваемых измерительных центрах лабораторий.

В данной работе, представляемой в качестве докторской диссертации, описываются системы обработки экспериментальных данных, эксплуатируемые в настоящее время в ОИЯИ, а также дается краткое описание работ, проводимых в настоящее время по созданию новой системы обработки данных с использованием языка ФОРТРАН.

Автор руководил всеми работами по созданию систем математического обеспечения обработки данных, однако в течение длительного периода времени (1961-1969), работая над темами, представленными в диссертации, ему приходилось заниматься также вопросами, касающимися модернизации электронных машин, логики их связи между собой, связи с внешними объектами, и другими работами, необходимыми для создания систем обработки экспериментальных данных.

Главным результатом диссертации является создание системы обработки данных, в основном, её части, касающейся математического обеспечения, а также вопросов, непосредственно связанных с методикой применения ЭВМ и их систем в физических исследованиях.

Конкретным результатом работы является создание системы обработки фильмовой и бесфильмовой информации на основе модернизированных ЭВМ М-20, Минск-2 (22), БЭСМ-3М, БЭСМ-4, СДС-1604А и их систем,

а также создание и сдача в эксплуатацию системы математического обеспечения с транслятором с языка ФОРТРАН для БЭСМ-6.

В зарубежных физических лабораториях ранее были созданы системы обработки фильмовой информации<sup>/39-43/</sup>, однако прямое их использование при создании системы в ОИЯИ оказалось невозможным, так как электронные машины, на базе которых создавалась система обработки ("Киев", Минск-2, М-20), имели малую память и быстроедействие, по сравнению с ЭВМ IBM-709, IBM-7090, используемыми в лабораториях Америки и Европы. Не имея к тому же в то время на машинах трансляторов с алгоритмических языков, мы вынуждены были работать только в машинных кодах, что сильно увеличивало затраты труда на создание системы обработки. И только с получением машин типа БЭСМ-4 и БЭСМ-6 у нас появилась возможность создания современной системы обработки данных, а также использования программ, разработанных на языке ФОРТРАН на Западе.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах<sup>/1-32/</sup> и были доложены на международных конференциях по физике высоких энергий в Дубне (1963 г.), Стэнфорде (1966 г.), на совещаниях по ядерной электронике в Праге (1966 г.), в Москве (1967 г.), на Первой Всесоюзной конференции по программированию в Киеве (1968 г.), а также на I, II и III совещаниях по математическим методам обработки экспериментальных данных в Дубне (1964, 1966, 1967 г.г.).

Перейдем к краткому изложению отдельных глав диссертации.

## 1. О методике использования ЭВМ в современных физических центрах

В первой главе диссертации дается обзор систем обработки информации и оборудования (измерительное и вычислительные машины) в крупных физических центрах мира /29, 33/. Обзор состоит из четырех разделов, в которых рассмотрены работы по системам обработки फिल्मовой информации /39-45, 57/, по бесфилмовой методике экспериментальных исследований /37, 38, 46-48/, проблемам использования систем ЭВМ для экспериментальных исследований /34-36/ и структуре математического обеспечения. В обзоре не преследуется цель дать полную библиографию по рассматриваемым вопросам. На примере решения проблем, связанных с использованием ЭВМ в Лоуренсовской радиационной лаборатории, Аргоннской, Брукхевенской национальных лабораториях, а также в ЦЕРНе, показывается уровень проводимых работ, оснащение лабораторий оборудованием, вычислительной техникой. Проанализированы тенденции развития методики применения ЭВМ для физических исследований и структура современного математического обеспечения /53, 79, 80/.

## 2. Обработка экспериментальных данных с пузырьковых камер

Во второй главе описывается эксплуатирующаяся в настоящее время в ОИЯИ система программ обработки данных с пузырьковых камер /1-6/. Эта система функционально распадается на ряд самостоятельных этапов.

На первом этапе производится просмотр снимков на предмет поиска и опознавания интересных физика ядерных реакций, зере-

гистрированных на фотошленке, на специальных столах (просмотровые столы). Результаты просмотра о найденных событиях заносятся на карточки. Второй этап состоит в измерении событий, отобранных на первом этапе. Измерение производится на специально сконструированных для этого измерительных приборах (ПУОС) с выдачей результатов измерения (координат реперных крестов и точек трека вместе со служебной информацией) на бумажную перфоленду или же по кабелю в ЭВМ, где производится накопление данных на магнитной ленте. Третий этап заключается в восстановлении по координатам проекций трека пространственной картины события и нахождения кинематических характеристик трека: импульса частицы и его направления. На четвертом этапе производится идентификация типа реакции и частиц, участвующих в реакции, посредством использования законов сохранения энергии и импульса. На пятом этапе обработки проводится вычисление физических величин, характеризующих отдельную реакцию. На последнем, шестом, этапе выполняется статистическая обработка всего эксперимента в целом по всем идентифицированным событиям.

В соответствии с этим и математическое обеспечение разбивается на ряд больших программ и их систем, обеспечивающих соответствующую переработку информации на каждом этапе. На рисунке 1 приведена схема программ обработки данных, находящаяся в эксплуатации в ОИЯИ в настоящее время.

Работы первого этапа в нашей системе пока проводятся вручную без использования ЭВМ и соответственно не нуждаются в математическом обеспечении.

Для функционирования второго этапа обработки написана программа ввода в ЭВМ Минск-2 информации, поступающей в виде перфо-

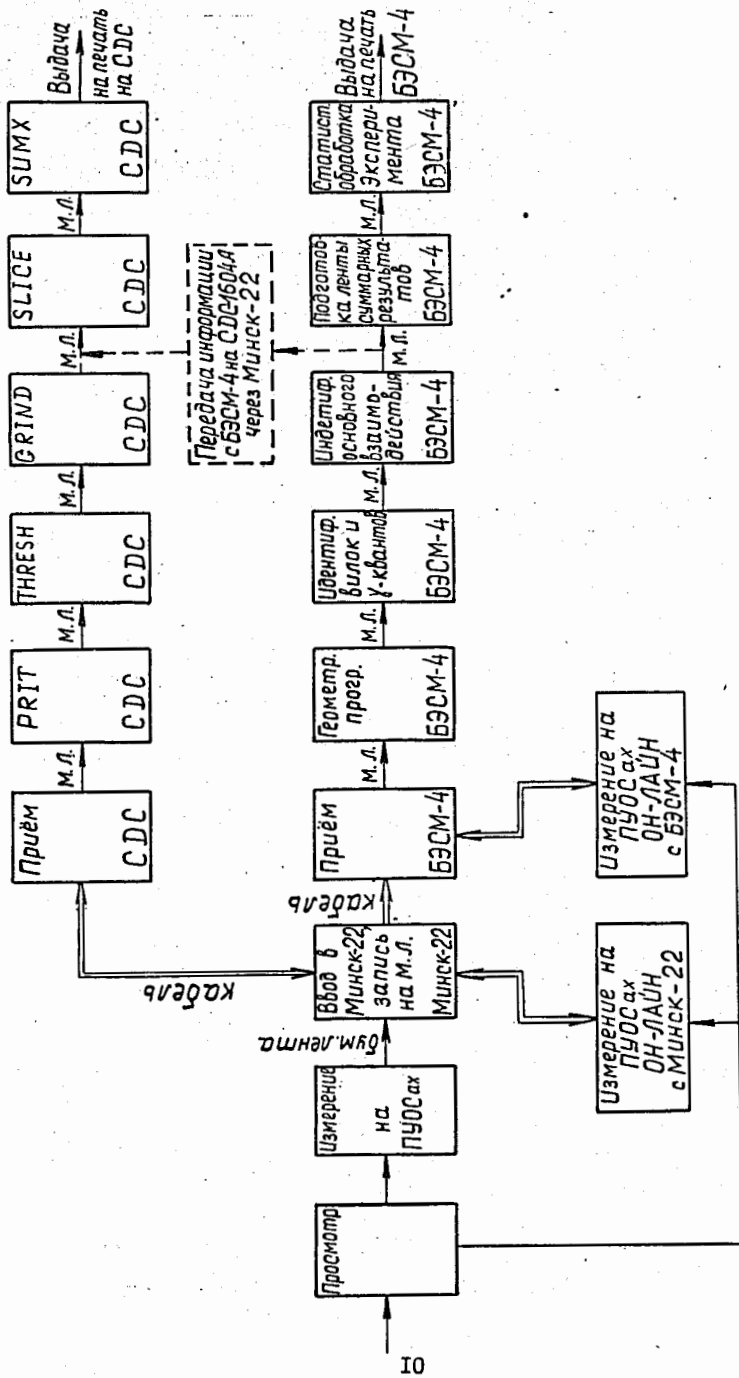


Рис. 1. Схема системы обработки фильмовой информации.

ленты с ПУОСов, и запись её на магнитную ленту. В последующем накопленная информация передаётся в сеансах связи для обчёта на машины М-20 (БЭСМ-4)/18/.

Разработана методика измерений на снимках с пузырьковых камер посредством измерительных полуавтоматов, работающих на линии с вычислительной машиной. Созданы две полуавтоматические измерительные системы<sup>/2,63/</sup> на базе ЭВМ Минск-22 и БЭСМ-4. В процессе измерения производится контроль правильности поступающей в ЭВМ информации. В случае обнаружения ошибки следует сообщение оператору о необходимости повторного измерения реперной точки, отдельного трека или всего события. В системе ПУОСов на линии с БЭСМ-4 предусмотрена возможность одновременно с измерением вести счет фоновой задачи, например, производить обработку данных по геометрической программе.

В процессе развития системы обработки фильмовой информации было создано три геометрических программы для обработки данных с различных пузырьковых камер<sup>х)</sup>. Первая программа<sup>/5, 58/</sup> была предназначена для обработки данных с двухобъективных камер с измерениями только соответствующих точек или же со следами частиц, которые не параллельны базе. Вторая программа<sup>/59/</sup> также была написана для двухобъективных камер, но была предусмотрена возможность обчёта следов, параллельных базе, и более точно были учтены оптические искажения объективов.

Геометрическая программа<sup>/6, 60/</sup> фактически создана на основе предыдущего опыта, а также с использованием стандартных под-

х) Были созданы и другие программы, например, для одномерной пропановой камеры<sup>/61/</sup>.

программ, накопленных в процессе работы над предыдущими геометрическими программами. Программа предназначена для обработки данных с больших пропановых и водородных камер, имеющих до шести объективов. В ней учитывается торможение частицы, многократное рассеяние и радиационные потери, зависимость кинематических параметров от массы частиц, а также допускается задание в камере произвольного трехмерного магнитного поля. В программе предусмотрена возможность сшивки треков.

Обработка данных по программам идентификации на четвертом этапе разбита на две самостоятельные части. Вначале работают программы идентификации вторичных взаимодействий<sup>/66, 67/</sup> (распады  $V^0$  - частиц и  $\gamma$  - квантов). Результаты работы накапливаются на магнитной ленте и затем используются программой идентификации каналов реакций<sup>/68/</sup>, которая проверяет по критерию  $\chi^2$  различные гипотезы о типе реакции и частиц для главного взаимодействия. Производится отбор вероятных гипотез для данного события и их накопление на магнитной ленте. Отбор гипотез производится на основе минимизации по параметрам треков (импульсом частиц) с использованием в качестве условных связей законов сохранения импульса и энергии. Минимизация нелинейного функционала производится итерационным способом при помощи стандартной программы<sup>/56/</sup>. Для получения правильной корреляционной матрицы последняя итерация делается по методу Лагранжа.

На пятом этапе обработки производятся дополнительные расчеты по величинам, выдаваемым геометрической программой и программами идентификации, и готовится информация о событиях для последующего статистического анализа. Первоначально использовалась программа<sup>/62/</sup>, выполняющая необходимые расчеты как с идентифицированными

событиями, так и с данными, получаемыми после геометрической программы. В связи с запуском в эксплуатацию системы обработки на ФОРТРАНе на СДС-1604А, с программами *SLICE* и *SUMX* /43, 55/ подготавливается возможность проведения пятого и шестого этапов обработки по этим программам.

На последнем этапе производится статистическая обработка всего эксперимента в целом. Программа статистической обработки событий позволяет путем задания управляющей информации на перфокартах получить различные гистограммы по данным, полученным на предыдущих этапах и накопленным на магнитной ленте. Вначале было создано несколько программ статистического анализа для конкретных физических групп (например<sup>/65/</sup>). Затем была разработана и написана для БЭСМ-4 универсальная программа<sup>/1, 65/</sup>, являющаяся аналогом программы *SUMX* в ЦЕРНе.

Практически все работы, выполненные в ОИЯИ методикой пузырьковых камер, были сделаны при помощи описанной системы или её более ранних модификаций.

Необходимо сказать несколько слов о переходном периоде в развитии системы обработки данных в ОИЯИ. Пока еще продолжается эксплуатация на БЭСМ-4 программ, написанных в кодах машины для пропановых камер. Уже сдана в эксплуатацию система программ на ФОРТРАНе *THRESH, GRIND, SLICE, SUMX* /55/ для обработки данных с водородных камер на ЭВМ СДС-1604А и Минск-22. Данные в этой системе накапливаются на Минск-22 и передаются в сеансах связи на СДС-1604А<sup>/20/</sup>. Заключительные части обработки для пропановой камеры - подготовку ленты суммарных результатов и статистическую обработку - планируется в ближайшее время проводить по программам *SLICE* и *SUMX* на СДС-1604А. Сейчас ведутся работы по созданию программы передачи данных с БЭСМ-4 на СДС-1604А через Минск-22.



### 3. Методика обработки следов частиц малой энергии в камере Вильсона

Третья глава посвящена решению конкретной задачи по обработке данных для эксперимента по рассеянию  $\Pi$ -мезонов на протонах (а также на гелии и дейтерии) на малые углы с помощью камеры Вильсона<sup>/9-II/</sup>. Необходимость в создании специальной программы для обработки этих данных была вызвана наличием протонов отдачи при упругом  $\Pi$ -р соударении, довольно часто останавливающихся в камере, что заставило учитывать торможение. Неоднородность магнитного поля достигала 30%. Камера Вильсона работала в режиме, не чувствительном к отдельным релятивистским следам  $\Pi$ -мезонов. Регистрировались при этом только протоны отдачи, хорошо видимые при импульсах, не превышающих 100 Мэв/с.

Задача заключалась, во-первых, в создании хорошей модели пучка  $\Pi$ -мезонов на основании специальной экспозиции камеры в режиме, когда были видны следы отдельных мезонов. Необходимо было задать магнитное поле с использованием для этого минимума оперативной памяти машины. Поскольку нужно было учитывать торможение частиц, были подготовлены программы получения таблиц зависимости пробега от импульса для конкретных наполнений камеры Вильсона и давления в ней. Далее необходимо было составить собственно геометрическую программу получения параметров отдельного трека. Созданная геометрическая программа распадается на две части.

Первая часть - это нахождение нулевого приближения, получаемого, как в обычных геометрических программах в предположении по-

стоянного магнитного поля и отсутствия торможения. На этом этапе производится обработка данных в плоскости кадров, сглаживание кривых (выброс плохо измеренных точек), поиск соответствующих точек и восстановление пространственной картины события, нахождение параметров трека посредством проведения по методу наименьших квадратов через пространственные точки трека винтовой линии. Для частиц, останавливающихся в камере, импульс находился по таблицам.

Вторую часть геометрической программы составляют блоки, которые посредством интегрирования уравнений движения заряженной частицы в магнитном поле с учётом торможения, а также путём минимизации, находят оптимальные значения вектора скорости протона.

Работа второй части программы построена целиком на использовании специально написанных подпрограмм для интегрирования уравнений движения и проектирования теоретических пространственных точек на плоскости кадров, подпрограмм, производящих нахождение кратчайших расстояний между двумя системами точек (измеренных и теоретических) в плоскости кадра численного дифференцирования. Собственно минимизация проводилась при помощи стандартной подпрограммы минимизации нелинейных функционалов посредством метода линеаризации<sup>/56/</sup>.

Последующие части программы, работающие после геометрической программы, находят кинематические характеристики частиц, а также ошибки (корреляционную матрицу) посредством специально написанной для этого стандартной программы<sup>/28/</sup>. Вычисля-

ется также эффективность регистрации события в камере. Программа обработки данных с камеры Вильсона эксплуатируется с 1962 г. Геометрическая программа с аналогичными возможностями позже была создана в Беркли<sup>/42/</sup>.

#### 4. Методика использования ЭВМ на линии с экспериментальными установками

В четвертой главе дается изложение методики проведения экспериментов с использованием ЭВМ на линии с экспериментальными установками. Рассматриваются требования к ЭВМ для он-лайн эксперимента. Обработка экспериментальных данных с их вводом в ЭВМ, минуя промежуточные носители, используется в ОИЯИ уже более шести лет для спектрометрической информации<sup>/69/</sup>. Однако методика использования ЭВМ с предварительной обработкой поступающих данных в реальном времени имеет в ОИЯИ всего трехлетнюю историю, которая началась с подготовки эксперимента по изучению упругого рассеяния мезонов на протонах <sup>12-15, 70, 71//</sup>. В последних разделах четвертой главы описывается математическое обеспечение экспериментов на линии с ЭВМ на примере системы, созданной для упомянутого эксперимента, и системы математического обеспечения обработки спектрометрической информации с предварительной обработкой данных в реальном времени<sup>/16, 72/</sup>.

##### 4.1. Искровые камеры на линии с БЭСМ-3М (БЭСМ-4)

Математическое обеспечение экспериментов с искровыми камерами на линии с ЭВМ подразделяется на три самостоятельных части.

В первую часть входит система программ, работающая в реальном времени, то есть в момент проведения эксперимента. Главным назначением этих программ является снятие информации, её фильтрация и накопление. Одновременно на основании предварительной обработки припимаемой информации производится контроль за работой физических установок (искровых камер, ускорителя и аппаратуры связи).

В связи с недостатком мощности ЭВМ для полной обработки в реальном времени получаемой информации, она накапливается на магнитной ленте, и её обработка производится после окончания эксперимента. Счёт по этим программам, составляющим вторую группу (оф-лайн программы), производится как и по обычным программам общего назначения, не связанным с накоплением экспериментальных данных. В принципе обработка по этим программам информации, накопленной в он-лайн режиме, может производиться по другой ЭВМ.

Третья группа программ, входящих в математическое обеспечение эксперимента на линии с ЭВМ, служит для получения физических характеристик системы, её констант, необходимых как программам, используемым в реальном времени, так и программам последующей обработки. В состав этой группы входят программы, находящие константы установки по ранее накопленным данным, полученным в обычном режиме работы системы, а также в специальных опытах, предназначенных только для получения констант. Часть программы этой группы работает в режиме реального времени.

В качестве регистрирующей аппаратуры в эксперименте<sup>/12/</sup> использовался спектрометр из девяти магнитострикционных искровых камер и трех сцинтилляционных счётчиков, запускающих систему. При последующем развитии был добавлен монитор, производящий отсев

прямых прохождений, а также регистрирующий интенсивность пучка. Регистрация одного события заключалась в приеме на БЭСМ-3М (сейчас на БЭСМ-4) с регистров спектрометра I2 слов, описывающих координаты искр, интенсивность пучка, число прямых прохождений.

В течение одного импульса ускорителя (0,4 сек.) возможна была регистрация порядка 100 событий. Затем в течение периода ускорения (10 сек.) до следующего импульса производилась предварительная обработка поступившей информации и её запись на магнитную ленту, после чего машина ожидала запроса на связь для приёма информации от следующего импульса ускорителя.

Первый вариант программы он-лайн состоял из простой управляющей программы, программы приёма данных, программы анализа и фильтрации данных, блока записи на магнитную ленту<sup>/13/</sup>. Существенную часть программы анализа данных составляли блоки контроля аппаратуры. В процессе эксперимента вычислялась статистическая вероятность нулевых отсчётов по каждому регистрирующему устройству (на каждую искровую камеру по четыре счётчика), статистическая вероятность "отказов" камеры, пробоев по старому следу в каждой камере, вероятность регистрации нескольких искр.

Накопление производилось на магнитной ленте всех принятых событий. Это позволило проверить в режиме оф-лайн критерии отбора полезных событий, а также блоки контроля аппаратуры.

На основании опыта, полученного в первом эксперименте, программа он-лайн была существенно изменена. Управляющая программа превратилась в небольшой супервайзер, организующий работу БЭСМ-3М (БЭСМ-4) в режиме он-лайн. В случае свободного времени на ЭВМ управляющая программа в зависимости от указаний оператора допускает к счёту либо постороннюю задачу, либо производит вызов бло-

ков оф-лайн программы, производящих полный анализ информации. Организация работы БЭСМ-3М посредством супервайзера, вызывающего в зависимости от возможностей и запросов на счет блоки программ различных приоритетов, позволяет эффективно использовать машинное время ЭВМ. Однако, наибольший выигрыш при использовании супервайзера для организации работ в он-лайн режиме заключается в том, что он позволяет легко подключать к системе, по мере необходимости, новые блоки контроля аппаратуры связи спектрометра, ускорителя. При этом режим работы в данный момент (по каким блокам производится контроль, что выдаётся оператору) задаётся нажатием определённых клавиш на пульте ЭВМ или посылкой соответствующих инструкций с выносного пульта<sup>/27/</sup>.

Блоки контроля не только производят вычисление величин, но также проверяют, находятся ли они в заданных пределах. Для того, чтобы было возможно своевременно вызвать блоки приёма в оперативную память, со спектрометра, за некоторое время до начала импульса ускорителя, приходит сигнал "вызов", сообщающий о необходимости приготовиться к приёму данных. Имеются блоки контроля, получающие гистограммы для распределения пучка по углам, по импульсам, местоположения пучка и др.

Программа для работы ЭВМ в он-лайн режиме со спектрометром организована таким образом, что она может быть использована в качестве основы при создании математического обеспечения любого другого он-лайн эксперимента на ускорителях, имеющих циклический характер работы, например, в ИФВЭ в Серпухове, когда между короткими импульсами во время регистрации событий имеется пауза, во время которой супервайзером организуется обработка зарегистрированной информации по соответствующим программам.

#### 4.2. Система программ обработки спектрометрической информации

Как уже упоминалось, кабельная связь для передачи спектрометрической информации в ЭВМ (сначала "Киев", затем Минск-2(22)) без предварительной обработки поступающей информации или с минимальной обработкой использовалась в ОИЯИ более шести лет<sup>/69/</sup>. Математическое обеспечение этих ранних систем<sup>/3, 73/</sup> было рассчитано лишь на приём данных с одного измерительного центра ЛНФ. Накопленные данные в сеансах связи передавались на ЭВМ М-20, где производилась их окончательная обработка<sup>/74/</sup>.

Следующая система обработки спектрометрической информации (ПОФИ)<sup>/16/</sup> с предварительной обработкой в реальном времени принимаемой информации на ЭВМ Минск-2<sup>/72/</sup> при помощи осциллографа со световым карандашом<sup>/75/</sup> является уже вполне современной он-лайн системой, рассчитанной на обслуживание одновременно ряда экспериментов.

Основные задачи этой системы заключаются в обеспечении приёма информации в ЭВМ типа "Минск", поступающей с ряда внешних объектов (по кабелю, с МЛ, с автономного МОЗУ и т.д.). Система даёт возможность с помощью некоторой предварительной обработки характеристик спектра проследить за качеством проводимого физического эксперимента или ранее проведённого эксперимента. На основании предварительной обработки решается вопрос о целесообразности дальнейшей обработки.

В системе ПОФИ на базе Минск-2 не ставилась цель обеспечить полностью проведение и обработку всех возможных физических экспериментов. Был проведен ряд экспериментов, таких как: обработка времяпролётных спектров, полученных при измерении захвата

нейтронов изотопами селена; измерение полных сечений изотопов селена. Эксплуатация этой системы прежде всего подтвердила целесообразность и практичность такой системы, был накоплен опыт, который используется при создании аналогичной системы на ЭВМ типа БЭСМ-4, но с существенно большими возможностями для обработки в реальном времени.

Экспериментальные данные в системе обработки ПОФИ на базе Минск-2 и М-20 (БЭСМ-4) поступали в Минск-2 по кабелю из измерительного центра ЛНФ<sup>/69/</sup>, из измерительного центра ЛЯП - в виде узкой магнитной ленты<sup>/77/</sup>, накапливались в дополнительном запоминающем устройстве машины, которое работало в это время в режиме анализатора<sup>/78/</sup>.

Созданная система математического обеспечения позволяет автоматически (в каком-то смысле в мультипрограммном режиме) проводить параллельно ряд экспериментов, обслуживаемых одной машиной.

#### 5. Вопросы применения систем ЭВМ для физических исследований

Пятая глава посвящена описанию системы машин в ОИЯИ и её использованию для обработки данных.

Обсуждаются задачи, приводящие к необходимости создания систем ЭВМ, с целью максимальной эффективности их использования и оперативного удовлетворения запросов на вычислительную мощность отдельных потребителей.

Дается описание системы, состоящей из машин М-20 и "Киев"<sup>/3, 17/</sup>, системы из ЭВМ "Минск-2" и двух М-20 (БЭСМ-4)<sup>/18/</sup>, а

также системы из ЭВМ Минск-22 и СДС-1604А/20/. Хотя система с ЭВМ "Киев" использовалась в ОИЯИ всего несколько лет, тем не менее решения, принятые при создании этой системы, а также организация обработки данных по этой системе не только использовались при создании системы с "Минск-2", но также будут использованы и в системе машин ОИЯИ с ЭВМ БЭСМ-6, ряде БЭСМ-4, СДС-1604А и "Минск-22".

Системы ЭВМ в ОИЯИ создавались для оптимизации использования вычислительных мощностей при обработке экспериментальных данных. Ввиду большого количества информации, подлежащей вводу в ЭВМ, более мощная ЭВМ М-20 тратила значительное время (до половины - при обработке по геометрическим программам) на ввод данных с бумажной перфоленды. Естественно было возложить эти функции ввода (а на ЭВМ "Киев" и вывода) на менее мощную машину. Хотя для ввода при этом на вспомогательной машине использовалось столько же машинного времени, сколько и на М-20, однако, поскольку это время тратилось более слабой машиной, вычислительная мощность всей системы увеличивалась на число часов времени М-20, затрачиваемого ранее на операции по вводу-выводу. Экономия получалась, конечно, не за счёт времени чистого ввода, а за счёт большого простоя ЭВМ при работе оператора по установке перфоленды, снятия её, повторного ввода при неправильном вводе, при обрыве перфоленды и т.д.

Функциональное распределение работ между ЭВМ в системе обработки было следующим.

Данные с бумажной перфоленды в течение одного или нескольких дней на машине "Киев" записывались на магнитную ленту. Информация с измерительного центра ЛНФ поступала по кабелю и записывалась на автономный магнитофон "Киева".

Время от времени, в соответствии с расписанием работ, машины М-20 и "Киев" работали совместно по программе связи, и информация с магнитных лент "Киева" переписывалась на ленты М-20. При съёме на М-20 задач с большой выдачей результаты накапливались на магнитной ленте М-20. В сеансах связи они передавались на "Киев", где или печатались на бумагу или выдавались в виде перфокарт. Такая система организации работы целиком освобождала основную машину М-20 от непроизводительных операций по вводу-выводу, перекладывая её на более медленную машину "Киев".

Последующее развитие системы машин ОИЯИ связано с выводом из эксплуатации ЭВМ "Киев" и заменой его более надёжной ЭВМ "Минск-2". Затем к этой системе была присоединена ещё одна М-20, которая, в свою очередь, была потом заменена на БЭСМ-4/4, 18/. При этом функциональное назначение отдельных машин осталось прежним. Однако, поскольку на "Минск-2" было возложено обслуживание ряда объектов (измерительный центр ЛНФ, измерительные приборы ЛЯП, М-20, а в последующем БЭСМ-4), потребовалось введение ряда прерываний от внешних объектов и охраны памяти. Для обеспечения эффективной работы появилась необходимость в автоматической смене программ внешних объектов и соответственно в диспетчере, организующем эту смену.

На базе этой системы ЭВМ была создана функционирующая частично и в настоящее время система обработки фильмовой и спектрметрической информации. В последующем она была расширена включением в неё ЭВМ "Минск-22", фактически дублирующей работу "Минск-2" и снимающей на себя часть работ по связи с внешними объектами и накоплению информации. Программа, обслуживающая канал связи с измерительным центром ЛНФ, посылающим спектрметри-

ческую информацию, а также программа связи с группой измерительных полуавтоматов ПУОС являются программами, обслуживающими работу внешних объектов в режиме на линии с ЭВМ с предварительной обработкой поступающей информации, её контролем и посылкой сообщений оператору на внешний объект. Диспетчер<sup>/76/</sup>, созданный для автоматической смены решаемых задач, был рассчитан на одновременную организацию счета на "Минск-2" по восьми независимым программам.

В эксплуатируемой сейчас системе из "Минск-22", БЭСМ-4 и СДС-1604А машина Минск-22 также является вспомогательной ЭВМ, производящей предварительное накопление на магнитной ленте экспериментальной информации. Информация с магнитных лент Минск-22 в сеансах связи передается на БЭСМ-4 или СДС-1604А для последующей обработки.

Создаваемая в настоящее время система ЭВМ с БЭСМ-6, несколькими БЭСМ-4, СДС-1604А, Минск-22 будет составлять измерительно-вычислительный комплекс ОИЯИ (ДУБНА) для обработки данных. Основную вычислительную мощность комплекса обеспечивают базисные машины БЭСМ-6 и СДС-1604А. Назначение периферийных машин в измерительных центрах лабораторий - это сбор и предварительная обработка данных посредством специальной аппаратуры, работающей на линии с ЭВМ (искровые камеры, анализаторы, измерительные полуавтоматы, сканирующие автоматы типа НРД, автомат на электронно-лучевой трубке, спиральный измеритель), или же накопление данных и программы с бумажной ленты и перфокарт. Для проведения больших вычислений периферийные ЭВМ время от времени обращаются к БЭСМ-6, посылая информацию и получая результат обработки обратно.

В конце пятой главы рассматривается возможный вариант структуры математического обеспечения комплекса ДУБНА, анализируются

режимы работы отдельных ЭВМ, комплекса и потоков информации между ними.

## 6. Математическое обеспечение ЭВМ в физических центрах

В шестой главе обсуждаются вопросы выбора основного алгоритмического языка для обработки данных. Выбор сделан в пользу языка ФОРТРАН. Это обусловлено тем, что фактически все ведущие физические центры используют ФОРТРАН в качестве основного языка. Немаловажную роль сыграло наличие большого количества разнообразных программ, написанных на этом языке, и приспособленность ФОРТРАНа для целей обработки данных.

Дается характеристика работам, связанным с внедрением языка ФОРТРАН в ОИЯИ в качестве основного алгоритмического языка. В число этих работ входит создание системы программ обработки данных для водородных камер на основе программ ЦЕРНа *THRESH, GRIND, SLICE и SUMX*, системы математического обеспечения на языке ФОРТРАН для сканирующего автомата НРД, системы программ обработки данных для пузырьковых камер, наполненных тяжелыми жидкостями, с использованием при этом как программ ЦЕРНа, так и алгоритмов, разработанных в ОИЯИ для системы программ на БЭСМ-4.

Ключевыми работами, связанными с внедрением языка ФОРТРАН, является создание математического обеспечения с транслятором с ФОРТРАНа для БЭСМ-6. Сюда входят как работы по программному обеспечению БЭСМ-6, так и работы по созданию библиотеки программ об-

щего назначения, в том числе и по адаптации подпрограмм на ФОРТРАНе из библиотеки ЦЕРНа.

Выбор структуры математического обеспечения был сделан на основе анализа операционных систем современных электронных машин, имеющих в своем составе трансляторы с языка ФОРТРАН, а также исходя из возможностей математического обеспечения, уже имевшегося на БЭСМ-6/49/.

Математическое обеспечение ЭВМ с транслятором с ФОРТРАНа включает в себя/21-26/ диспетчер и мониторинговую систему, организующие прохождение потока задач через ЭВМ, транслятор с ФОРТРАНа, транслирующий подпрограмму и выдающий во временную библиотеку стандартных программ результат трансляции в виде стандартного массива; загрузчик, в функции которого входит вызов из библиотеки стандартных программ и их загрузка в оперативную память машины. Процесс трансляции программы на ФОРТРАНе распадается на два независимых этапа.

Первый этап заключается в трансляции сегментов программы (подпрограмм и функций). Отдельный сегмент транслятором с ФОРТРАНа рассматривается как замкнутая единица, не зависящая от других сегментов программы. При трансляции сегментов стандартные массивы сегментов (стандартные подпрограммы в кодах машин) включаются во временную библиотеку программ, которая забывается сразу после прохождения данной задачи через машину.

Вторым этапом превращения программы на алгоритмическом языке в рабочую программу в кодах машины является компиляция её посредством загрузчика, который вызывает стандартные массивы сначала из временной библиотеки, затем из постоянной, производит их загрузку

в оперативную память и, соответственно, настройку, объединяя отдельные стандартные массивы в рабочую программу. В состав математического обеспечения входит также ассемблер, являющийся транслятором с языка машины, записанного в символическом виде и расширенного несколькими операторами, позволяющими получать после работы ассемблера такие же стандартные массивы, как после трансляции с языка ФОРТРАН.

Транслятор с ФОРТРАНа, ассемблер и другие блоки системы с точки зрения математического обеспечения являются обычными стандартными программами, включенными в постоянную библиотеку программ. Управление системой и трансляторами осуществляется посредством управляющих перфокарт, подкладываемых перед пропускаемыми через ЭВМ колодами перфокарт с задачами.

Работы по созданию математического обеспечения на БЭСМ-6 по вышеописанной схеме были начаты в ОИЯИ в 1966 году. Через некоторое время было заключено соглашение о сотрудничестве по этой тематике с отделом программирования ВЦ МГУ, также работавшего над созданием математического обеспечения БЭСМ-6/51, 52/. В результате система была расширена за счет включения в неё транслятора с САБСЕТ-АЛГОЛа. Был также переработан формат стандартного массива с включением в него возможностей, необходимых для реализации как ФОРТРАНа, так и АЛГОЛа, и согласован входной язык для ассемблера с символического языка для БЭСМ-6.

В дальнейшем работы в обеих организациях велись в соответствии с общим проектом. В настоящее время на БЭСМ-6 эксплуатируется система с транслятором с ФОРТРАНа, загрузчиком, монитором, библиотекой стандартных программ и ассемблером с символического языка, созданных в ОИЯИ. Транслятор с АЛГОЛа, создаваемый в

ВЦ МГУ, будет по окончании его отладки включён в систему.

В начале 1967 г. под руководством члена-корреспондента АН СССР С.С.ЛАВРОВА комиссией из представителей ряда организаций, в том числе ИТМ и ВТ, ОИЯИ, ВЦ МГУ были разработаны требования на операционную систему для серийного образца БЭСМ-6/50/, допускающие включение в неё в виде подсистемы математического обеспечения, создаваемого в соответствии с проектом ОИЯИ и ВЦ МГУ.

На рис. 2 показана общая схема математического обеспечения. Диспетчер после внесения в него соответствующих изменений для включения в него загрузчика организует работу всех внешних устройств на ЭВМ, а также мультипрограммный счёт задач. Мультипрограммность работы организуется на уровне диспетчера для задач в кодах машины с паспортами, поступающими через читающие устройства в ЭВМ, а также задач, поступающих после их трансляции от монитора. Монитор с трансляторами с ФОРТРАНа, САБСЕТ-АЛГОЛа, ассемблером, а также библиотекарем с точки зрения диспетчера является обычной задачей. Эта задача, будучи допущена на счёт, резервирует для себя все ресурсы машины (за исключением памяти и внешних устройств, предназначенных для задачи ввода-вывода) и организует пакетную обработку потока задач на алгоритмических языках.

Трансляция внутри потока задач идёт при этом фактически в однопрограммном режиме. Счёт ранее транслированных задач может идти в мультипрограммном режиме. Параллельно с прохождением потока задач на БЭСМ-6 будет идти под управлением диспетчера еще и задача ввода и вывода, так что несмотря на однопрограммную транс-

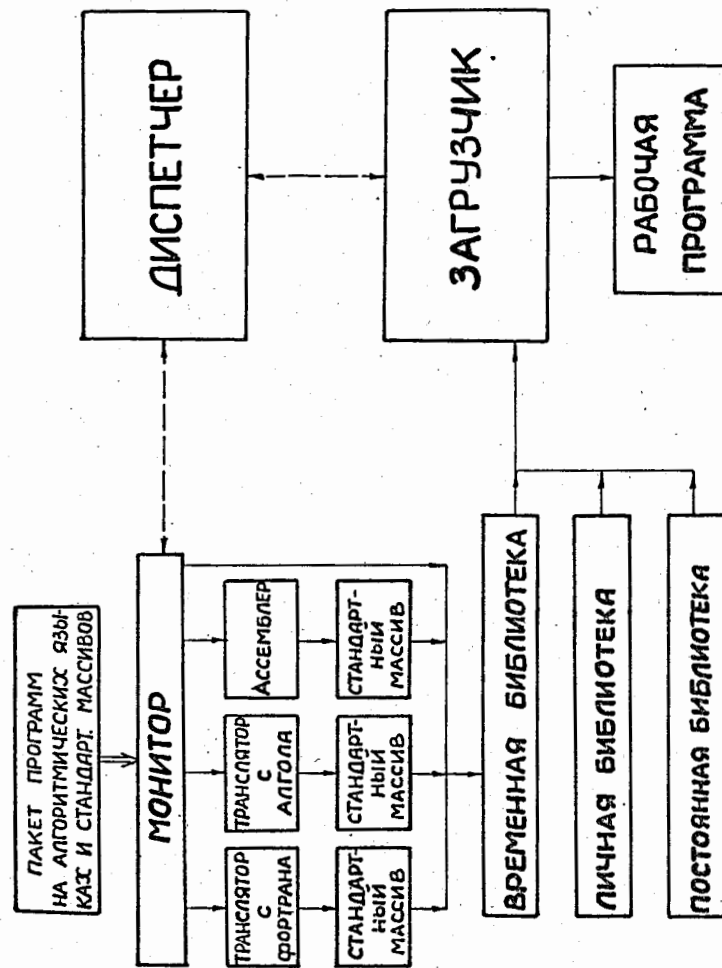


Рис.2.Общая схема математического обеспечения БЭСМ-6



ляцию потока задач, в значительной мере решается вопрос об эффективности использования мощности ЭВМ.

Прохождение информации через ЭВМ выглядит следующим образом:

Перфокарты задач последовательно поступают в читающее устройство и параллельно с трансляцией и счётом уже ранее введённых задач накапливаются на магнитных лентах. Информация для пакетной обработки берётся посредством специальной подпрограммы с ранее накопленных магнитных лент. Результаты счёта накапливаются на магнитной ленте.

Параллельно с вышеперечисленными операциями по мере готовности устройств идёт выдача ранее накопленной информации с магнитных лент на печать, перфораторы, телетайпы.

Для обеспечения работы системы машин ОИЯИ в математическом обеспечении БЭСМ-6 функции задачи ввода-вывода и диспетчера необходимо будет расширить, включив в их обязанности сбор информации с периферийных ЭВМ (БЭСМ-4, СДС-1604А, Минск-22) и посылку на эти машины результатов счёта.

## 7. Выводы

Перечислим теперь кратко основные результаты, изложенные в диссертации.

1. Разработана и создана система программ на базе ЭВМ М-20, Минск-2, БЭСМ-4 для обработки данных с пузырьковых камер, обеспечивших в ОИЯИ в течение 1961-1968 г.г. обработку всех эксперимен-

тальных данных, получаемых на водородных и пропановых камерах Института как с двухобъективной, так и с многообъективной оптикой. Система пригодна и для обчёта данных с больших пузырьковых камер, устанавливаемых на 70-миллиардном ускорителе в Серпухове.

Разработана методика обработки данных для камеры Вильсона при её работе в специальном режиме для изучения упругих П-р, Не-р и  $d$ -р взаимодействий. Создана система программ, обработка данных по которой ведётся с 1962 г.

Создан комплекс программ и запущена в эксплуатацию полуавтоматическая система измерения камерных снимков с использованием измерительных полуавтоматов. ПУОС на линии с электронно-вычислительными машинами.

2. В 1966-68 г.г. разработана методика и создана система математического обеспечения для экспериментов на синхрофазотроне ЛВЭ с использованием искровых камер на линии с вычислительной машиной. В частности, создана система программ для экспериментов по изучению рассеяния П-мезонов на протонах. Разработанную методику и ряд программ предполагается использовать и в экспериментах на ускорителе в Серпухове.

На базе электронных машин Минск-2 и М-20 (БЭСМ-4) создана и с 1963 г. эксплуатируется система обработки спектрометрической информации, поступающей по кабелю из измерительного центра ЛНФ. В последнем варианте системы программ, запущенных в эксплуатацию в 1967 г., в реальном времени производилась предварительная обработка данных, поступающих на Минск-2.

3. Разработан проект и ведутся работы по внедрению языка ФОРТРАН в качестве основного алгоритмического языка в ОИЯИ.

В рамках реализации этого проекта:

а) Разработан проект математического обеспечения с транслятором с языка ФОРТРАН для БЭСМ-6 и развернуты работы по его реализации. Первый вариант системы в составе транслятора с ФОРТРАНа, ассемблера, загрузчика, монитора для пропуска потока задач, библиотеки стандартных программ (более сотни наименований) сдан в эксплуатацию и планируется к использованию не только в ОИЯИ, но и на других серийных ЭВМ, выпускаемых промышленностью.

б) Проведены необходимые работы по адаптации и внедрена в эксплуатацию на базе ЭВМ СДС-1604А и Минск-22 система программ обработки данных ЦЕРНа *THRESH, GRIND, SLICE, SUMX*.

в) Ведутся работы по созданию на языке ФОРТРАН системы программ обработки данных для пузырьковых камер с тяжёлыми жидкостями, а также математического обеспечения НРФ.

4. Проведены необходимые математико-логические разработки по модернизации электронных машин и созданы программы, обеспечивающие функционирование системы машин ОИЯИ "Киев", М-20, а затем "Минск-2" (22), БЭСМ-4 и СДС-1604А для обработки данных.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. Н.Н.Говорун, В.И.Мороз, Г.Н.Тентюкова, В.Н.Шигяев, Препринт ОИЯИ IO-3627, Дубна (1967).
2. В.Н.Бондаренко, Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар, В.В.Ермолаев, Э.М.Иванченко, В.Д.Инкин, Г.М.Кадыков, С.В.Кадыкова, В.Н.Капустина, Ю.А.Каржавин, Э.В.Лысенко, Р.В.Мальцев, В.И.Мороз, О.К.Нефедьев, В.И.Садонников, В.И.Семашко, В.Д.Степанов, Г.Н.Тентюкова, В.Б.Флягин, В.Н.Шигяев, А.А.Шуравин, Препринт ОИЯИ IO-3426, Дубна (1967).
3. Н.Н.Говорун. Препринт ОИЯИ 2005, Дубна (1965).
4. Н.Н.Говорун, Препринт ОИЯИ 5-3263, Дубна (1967).
5. Н.Н.Говорун, Е.П.Жидков, Л.И.Лепилова, Г.И.Макаренко, Г.Н.Тентюкова, Препринт ОИЯИ IO02, Дубна (1962).
6. Н.Н.Говорун, Г.А.Емельяненко, Н.Ф.Маркова, В.И.Мороз, В.И.Никитина, И.С.Сайтов, А.П.Стельмах, Г.Н.Тентюкова, Препринт ОИЯИ PII-3480, Дубна (1967).
7. М.Г.Мещеряков, Н.Н.Говорун, Вестник Академии наук СССР, 3, Москва (1968).
8. Н.Н.Говорун. Материалы III зимней школы по теории ядра и физике высоких энергий, ФТИ, ч. II, Ленинград (1968).
9. Н.Н.Говорун, И.В.Попова, Л.А.Смирнова, Т.В.Рыльцева. Препринт ОИЯИ IO01, Дубна (1962).
10. Н.Н.Говорун, И.В.Попова, Л.А.Смирнова, Т.В.Рыльцева, В.А.Никитин, А.А.Номофилов, В.А.Свиридов, Л.А.Слепец, И.М.Ситник, Л.Н.Струнов, ПТЭ, № 4 (1966). Препринт ОИЯИ 2036, Дубна (1966).
11. Н.Н.Говорун, И.В.Попова. В кн. "XII Международная конференция по физике высоких энергий", Дубна, август 1964, т. 2, М., Атомиздат, 1966. Препринт ОИЯИ 2005, Дубна (1965).
12. I.V.Chuvilo, P.I.Filipov, A.S.Gavrilov, N.N.Govorun, I.A.Golutvin, E.D.Gorodnichev, I.M.Ivanchenko, S.S.Kirilov, Yu.T.Kirushin, V.D.Kondrashov, G.M.Kadykov, V.I.Moroz, T.C.Nigmanov, O.K.Nefeduev, V.P.Pugachevich, V.N.Sadonnikov, E.N.Tsyganov, Yu.V.Zanevsky, Proc. of the International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Stanford 1966; Nucl. Instr. and Meth., 54, N 2; 1967; Preprint JINR, E13-3141, Dubna, 1967.
13. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко, Препринт ОИЯИ IO-3357 (1967).
14. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко, Препринт ОИЯИ P10-3652, Дубна (1967).

15. А.С.Гаврилов, Н.Н.Говорун, И.А.Голутвин, Е.Д.Городничев, В.Загинайко, Ю.В.Заневский, И.М.Иванченко, С.С.Кирилов, В.Т.Киришин, В.Д.Кондрашов, А.П.Кретов, Г.М.Кадьков, В.И.Мороз, Г.И.Макаренко, Т.С.Нигмэнов, О.К.Нефедьев, В.П.Пугачевич, В.Н.Садовников, Л.Н.Струнов, А.П.Стельмах, П.И.Филиппов, Э.Н.Цыганов, И.В.Чувило, ПТЭ № 5, (1967), Труды IУ симпозиума по радиоэлектронике, Прага, октябрь (1966). Прага (1967).
16. Л.С.Нефедьева, Н.Н.Воробьева, Н.Н.Говорун, Т.С.Рерих, В.М.Ягфэрова, Препринт ОИЯИ II-3961, Дубна (1968).
17. Н.Н.Говорун, А.Я.Астахов, Э.В.Лысенко, Г.М.Кадьков, И.М.Иванченко, В.В.Федорин, Препринт ОИЯИ 2914, Дубна (1966).
18. А.Я.Астахов, Н.Н.Говорун, Н.Д.Дикусар, И.М.Иванченко, Г.М.Кадьков, С.В.Кадькова, Э.В.Лысенко, О.К.Нефедьев, Л.С.Нефедьева, В.И.Семашко, И.Н.Силин, Г.Н.Тентюкова, В.Н.Шигэев, Препринт ОИЯИ IO-3324, Дубна (1967).
19. А.Я.Астахов, Н.Н.Говорун, Е.П.Жидков, В.В.Федорин, Препринт ОИЯИ 5-3263, Дубна (1967).
20. Н.Н.Говорун, А.И.Ефимова, И.М.Иванченко, А.А.Карлов, Э.В.Лысенко, Препринт ОИЯИ II-4366, Дубна (1969).
21. Н.Н.Говорун, Д.Леч, Л.С.Нефедьева, И.Н.Силин, В.П.Шириков, Препринт ОИЯИ 5-3263, Дубна (1967).
22. В.Ю.Веретенев, Н.Н.Говорун, Е.А.Жоголев, В.П.Иванников, М.И.Кабанов, Л.Н.Королев, Е.Н.Пасхин, Д.Б.Подшивалов, О.И.Рау, В.А.Ростовцев, И.Н.Силин, А.Н.Томилин, Н.П.Трифонов, М.Г.Чайковский, В.П.Шириков. Первая всесоюзная конференция по программированию. Киев. Изд. Института кибернетики АН УССР (1968).
23. В.Бродински, В.Ю.Веретенев, Гизе Петер, Гизе Пирожка, Р.Гирр, Н.Н.Говорун, Н.С.Зайкин, В.А.Загинайко, Д.Леч, Э.Ловаш, Г.Л.Мазный, Р.В.Полякова, А.И.Салтыков, Г.Л.Семашко, И.Н.Силин, А.А.Хоменко, В.П.Шириков. Первая всесоюзная конференция по программированию, Киев, Изд. Института кибернетики АН УССР (1968).
24. Н.Н.Говорун, Препринт ОИЯИ Б2-3907, Дубна (1968).
25. Н.Н.Говорун, В.А.Ростовцев, Препринт ОИЯИ, Б2-3907, Дубна (1968).
26. В.Ю.Веретенев, Н.Н.Говорун, В.А.Ростовцев, И.Н.Силин, В.П.Шириков, Препринт ОИЯИ Б2-II-3908, Дубна (1968).
27. Н.Н.Говорун, И.М.Иванченко, В.Л.Пахомов, В.И.Первушов, Ю.В.Туганкин, Б.П.Федосов, Препринт ОИЯИ, II-3880, Дубна (1968).
28. Н.Н.Говорун, А.И.Родионов, Б.В.Феоктистов, Препринт ОИЯИ PII-3273, Дубна (1967).
29. Н.Н.Говорун, В.Н.Шигэев, Препринт ОИЯИ БI-IO-4433, Дубна (1969).
30. Н.Н.Говорун, Препринт ОИЯИ БI-IO-4434, Дубна (1969).
31. Н.Н.Говорун, В.А.Ростовцев, Препринт ОИЯИ БI-IO-437I, Дубна (1968).
32. Н.Н.Говорун, В.А.Загинайко, А.И.Родионов, Б.В.Феоктистов, Препринт ОИЯИ БI-IO-4432, Дубна (1969).
33. В.W.Powell, D.Lord, T.Lingjaerde. CERN-DD/DA/66/I7 1966. Part I, II, III.
34. P.M.Blackall, CERN-DD/CO/66/6, 1966.
35. P.M.Blackall, CERN-DD/CO/67/7, 1967.
36. J.M.Friedman, L.S.Padwa, M.Platt. BNL internal memorandum, AMD 517, 1968.
37. P.Scharff-Hansen, CERN NP internal report, 1969.
38. S.J.Lindenbaum, BNL I2900, 1968.
39. W.E.Humphrey, мемо II, ZRZ, 1959.
40. S.White et al. University of California, Lawrence Radiation Lab. Berkeley, California, 1961.
41. A.M.Chops. THRESH. CERN, DD/EXP/63/I2.
42. F.T.Solnitz, A.D.Jonson and T.B.Day, Alvarez Group, 1965.
43. T.C.Library, CERN, v.I-3, 1968.
44. P.V.Hough, В.W.Powell. Nuovo Cimento IO, No. 6, 1960.
45. Proceedings of the International Colloquium on PEPR, University of Nijmegen, 5-7 June, 1968, Netherlands.
46. R.M.Brown and E.H.Mueller, Nucleonics, 25, N 3, 1967.
47. А.Д.Смирнов, Ю.М.Бушуев, И.И.Самков, В.сб. "Управляющие машины и системы", вып. 2, Киев, Институт кибернетики АН УССР (1965).
48. М.Н.Иванов, В.И.Кадашев, И.А.Кондуров, С.Н.Николаев, А.П.Нехай, А.Г.Никаноров, В.И.Петрова, Труды VI конференции по ядерной радиоэлектронике, т. 3, Атомиздат, М., 1965.
49. Математическое обеспечение БЭСМ-6, ИТМ и ВТ, ВЦ АН СССР, М., 1967.

50. Л.Н.Королев, В.П.Ивонников, А.Н.Томилин, ЖВМ и МФ, т. 8, № 6 (1968).
51. Е.А.Жоголев, В сб. "Вычислительные методы и программирование, IX", Изд-во МГУ (1967).
52. Е.А.Жоголев, Научный отчет № 63-АП(371), ВЦ МГУ, М., (1968).
53. С.Н.Соколов, П.А.Калиниченко, И.С.Лупашина, В.А.Макаров, А.С.Марков, И.В.Попова. Первая всесоюзная конференция по программированию, Киев. Изд. Института кибернетики АН УССР (1968).
54. С.Н.Соколов, П.А.Калиниченко, И.С.Лупашина, В.А.Макаров, А.С.Марков, И.В.Попова. Первая всесоюзная конференция по программированию, Киев. Изд. Института кибернетики АН УССР (1968).
55. В.Г.Иванов, А.Ф.Лукьянцев, Препринт ОИЯИ Б1-10-4310, Дубна (1969).
56. С.Н.Соколов, И.Н.Силин, Препринт ОИЯИ Д-810, Дубна (1961). И.Н.Силин, Препринт ОИЯИ И1-3362, Дубна (1967).
57. АСП - Программа обработки наблюдений в водородной камере. Препринт ИТЭФ, 428, Москва (1966).
58. Е.Н.Кладницкая. Препринт ОИЯИ 796, Дубна (1961).
59. В.Ф.Вяшевский, Ду Вань-цай, А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, А.В.Никитин, Г.Н.Тентюкова, М.А.Троян, Цзян Шао-цзин, Чжан Вань-пай, Б.А.Шахбазян, Янь У-гуан. Препринт ОИЯИ Р-1468, Дубна (1963).
60. Н.Ф.Маркова, В.И.Мороз, В.И.Никитина, А.П.Стельмах, Г.Н.Тентюкова, Препринт ОИЯИ Р10-3768, Дубна (1968).
61. Н.А.Буздявина, Э.М.Иванченко, В.Г.Иванов, И.Паточка, М.И.Попов, Препринт ОИЯИ 2095, Дубна (1965).
62. А.Д.Макаренкова, В.И.Мороз, Э.Рупп, Препринт ОИЯИ 2917, Дубна (1966).
63. В.Н.Шигаев, Препринт ОИЯИ 5-3263, Дубна (1967). Н.Д.Дикусар, В.Н.Шигаев, Препринт ОИЯИ 10-3834, Дубна (1968).
64. Ю.А.Будагов, А.Г.Володько, Л.И.Лепилова, И.Паточка, Препринт ОИЯИ 10-3052, Дубна (1966). А.Г.Володько, С.В.Клименко, Л.И.Лепилова, И.Паточка, В.Б.Флягин, Препринт ОИЯИ 10-3736, Дубна (1968).
65. И.М.Граменицкий, А.М.Моисеев, Л.А.Тихонова, М.Д.Шафранов, Препринт ОИЯИ 10-3772, Дубна (1968).
66. О.Блегозравова, Л.Лепилова, А.Лукьянцев, Г.Тентюкова, В.Мороз, А.Никитин, Б.Шахбазян, Янь У-гуан, Препринт ОИЯИ 1959, Дубна (1965). А.Ф.Лукьянцев, В.И.Мороз, В.И.Никитина, Б.А.Шахбазян. Препринт ОИЯИ Р-1982, Дубна (1965).

67. В.Г.Гришин, Э.Г.Кистенёв, Л.И.Лепилова, В.И.Мороз, Му Цань, Препринт ОИЯИ Р-2277, Дубна (1965).
68. Э.М.Иванченко, А.Ф.Лукьянцев, А.Д.Макаренкова, В.И.Мороз, Г.Н.Тентюкова, Препринт ОИЯИ Р11-3983, Дубна (1968).
69. Г.И.Забиякин, Л.Б.Пикельнер, Ю.Я.Стависский, И.М.Франк, Ф.Л.Шепиро, Ю.С.Язвичский, Препринт ОИЯИ 956, Дубна (1962). Г.И.Забиякин, диссертация, Дубна (1967).
70. А.С.Гаврилов, И.А.Голутвин, Ю.В.Заневский, С.С.Кирилов, Б.А.Куляков, Л.Г.Макаров, Э.Н.Цыганов, Препринт ОИЯИ 2398, Дубна (1966), ПТЭ, № 6 (1966).
71. И.М.Иванченко, Препринт ОИЯИ 5-3263, Дубна (1967).
72. Н.Н.Воробьева, А.Л.Демичев, Л.С.Нефедьева, Т.С.Рерих, В.М.Ягафарова, Препринт ОИЯИ И1-3994 (1968).
73. Л.С.Нефедьева, В.Н.Шигаев, В.М.Ягафарова, Препринт ОИЯИ 5-3263, Дубна (1967).
74. И.И.Шелонцев, Н.Ю.Ширикова, Препринт ОИЯИ 5-3263, Дубна (1967).
75. Э.В.Лысенко, И.Томик, В.Р.Трубников, Препринт ОИЯИ 10-3331, Дубна (1967).
76. В.Н.Шигаев, Препринт ОИЯИ, 5-3263, Дубна (1967).
77. С.В.Кадькова, Ю.П.Прокофьев, Л.И.Синяев, Препринт ОИЯИ 10-3796, Дубна (1968).
78. А.И.Берановский, В.А.Владимиров, Ф.Дуда, Б.Е.Журавлев, Г.И.Забиякин, Э.В.Лысенко, В.И.Приходько, В.Г.Тихин, И.Томик, В.Р.Трубников, В.Д.Шибеев, Препринт ОИЯИ 10-3406, Дубна (1967).
79. Score Reference Manual, CERN.
80. 1900 Series FORTRAN Manual (TL II67), ICT, London, March, 1966.

Рукопись поступила в издательский  
отдел 18 апреля 1969 г.