

10 - 10988

А.У.Абдурахимов, Н.Н.Говорун, В.Г.Иванов,  
В.А.Степаненко

ПРОГРАММА  
ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СОБЫТИЙ,  
РЕГИСТРИРУЕМЫХ В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ  
СКМ-200



Абдурахимов А.У. и др.

10 - 10988

Программа геометрической реконструкции событий,  
регистрируемых в стримерной камере СКМ-200

Описывается новая версия геометрической программы для стримерной камеры с внутренней мишенью, а также ее варианты, используемые в настоящее время для обработки данных с камеры СКМ-200.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Abdurakhimov A.U., et al.

10 - 10988

Program for Geometry Reconstruction of Events Detected  
in the SKM-200 Stream Chamber

A new version of geometry program for a stream chamber with inner target is described, as well as variants in use for processing the data from the SKM-200 chamber.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В связи с сооружением и вводом в эксплуатацию двухметровой стримерной камеры СКМ-200 с внутренней мишенью <sup>/1/</sup> потребовалось разработать методику реконструкции событий с невидимой на стереоснимках вершиной, а также создать специальную геометрическую программу.

Первый вариант программы ГЕОМСК, предназначенной для восстановления пространственной картины событий в трековой камере с внутренней мишенью, был создан в 1974 г. <sup>/2/</sup> на базе геометрии системы Гидра <sup>/3/</sup>. Для реконструкции невидимой на снимках вершины координаты ее проекций на стереоснимках событий вычислялись как точки пересечения проекций соответствующих треков <sup>/4/</sup>.

В течение последующих лет велась работа по доработке программы ГЕОМСК с учетом опыта ее эксплуатации при массовой обработке снимков с СКМ-200.

Данная работа посвящена описанию нового варианта программы ГЕОМСК и имеющихся в настоящее время версий программы.

#### § I. Исходные данные для программы ГЕОМСК

Исходными данными для программы ГЕОМСК являются результаты обмера элементов событий (координаты изображений реперных точек, вершин и треков) на двух стереоснимках, снабженные соответствующими буквенно-цифровыми метками. Измерения производятся на полуавтоматической измерительной системе <sup>/5/</sup>. Результаты измерений записываются на магнитную ленту магнитофона CDC-608, специально подключенного к ЭВМ БЭСМ-4.

В связи с тем, что при обмере снимков на полуавтоматах ОИЯИ <sup>/5/</sup> не предусмотрена маркировка измеряемых элементов буквенно-цифровыми метками, наличие которых необходимо для их идентификации программой ГЕОМСК, эта задача решается с помощью специальной версии программы ТИПУТ <sup>/6/</sup>.

Программа ТИПУТ предназначена для расшифровки результатов обмера камерных фотографий на полуавтоматах ОИЯИ, состоящих из массива двоичных, двоично-десятичных и восьмеричных чисел, и присвоения измеренным элементам соответствующих буквенных, цифровых или буквенно-цифровых меток и формирования из них PRGEOM - массивов /7/.

Информация в этих массивах располагается в следующем порядке.

- Название массива.
- Длина массива.
- Банк события, в котором содержится основная служебная информация о событии (номер эксперимента, номер события, число измеренных реперов, вершин, треков и т.п.).
- Банки реперов, в которых задаются метки реперных точек и адреса их измерений на снимках стереопары в банке координатных пар.
- Банки вершин, в которых указываются метки вершин и адреса их измерений в банке координатных пар. В связи с тем, что в событиях, образуемых во внутренней мишени СКМ-200, вершины не измеряются, вместо координат их проекций в банк координатных пар записываются фиктивные значения, а во-второе слово банка вершины - специальный признак (II), указывающий на то, что при реконструкции вершины координаты ее проекций нужно вычислять, а не брать из соответствующих измерений. В обычных PRGEOM -массивах второе слово банков вершин равно нулю.
- Банки треков, в которых задаются их метки и адреса измеренных координат точек треков на снимках стереопары.

В связи с тем, что в настоящее время стереофотоаппарат СКМ-200 состоит только из 2-х фотообъективов, из десяти слов трекового банка заняты только шесть первых. В седьмом слове трекового банка указывается ионизация соответствующего трека. Это второе отличие PRGEOM -массивов для СКМ-200 от стандартных /7/.

- Банк измерений (координатных пар), содержащий координаты измеренных на стереоснимках элементов события.

В связи с указанными отличиями PRGEOM-массивов от стандартных в программе ТИПУТ /6/ были изменены подпрограммы TRACK и POINT .

Необходимые для восстановления пространственной картины событий данные о параметрах оптической системы, координаты фотокамер и реперных точек, таблица пробег-импульс и ряд других констант

задаются на перфокартах в форме блоков информации (титлов) /8/. Топография магнитного поля в фотографируемом объеме СКМ-200 задается в двух вариантах: на перфокартах и более подробная - на магнитной ленте. В соответствии с этим имеется два варианта программы GEOMSK.

## § 2. Блок-схема программы GEOMSK

На рис. I показана упрощенная блок-схема программы GEOMSK.

На начальном этапе работы программы инициализируется работа служебных подпрограмм системы Гидра /8/ и создается блок динамически распределяемой памяти. Затем вводится и обрабатывается информация о параметрах камеры и других экспериментальных константах, необходимая для работы программы (титлы). Эта информация задается на перфокартах и магнитной ленте. На данном этапе также вычисляются параметры оптической системы установки, необходимые для последующей реконструкции событий. Магнитные ленты с исходными данными и результатами счета устанавливаются в заданные позиции. Если в заданных титлах отсутствуют необходимые для реконструкции титульные блоки, работа программы прекращается, а на печать выдается информация о названиях отсутствующих блоков.

Обработка результатов обмера каждого события производится в следующей последовательности.

- Вывод исходных данных для реконструкции события и формирования из них входной структуры данных в динамически распределяемой памяти программы.

- Обработка результатов измерений в плоскости каждого стереоснимка (вычисление коэффициентов преобразования из координатной системы измерительного прибора в плоскость, заданную координатами реперных точек; проверка результатов обмера реперов и пересчет результатов измерений в заданную плоскость).

- Вычисление координат проекций не измеренных на стереоснимках вершин и их реконструкция. Такая организация программы позволяет обчислять по ней события как с измеренными, так и с неизмеренными вершинами.

- Реконструкция треков в пространстве и вычисление их параметров в соответствующей вершине события. Стандартная версия Гидра-геометрии рассчитана как на обработку данных, в которых идентификация проекций одних и тех же треков события (TRACK-MATCH) производится в процессе измерений и изобра-

жения одних и тех же треков имеют соответствующие метки, так и данных, в которых нужно искать изображения треков на стереоснимках программным путем. В нашем случае идентификация проекций треков события производится в процессе предварительного просмотра и измерений. Поэтому подпрограммы, предназначенные для идентификации проекций треков, только проверяют правильность произведенной оператором идентификации по тем же критериям, что и при их поиске программным путем. Если компоненты дублета (пары проекций) удовлетворяют этим критериям, то он считается правильно идентифицированным и оставляется в списке восстанавливаемых кандидатов. Дублеты, не прошедшие испытания, исключаются из дальнейшего рассмотрения. При реконструкции треков в пространстве и вычислении их параметров учитывается топография магнитного поля, потери энергии и многократное рассеяние.

- На заключительном этапе обработки события уточняются координаты вершины с учетом параметров выходящих из нее треков, результаты счета формируются в массив GEOM, являющийся массивом входных данных для программ GRIND /9/ и SUMX /10/.

Такова в общих чертах схема работы программы GEOMSK.

### § 3. Методика реконструкции вершин

На стереоснимках с СКМ-200 измеряются события следующих трех типов:

1. Образованные во внутренней мишени камеры. В этих случаях вершина события не видна на стереоснимках и координаты ее проекций нужно вычислять. Вершины такого типа метятся буквой А, цифровой код которой равен I7.

2. Многолучевые звезды, образованные в газе камеры. В этих случаях вершина видна на стереоснимках, но координаты ее проекций не могут быть хорошо измерены. Здесь, как и в предыдущем случае, координаты проекций вершины нужно вычислять. Метки такого типа вершин должны отличаться от метки вершин, образованных в мишени.

Как в первом, так и во втором случае во втором слове банка соответствующих вершин должен быть признак фиктивных значений координат.

3. Звезды, или вторичные взаимодействия, образованные в газе камеры, с измеренной вершиной.

Для событий, в которых нет измерений проекций вершин, координаты последних находятся как точки пересечения соответствующих проекций треков следующим образом.

- Через измеренные на стереоснимке точки проекций соответствующих треков проводятся окружности, и вычисляются их параметры (радиус кривизны и т.п.). Затем вычисляются расстояния измеренных точек от соответствующих окружностей. Точки, отстоящие от соответствующих окружностей на величину больше заданного допуска, исключаются, и подгонка под окружность повторяется до тех пор, пока число оставшихся на проекции точек не станет меньше 4. Для определения координат проекции вершины используются только те проекции треков, на которых измерено не менее четырех точек.

- Вычисляются координаты проекции вершины как точки пересечения выходящих из нее проекций треков. Если ошибки найденных таким образом координат превышают заданный допуск, то они вычисляются заново, начиная с подгонки под окружность. Причем, в качестве первой измеренной на проекции трека точки берется проекция найденной ранее вершины на соответствующую окружность. Эта процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность, либо число итераций не превысит максимального значения. Обычно требуемая точность получается после 2-3 итераций.

В тех случаях, когда заданная точность значений координат проекции вершины события при достижении максимального числа итераций превысит заданный допуск, событие считается плохо измеренным и исключается из дальнейшего рассмотрения.

Если вершина находится по двум трекам, не считая пучка, то проверяется угол разлета вторичных частиц. Если этот угол меньше  $4^\circ$ , то для событий, образованных в мишени (метка вершины = I7), в качестве координаты вершины по координатной оси, перпендикулярной пучку, берется значение соответствующей координаты центра мишени, задаваемое в специальном блоке информации (CONSTANT), а вторая координата определяется по углу и заданному значению первой координаты мишени. В тех случаях, когда угол между проекциями двух треков меньше  $4^\circ$ , только на одном из двух стереоснимков, то и на снимке с большим углом в качестве X-координаты вершины берется X-координата проекции центра мишени.

События, образованные в газе камеры, с неизмеренной вершиной и углом разлета вторичных частиц  $< 4^\circ$  считаются плохо изме-

ренными и программой не обрабатываются. Вычисление пространственных координат вершин событий по измеренным или вычисленным координатам их проекций производится по стандартной процедуре Гидра-геометрии /3/.

Сначала находятся приближенные значения координат вершины как точки, для которой сумма квадратов расстояний от траекторий соответствующих световых лучей является минимальной. Затем минимизируется сумма квадратов расстояний в плоскостях стереоснимков между проекциями вершины и соответствующими измерениями и находятся окончательные значения координат вершины и их ошибки.

Такова в общих чертах методика реконструкции вершин событий с измеренными и неизмеренными координатами их проекций.

#### § 4. Методика реконструкции треков событий

Исходными данными для реконструкции трека события в пространстве камеры являются измеренные на его проекциях точки, под которые нужно подогнать теоретическую кривую, описывающую траекторию движения заряженной частицы, для того чтобы вычислить параметры трека в точке взаимодействия. Эта задача решается в следующей последовательности /3/.

- Вычисляются коэффициенты световых лучей для всех измеренных точек на проекциях трека.

- По методу соответствующих точек находятся приближенные значения координат точек трека в пространстве.

- Вычисляются приближенные значения параметров трека (радиус кривизны  $\rho$ , азимутальный угол  $\varphi$  и глубинный угол  $\lambda$ , которые касательная к траектории трека в начальной точке образует с осью OX и горизонтальной плоскостью) в точке взаимодействия путем подгонки параметров спирали под пространственные координаты точек трека.

- Вычисляются окончательные значения параметров трека с учетом потерь энергии, многократного рассеяния и топографии магнитного поля для всех заданных значений масс. Для этого производится подгонка проекций траектории заряженных частиц под измеренные на проекциях трека точки. При вычислении окончательных значений параметров в программе учитывается координатная зависимость всех трех компонент магнитного поля ( $H_x, H_y$  и  $H_z$ ).

Более подробное изложение методики реконструкции треков событий можно найти в описании Гидра-геометрии /3/.

Помимо треков, на которых имеется достаточное для реконструкции число измеренных точек, программа также восстанавливает двухточечные, квазипрямые и треки с изломами. В этих случаях импульсы частиц не определяются, а вычисляются только углы при заданном значении радиуса кривизны. Все треки, отличающиеся от обычных, метятся специальными метками.

#### § 5. Основные отличия программы ГЕОМСК от стандартной версии Гидра-геометрии для классических камер

Для того чтобы приспособить стандартную версию Гидра-геометрии, предназначенную для реконструкции событий в камерах классического типа /3/, для обработки данных с СКМ-200, в нее был включен ряд новых подпрограмм, обеспечивших решение следующих задач:

1. Вычисления координат изображений невидимых на снимках вершин событий. Эта задача решается с помощью специального модуля VERF (VERTEX ON FILM), работа которого описана в третьем параграфе.

2. Пропуска на магнитных лентах с исходными данными и результатами счета заданного числа событий (подпрограмма HSKIP). Числа событий, которые нужно пропустить на каждой из этих лент, задаются на специальных перфокартах, входящих в титульную структуру данных.

3. Ввод и обработки таблицы компонент магнитного поля, заданной на магнитной ленте в упакованном виде. Эта таблица содержит около 10 тыс. чисел и в упакованном виде занимает 3143 слова оперативной памяти ЭВМ БЭСМ-6. Для ввода данных о магнитном поле, их запоминания в динамически распределяемой памяти, декодировки таблицы и вычисления компонент магнитного поля создано несколько специальных подпрограмм (RTAPE, UNPACK, BIGCOR, SUBVOL, SUBVOL, ВХУЗ).

Магнитная лента с таблицей компонент магнитного поля и подпрограмма для распаковки компонент магнитного поля, содержащихся в одном слове памяти (48-разрядном), была предоставлена нам Г.Л. Варденгой.

Кроме того, были внесены изменения в ряд стандартных модулей и подпрограмм геометрии, обусловленные спецификой данных с СКМ-200. К ним относятся следующие:

ТНТИТ - подпрограмма, предназначенная для преобразования титульных блоков программы THRESH <sup>/17/</sup> в соответствующую структуру данных Гидра-геометрии.

ТНIN - модуль, предназначенный для ввода результатов измерений и формирования из них входной структуры данных.

GOOT - модуль, формирующий массив результатов программы GEOMSK в форме, пригодной для счета по программе GRIND <sup>/9/</sup>.

Изменения были также внесены в секции, управляющие режимом печати результатов ( GDEBUG1 и GPRINT1 ).

#### § 6. Структура программы GEOMSK

Длина программы GEOMSK превышает объем оперативной памяти ЭВМ БЭСМ-6, отведенный для программ пользователей. В связи с этим программа разделена на несколько сегментов: главный и вызываемые им сегменты различных уровней <sup>/II/</sup>. Главный сегмент постоянно находится в оперативной памяти ЭВМ, содержит общие блоки для обмена информацией между остальными сегментами и организует их работу.

В настоящее время имеются два варианта программы GEOMSK, отличающихся один от другого схемами сегментации. На рис.2 показана сегментация основного варианта программы, магнитное поле для которого задается на перфокартах. Этот вариант состоит из шести сегментов, включая главный.

В главный сегмент ( OV00 ) входит головная программа, организующая вызов сегментов первого уровня ( OV10 и OV20 ) и содержащая общие блоки, необходимые для обмена информацией между различными подпрограммами и модулями программы, включая системные.

Сегмент OV10 вызывается один раз за весь сеанс работы программы. Он предназначен для инициализации работы служебных подпрограмм системы Гидра, ввода и обработки титульной информации, образования общего блока динамически распределяемой памяти программы, вычисления параметров оптической системы камеры и установки магнитных лент с исходными данными и результатами счета в заданные позиции.

Сегмент OV20 также вызывается один раз. Его назначение - организация процесса реконструкции, начиная с ввода исходных данных и кончая записью результатов счета на ленту результатов. Для решения этих задач он вызывает три следующих сегмента.

Сегмент OV21, предназначенный для ввода результатов измерений, обработки данных в плоскостях стереоснимков, реконструкции вершин, включая поиск изображений невидимых вершин. Основные подпрограммы этого сегмента ( THIN , FDT , FDC , VERF и PML ).

Сегмент OV22, предназначенный для проверки правильности идентификации проекции треков события. Основные подпрограммы сегмента ( TMP , TDB , TMI , TNC , PTSE , PTDC , TMSCDB ).

Сегмент OV23, предназначенный для реконструкции треков в пространстве и вычисления их параметров, уточнения координат вершины события, реконструкции двухточечных треков, формирования и записи на магнитную ленту результатов счета. Основные подпрограммы сегмента ( TFR , FT , FTM , CV , CVX , TWP ).

На рис.3 показана схема организации программы и порядок вызова основных подпрограмм и модулей.

Схема сегментации 2-го варианта программы показана на рис.4. Увеличение числа сегментов с 6 до 12 вызвано увеличением длины общего блока динамически распределяемой памяти с 7000 до 11000 слов для хранения таблицы компонент магнитного поля. Увеличение числа сегментов, наряду с необходимостью постоянной раскодировки компонент магнитного поля, привело к значительному возрастанию времени счета. Так, например, переход на новую схему сегментации привел к тому, что время обчета одного события возросло почти в два раза, а включение новой сегментации и распаковки поля привело к возрастанию счетного времени в 4-6 раз в зависимости от числа треков и числа измеренных на них точек.

#### § 7. Организация личной библиотеки программ

Прикладные программы системы Гидра <sup>/8/</sup> составляются из ее элементов (служебных пакетов, библиотеки подпрограмм общего назначения и соответствующего набора модулей) с помощью специальной программы RATCHU <sup>/12/</sup>.

Магнитная лента с библиотекой программы GEOMSK на ЭВМ БЭСМ-6 состоит из следующих частей:

I. Персональная библиотека программы RATCHU - начало в нулевой зоне.

2. Персональная библиотека для программы ГЕОМСК - начало в зоне 011. В библиотеку входят системные подпрограммы, подпрограммы общего назначения.

3. РАМ-файл пользователя (версия I.OI) для СКМ-200, содержащий набор подпрограмм и модулей, зависящих от характеристик камеры и специфики экспериментов. Начало в зоне 221.

4. РАМ-файл Гидра-геометрии (версия I.OI) для СКМ-200, содержащей основные модули и подпрограммы геометрии системы. Начало в зоне 240.

Для создания персональной библиотеки первого варианта программы и последующего обсчета данных нужно из РАМ-файлов геометрии и пользователя собрать нужный вариант системы и добавить к ней библиотеку системных пакетов, подпрограмм общего назначения и передать на счет. Для решения этой задачи нужно составить колоду перфокарт по следующему образцу:

```
*NAME _ PETROV
*TIME:00.30
*PASS _ ШИФР
*TAPE:87/ ИМЯ ленты, 31,R
*TAPE:230/ ИМЯ ленты, 32,W
*TAPE:918/ ИМЯ ленты, 51,R
*TAPE:919/ ИМЯ ленты, 52,W
*PERSØ:31000
*CALL _ PATCHY
+EXECUTE.
+USE,P=. названия секций
  ГРУППА РЕДАКТИРУЮЩИХ
  ПЕРФОКАРТ
+FILE,P=31221.
+FILE,P=31240.
+FILE,P=NONE.
*PERSØ:31011,CØNT
*NO _ LIST
*READ _ DRUM
*TS _ PERSØ:32000
*PERSØ:32000
*NO _ OPT
*NO _ LOAD _ LIST
```

```
*CALL _ FICMEMØR
*EXECUTE
  БЛОК ДАННЫХ (титлов)
*END _ FILE
  ДИСПЕТЧЕРСКИЙ КОНЕЦ
```

В только что приведенном примере вновь созданная библиотека программы ГЕОМСК записывается на нулевой участок магнитной ленты № 230 и затем выходит на счет.

Если требуется собрать и передать на счет библиотеку второго варианта программы, то нужно составить колоду по следующему образцу:

```
*NAME _ PETROV
*TIME: 00.30
*PASS _ ШИФР
*TAPE:87/ИМЯ ленты,67,R
*TAPE:916/ИМЯ ленты,46,R
*TAPE:917/ИМЯ ленты,32,W
*TAPE:918/ИМЯ ленты,51,R
*TAPE:919/ИМЯ ленты,52,W
*PERSØ:67000
*CALL _ PATCHY
+MODA,SUP.
+USE,P=. названия секций
  ГРУППА РЕДАКТИРУЮЩИХ ПЕРФОКАРТ
+FILE,P=67221.
+FILE,P=67246.
+FILE,P=NONE.
*PERSØ:31000,CØNT
  БЛОК ВЫЧИСЛЕНИЯ КОМПОНЕНТ
  ПОЛЯ И НОВЫЕ СЕГМЕНТЫ
*NO _ LIST
*READ _ DRUM
*TS _ PERSØ:32100
*PERSØ:32100
*NO _ OPT
*NO _ LOAD _ LIST
*CALL _ FICMEMØR
*EXECUTE
```

БЛОК ДАННЫХ  
 \*END FILE  
 ДИСПЕТЧЕРСКИЙ КОНЕЦ

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Работа программы и используемая методика реконструкции событий с невидимыми на стереоснимках вершинами проверялась на искусственных событиях, зарегистрированных в камере Людмила /4/. В настоящее время по программе ГЕОМСК ведется массовый обсчет данных с СКМ-200. Всего обчислено несколько тысяч событий. В основном используется первый вариант программы. Время счета по этому варианту зависит от числа лучей и меняется от 10 до 15 с счетного времени ЭВМ БЭСМ-6 для событий с числом лучей 2 и 9, соответственно.

В заключение авторы пользуются случаем выразить глубокую благодарность М.Г.Мещерякову и В.Н.Пеневу за постоянный интерес к работе, Г.Л.Варденга за предоставление магнитной ленты с таблицей магнитного поля и подпрограммы для ее декодировки, Н.П.Богачеву, Е.С.Кузнецовой и Э.О.Оконову за полезные обсуждения.

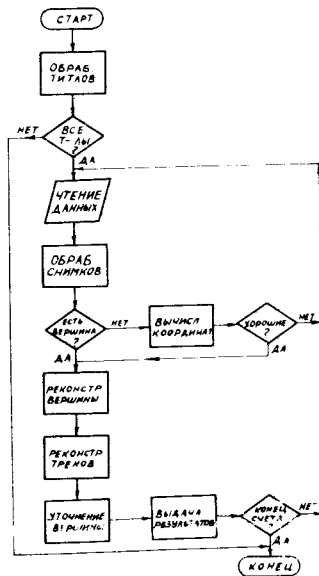


Рис. 1.

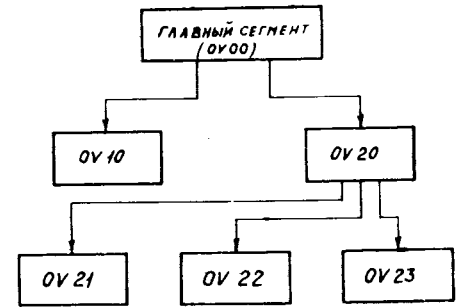


Рис. 2.

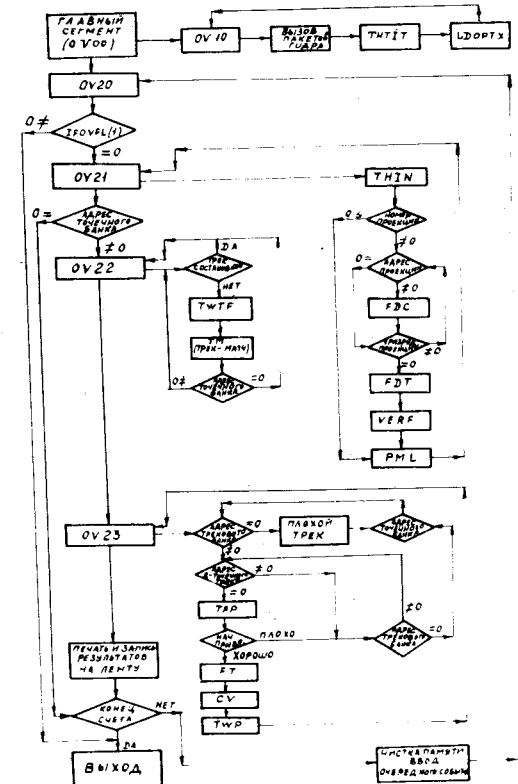


Рис. 3.



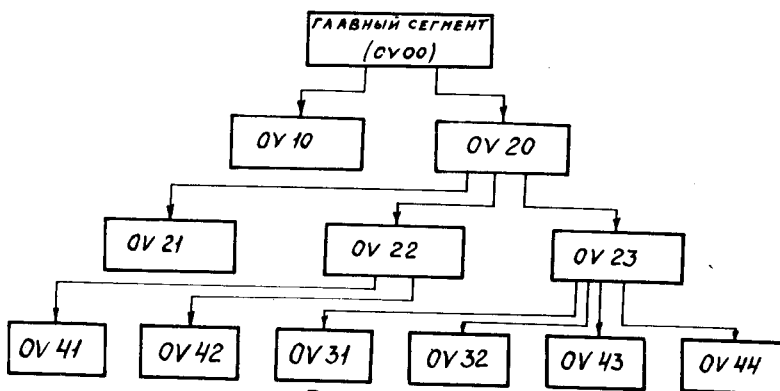


Рис.4.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аникина М.Х. и др. ОИЯИ, I3-4527, Дубна, 1969.  
Vardenga G.L. et al. International Conference on Instrumentation for High Energy Physics, Frascati, Italy, 1973.
2. Буздавина Н.А. и др. ОИЯИ, ДЮ-8425, с.47-61, Дубна, 1974.
3. HYDRA Application Library, vol.II, CERN, Geneva, 1974.
4. Дорж Л. и др. ОИЯИ, P5-8560, Дубна, 1975.
5. Виноградов А.Ф. и др. ОИЯИ, IO-8783, Дубна, 1975.
6. Буздавина Н.А., Иванов В.Г. ОИЯИ, IO-6956, Дубна, 1973.
7. Буздавина Н.А., Иванов В.Г. ОИЯИ, IO-7191, Дубна, 1973.
8. Вёск R.K., Zoll J. ОИЯИ, D10,11-8450, р.443-465, Дубна, 1974.
9. Заикина А.Г., Лукьянцев А.Ф. ОИЯИ, II-5965, Дубна, 1971.
10. Лепилова Л.И. Лукьянцев А.Ф. ОИЯИ, II-5963, Дубна, 1971.
11. Мазный Г.Л. ОИЯИ, II-5974, Дубна, 1971.
12. Дорж Л. и др. ОИЯИ, IO-6882, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 октября 1977 года.