

5876

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

9 - 5876



Г.С. Казанский, И.Ф. Колпаков, И.Н. Семенюшкин,  
А.А. Хошенко, В.А. Штырляев

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

УСКОРИТЕЛЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
КАК ОБЪЕКТ  
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

1971

9 - 5876

Г.С. Казанский, И.Ф. Колпаков, И.Н. Семенюшкин,  
А.А. Хощенко, В.А. Штырляев

**УСКОРИТЕЛЬ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
КАК ОБЪЕКТ  
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Доклад на V симпозиуме по измерительным приборам.  
Дрезден, 26-28 октября 1971 г.

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

1. Ускорители заряженных частиц высоких энергий являются сложными инженерными сооружениями. Эксплуатация таких энергетических установок в условиях заданных параметров физического эксперимента неизбежно связана с оптимальным решением технических и экономических задач, определяющих эффективность использования сложного и дорогостоящего оборудования /1/.

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований Объединенного института ядерных исследований проводятся работы по созданию электронно-вычислительного комплекса синхрофазотрона (ЭВКС), предназначенного для управления пучком заряженных частиц и для контроля за ним в процессе ускорения и вывода на физический эксперимент.

Решение задач об оптимальном управлении ускорительными комплексами по программам физического эксперимента связано с целым рядом особенностей /2/:

1. Управление большими энергетическими мощностями (порядка сотен мегаватт в импульсе) при заданной точности воспроизведения управляющей функции от цикла к циклу и в течение времени экспозиции физического эксперимента  $\approx 10^{-4}$  и выше.

2. Многоэлементность функциональных узлов оборудования ускорительного комплекса синхрофазотрона (УКС), в большинстве своем разнесенных на большие расстояния (до многих сотен метров).

3. Структура параметрического поля ускорителя (имеющего в ряде случаев до  $\approx 10 \cdot 10^3$  параметров) обладает сложными внутренними функциональными связями, что создает особые условия при решении задач по отысканию обобщенного экстремума функции состояния регулируемого объекта (пучка заряженных частиц).

4. Управление пучком заряженных частиц осуществляется через опосредствующие функции, что приводит к возникновению эффектов нелинейности и запаздывания в системах управления.

5. Пучок заряженных частиц за время своего существования проходит многостадийное преобразование, при котором изменяются как его пространственные характеристики, так и динамика функции состояния по заданному параметру. Функция предыстории накладывает дополнительные ограничения на режим оптимизации.

6. Оптимальное управление УКС, в свете перечисленных особенностей, невозможно без применения управляющих цифровых и аналоговых машин и мультипрограммных процессоров, обеспечивающих режимы многомерного анализа информационной ситуации и принятия решения на оптимальное регулирование многомерного параметрического поля.

**II.** Как показывают расчёты, применение автоматических систем регулирования, автоматического поиска и устранения неисправности дает возможность увеличить коэффициент использования УКС на  $\approx 10-15\%$ , что, помимо улучшения эксплуатационных характеристик установки, может дать условную экономию  $\approx 300$  тысяч рублей в год. Это обстоятельство, в свою очередь, позволит оправдать за несколько лет затраты на создание электронно-вычислительного комплекса синхрофазотрона.

**III.** На рис. 1 представлена функциональная блок-схема УКС с наложенным на нее датчиковым полем.

УКС состоит из трех функционально ограниченных групп оборудования: линейного ускорителя (ЛУ), где осуществляется предварительное ускорение частиц до энергии 10 Мэв; основного кольца синхротрона - кольцевого ускорителя (КУ), где происходит ускорение частиц до энергии 10 Гэв, и систем вывода (СВ), служащих для управления пучками выведенных частиц по программам физического эксперимента. Каждая из этих групп оборудования является объектом многопараметрической оптимизации.

Датчики, несущие информацию о функции состояния регулируемого объекта (пучка заряженных частиц), о состоянии систем управления УКС и о результатах управления, образуют две группы:

1. Датчики статической части функции состояния, несущие информацию о поле оптимальных уставок и заданных опорных уровней токов и напряжений, определяющих стабильность начальных условий на УКС.

2. Датчики непрерывной информации о характеристиках ускоряемого сгустка заряженных частиц и о реакции пучка на управляющее воздействие опосредствующих функций (магнитные и электрические поля) на всех стадиях преобразования.

Первая группа датчиков несет информацию о состоянии вакуума в рабочем объеме, об уставках корректирующих токов, о стабильности ответственных источников питания, о радиационной обстановке на УКС и т.д. Эта группа датчиков выводится на специально организованные линии и кольца сбора информации, с которых при помощи аналоговых коммутаторов по специальной программе сбора информации заводится на АЦ-преобразователи и крейты САМАС, которые обеспечивают связь датчикового поля с ЭВМ. Все группы оборудования снабжены крейтами САМАС (по месту), с которых информация последовательным или параллельным кодом при помощи телефонного кабеля выводится на ЭВКС. Аналогичным способом организуется передача данных на ЭВКС с датчиков непрерывной информации с той разницей, что в данном случае использу-

ются индивидуальные каналы преобразования с быстрым опросом через ЭВМ, так как в этом случае необходимо единовременное восприятие всего датчикового поля УКС по заданному параметру оптимизации.

IV. На рис. 2 представлено датчиковое поле синхрофазотрона ОИЯИ по параметру "интенсивность", 86 параметров, ответственных за состояние регулируемого объекта, обеспечивают семь стадий преобразования пучка заряженных частиц - от инъекции до конца цикла ускорения. На нулевой стадии ионный пучок "вытягивается" из источника и проходит начальное формирование в форинжекторе (первая стадия). На второй стадии линейный ускоритель формирует и ускоряет пучок банчей до 10 Мэв, который при помощи инфлекторных устройств на третьей стадии вводится по касательной в основное кольцо синхрофазотрона, где он преобразуется в сплошной кольцевой сгусток. Это так называемый квазибетатронный режим четвертой стадии. Пятая стадия связана с захватом частиц из кольцевого сгустка, и, далее, на шестой стадии осуществляется формирование банча частиц, который и ускоряется до конечной энергии в течение седьмой стадии.

Наиболее ответственными стадиями являются режим ввода частиц в камеру и режим синхрофазотронного захвата. Эти стадии имеют наибольшую параметрическую насыщенность. Видно, что информационное поле достаточно неравномерно. За  $\approx 1$  мсек пучок успевает пройти 6 стадий преобразования, о которых необходимо иметь единовременную информацию для анализа ситуации и принятия решения на регулирование. Надо сказать, что информационный массив параметрического поля при управлении пучком в режиме физического эксперимента еще больше усложняется и включает в себя до  $\approx 200$  параметров. По методам преобразования датчики разделены на датчики магнитного поля, датчики частоты и датчики временных интервалов.

Как уже отмечалось выше, сложность структуры параметрического поля ускорителя заключается в том, что на разных стадиях преобразования действует динамическая матрица определенного множества взаимозависимых параметров, обладающих многоступенчатыми связями. Таким образом, частный экстремум функции состояния по одному параметру не определяет оптимальных характеристик объекта регулирования.

V. Укрупненная блок-схема ЭВКС изображена на рис. 1. Основу комплекса составит машина среднего класса (типа *IBM 360/20*), которая будет обслуживать периферийный ряд управляющих машин типа ТРА и ТРА/венгерского производства, которые могут быть заменены на машины близкого класса советского производства.

При организации связи с датчиковым полем и полем регулирования, а также связи систем обмена между периферийными машинами и главными процессорами используется стандартная система САМАС. Предусматривается выход на *on line* к машинам высшего класса типа *CDC-1604A* и БЭСМ-6 для обработки специальных задач многомерного анализа информации и режима экстремального регулирования. Из внешних устройств ЭВКС будет располагать необходимым количеством дисков, магнитофонов (1-2 мгбайт), дисплеем графо-символьным со световым карандашом, АЦПУ на 128 позиций и т.д.

VI. Организацию систем автоматической оптимизации режимов ускорения и вывода заряженных частиц на физический эксперимент на базе ЭВКС предполагается выполнить в следующем порядке<sup>/3/</sup>.

1 этап. Сбор и обработка информации с датчикового поля УКС, что связано с совершенствованием датчиков информации, разработкой оперативных текстов для многомерного анализа информационной ситуации и программ "игр" по заданному параметру. Особое внимание на этом этапе уделяется отработке формы выдачи данных оператору на те-

летайп и дисплей, а также оснащению ЭВКС внешними устройствами и исследованию эксплуатационной надежности исполнительных элементов.

2 этап. Разработка математической модели УКС, что связано с математизацией стадий преобразований и их "сшиванием" на всей производственной длине оборудования. Исследование математической модели в разных режимах УКС и разработка алгоритмов экспериментального поиска оптимального состояния систем управления и регулируемого объекта. Исследование асимптотической устойчивости режимов управления и разработка переходных функций на стадиях преобразования.

3 этап. Организация обслуживания УКС по программам физического эксперимента, что связано с совершенствованием систем авторегулирования и задачами по отысканию экстремума функции состояния в заданном режиме, с организацией статистического накопления типовых ситуаций в режиме "обучения" систем ЭВКС.

VII. По мере решения этих задач структурная динамика ЭВКС будет выглядеть следующим образом (рис. 3).

На первом этапе системы ЭВКС будут работать в режиме "Советчика" (машина - человек - машина). В этом режиме оптимизирующим звеном является оператор, располагающий ручным регулированием параметрического поля УКС.

Второй этап предусматривает замыкание однопараметрических обратных связей при значительном вкладе ручного регулирования.

Третий этап связан с созданием программных оптимизаторов, управляющих многомерными экстремальными регуляторами. В данном случае оценка информационной ситуации и принятие решения на регулирование идет через оператора, который программным образом воздействует на оптимизирующие системы, оставляя за собой право перехода на ручное регулирование.

На четвертом этапе функции оператора сводятся к заданию программ оптимального регулирования режимов УКС и контролю прохождения служебных программ. Оператору предоставлено право коррекции программ по заданным условиям физического эксперимента.

VIII. В настоящее время на синхрофазотроне ОИЯИ реализуется 1 этап. Для этого применяется управляющая машина типа ТРА-1001 с объемом памяти 4К и временем обращения к памяти 10 мксек. Используется 20 датчиков, обеспечивающих информацию о переходных режимах на УКС в момент ускорения. Задача многомерного анализа информационной ситуации сводится к отысканию оптимального состояния систем УКС, при котором обеспечивается максимальная интенсивность ускоряемых частиц.

Разработаны 4 оперативных теста, позволяющих выявить поле ответственных параметров за оптимальный режим ускорения и вывод частиц на внутренние мишени синхрофазотрона. Разработана также программа обеспечения режима "оперативного молчания", при котором параметрический трафарет оптимальной настройки, записанный в память машины, каждый цикл сравнивается с текущим состоянием параметрического поля в полосе заданного допуска. Оператору выдаются данные только в том случае, если имеет место отклонение от допуска контролируемого параметра, либо отклонение оптимизируемой величины (интенсивность) от заданного значения. Данные оператору представляются в виде телетайпной информации, в которой указывается "провинившийся" параметр, знак и величина ошибки, либо в виде графиков и гистограмм. Сейчас ведется подготовка к выдаче данных на графо-символьный дисплей.

По разработанным оперативным тестам в начале следующего года предполагается осуществить на ЭВКС обработку информационного массива, изображенного на рис. 4, характеризующего процесс ускорения и вывода частиц. На этом же рисунке указана динамика изменения аналоговых сигналов, временное распределение информации и синхронные точки

отсчёта. Кроме того, будет обеспечена обработка данных с многодатчиковой системы контроля радиационной обстановки на УКС.

По мере развития ЭВКС и ввода в эксплуатацию управляющих машин типа ТРА или аналогичных машин советского производства датчиковое поле будет расширено до 270 параметров, что позволит получить более полные данные для математического моделирования переходных функций и отработки алгоритмов автоматического управления. С вводом в эксплуатацию базовой машины среднего класса получают свое решение задачи программного управления режимами УКС. Ориентировочный срок окончания работ - 1975 год.

#### Л и т е р а т у р а

1. M.O. Barton. *IEEE Transaction on Nuclear Science*. vol. 3-16, N3 (810-812), 1969.
2. Г.С. Казанский. Препринт ОИЯИ, Б2-9-4195, Дубна, 1968.
3. Г.С. Казанский, А.А. Хошенко. Препринт ОИЯИ, 9-5487, Дубна, 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 июня 1971 года.

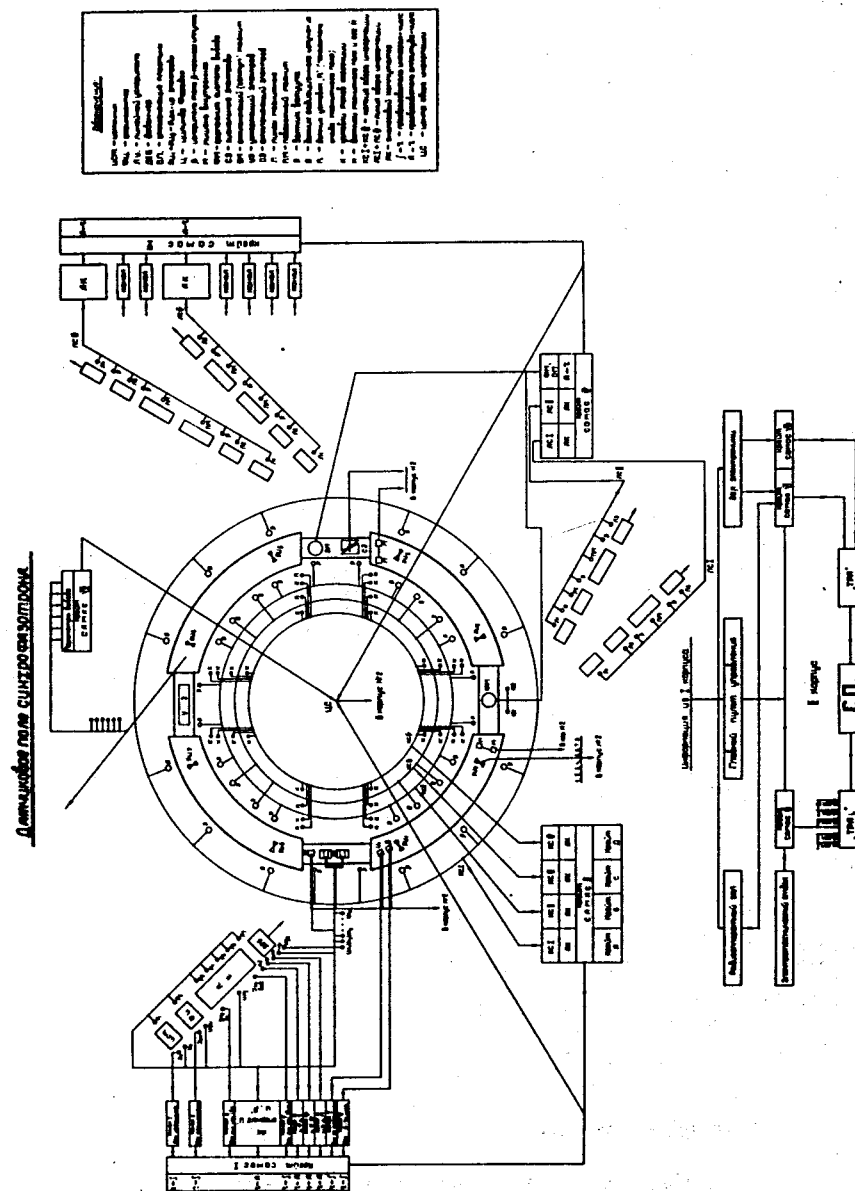
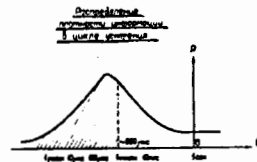
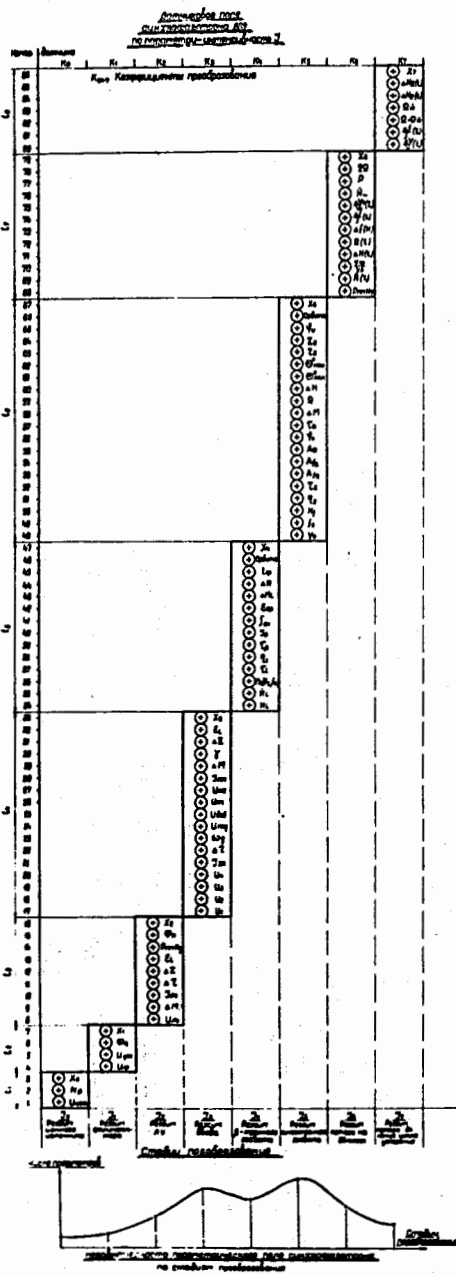


Рис. 1. Блок-схема ускорительного комплекса синхротрона (УКС).





Диагностика узлов								Диагностика узлов							
разрядный разряд - А								разрядный разряд - В							
Средняя производительность								Средняя производительность							
0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум

Диагностика узлов								Диагностика узлов							
разрядный разряд - В								разрядный разряд - Г							
Средняя производительность								Средняя производительность							
0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум

Диагностика узлов								Диагностика узлов							
разрядный разряд - Д								разрядный разряд - Д							
Средняя производительность								Средняя производительность							
0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум	Ум

Диагностика узлов: А - разрядный разряд, В - разрядный разряд, Г - разрядный разряд, Д - разрядный разряд.

1. Проверка элементов и узлов.

А, В, Г, Д, Е.

2. Проверка элементов.

А, Б.

3. Проверка элементов.

А, В, Г, Д.

4. Проверка элементов и узлов.

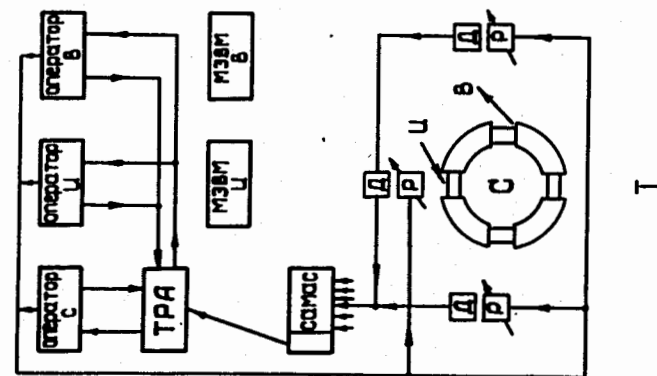
А: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н, О, П, Р, С, Т, У, Ф, Ц, Ч, Ш, Щ, Ъ, Ы, Э, Ю, Я.

А: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н, О, П, Р, С, Т, У, Ф, Ц, Ч, Ш, Щ, Ъ, Ы, Э, Ю, Я.

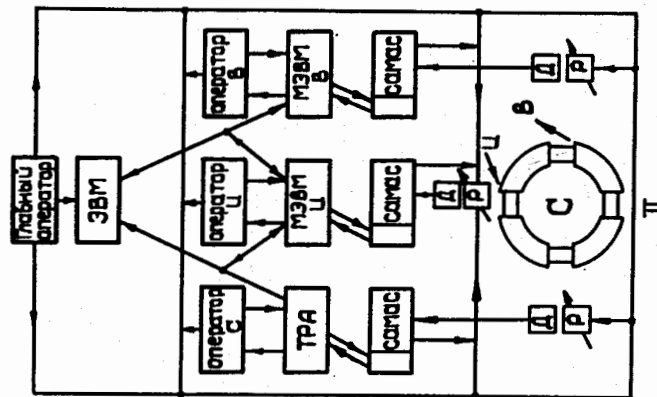
А: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н, О, П, Р, С, Т, У, Ф, Ц, Ч, Ш, Щ, Ъ, Ы, Э, Ю, Я.

А: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н, О, П, Р, С, Т, У, Ф, Ц, Ч, Ш, Щ, Ъ, Ы, Э, Ю, Я.

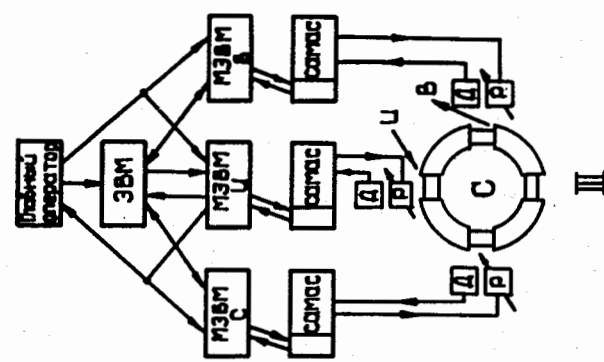
А: А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М, Н, О, П, Р, С, Т, У, Ф, Ц, Ч, Ш, Щ, Ъ, Ы, Э, Ю, Я.



I



II



III

Рис. 3. Динамика структуры электронно-вычислительного комплекса синхрофазотрона (ЭВКС).

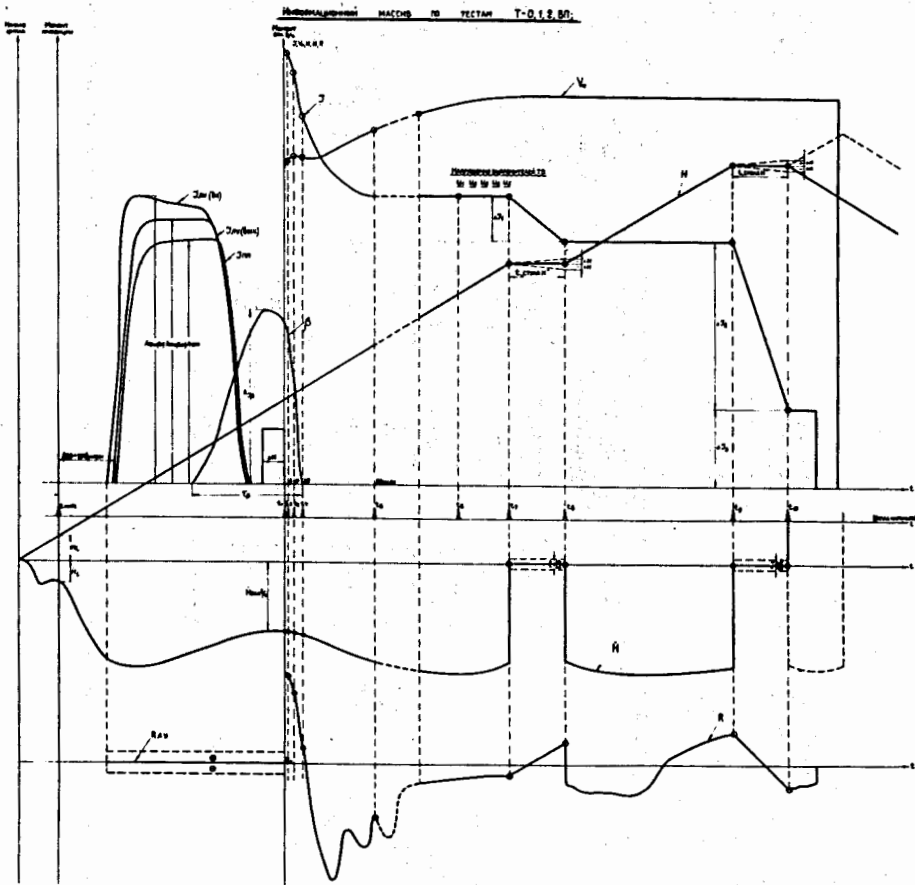


Рис. 4. Исходный массив информации о параметрическом поле ускорителя.