

КАЗАНСКИЙ Г.С.

С 345е
К-142



+

Б2-9-5903.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Б2-9-5903

ДЕПОНИРОВАННАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Дубна 19

Б2-9-5903

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Лаборатория высоких энергий

Г.С.Казанский

с 345 е
К-142

"ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В
УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ"

с. ф. 3231

Казанский

РУКОВОДСТВО ПРОСЛУШАЛА
В КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ
1971 г.
..30' П

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

г. Дубна, 1971 г.

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе излагаются основные задачи и проблемы, возникающие при создании систем автоматической оптимизации ускорительного комплекса синхрофазотрона (УКС).

Приводятся данные о структуре электронно-вычислительного комплекса синхрофазотрона (ЭВКС) и сообщается о задачах по математическому обеспечению.

В работе сформулированы основные направления по реализации проекта ЭВКС и даются рекомендации по организации системы автоматического управления УКС.

Материалы настоящей работы были использованы автором для лекции, которая была прочитана 12 мая 1971 года в Ленинградском университете на факультете прикладной математики и управления процессами.

Ускорители заряженных частиц высоких энергий являются сложными инженерными сооружениями, предназначенные для решения важных фундаментальных задач в области ядерной физики.

Эксплуатация таких комплексов в условиях заданных параметров режимов физического эксперимента, неизбежно связана с оптимальным решением технических и экономических задач, определяющих эффективность использования сложного и дорогостоящего оборудования.

Основные требования, предъявляемые к ускорителям современной ядерной физикой состоят в следующем (рис. I) ¹¹¹.

1. Увеличение энергии ускоряемых частиц E_k (имеются в виду, как электроны и протоны, так и тяжелые ядра).

2. Максимальное увеличение плотности ускоряемых сгустков частиц (увеличение интенсивности пучков частиц, выводимых на физический эксперимент)

3. Максимальное увеличение полезного времени для физических исследований.

4. Быстрота обработки информации о результатах эксперимента.

5. Точность воспроизведения режима физического эксперимента от цикла к циклу и от экспозиции к экспозиции.

Каждая из этих задач представляет собой сложную научную и инженерную проблему. Увеличение энергии ускоряемых частиц связано с созданием гигантских энергетических комплексов, включающих в себя многочисленные функциональные узлы, обеспечивающие многостадийное преобразование ускоряемого сгустка частиц и накопление высокоэнергетического заряда. Для наглядности можно привести впечатляющие цифры. Например: радиус кольцевого магнита Серпуховского ускорителя на 70 ГэВ оставляет величину ~ 230 м, а радиус ускорителя на 500 ГэВ (Батавия США) $\sim 1,5$ км. Пиковая мощность

потребляемой электрической энергии составляет величину порядка сотен мегаватт. Ограниченность вакуумных объемов, в которых происходит ускорение заряженных частиц, высокая чувствительность сгустка заряженных частиц к различного рода возмущениям в системах обеспечения, приводит к совершенно противоположным впечатляющим цифрам. Скажем, точность соответствия магнитного поля и частоты ускоряющего напряжения, а так же точность синхронизации систем управления составляет величину $\sim 0,01\%$ и выше. Даже из этих примеров уже можно сделать вывод, насколько велики требования, предъявляемые к системам управления в течение всего времени существования объекта регулирования (пучка ускоряемых частиц).

Другой путь увеличения энергии ускоряемых частиц состоит в поиске принципиально новых методов ускорения, требующих решения своих уникальных задач (имеются в виду коллективный и плазменный метод ускорения), где требования к системам управления представляются ещё более жесткими, чем в первом случае^{x)}

Получение высокоинтенсивных сгустков заряженных частиц или "чистых" ядер приводит к решению целого комплекса физических и технических задач, связанных с устойчивостью дискретного объемного заряда большой плотности, с явлением "перезаряда" при ускорении ядерных пучков, и со стабильностью режимов управляющих систем при ускорении и выводе плотных сгустков частиц на физический эксперимент. Сложность проблемы можно продемонстрировать цифрами. Самые большие ускорители генерируют пучки частиц содержащие несколько единиц на 10^{12} частиц в импульсе... Это не очень много. Борьба за увеличение интенсивности идет несколькими путями:

I. Повышение тока инжектируемых частиц (прямой метод).

x) В целях экономии времени, мы не останавливаемся на методах встречных пучков (ускорители с подвижной мишенью), хотя это направление тоже весьма перспективно.

2. Накопление ускоряемых частиц (компромиссный метод).
3. Увеличение частоты циклов.
4. Стабилизация режимов обеспечивающих систем.
5. Минимизация времени настройки ускорителя по параметрам физического эксперимента.
6. Уменьшение времени поиска и устранения неисправностей.
7. Максимизация коэффициента использования ускорителя на физический эксперимент.

Очевидно, не вызывает сомнения то обстоятельство, что решение вышеперечисленных проблем невозможно без создания систем автоматического управления и систем быстрой обработки информации о состоянии обеспечивающих систем ускорительного комплекса и функции состояния объекта регулирования (пучка ускоряемых частиц)¹². Целесообразность применения таких систем полезно рассмотреть на примере синхротрона ОИЯИ (Объединенный институт ядерных исследований). На рис.1 наглядно раскрыта структура коэффициента использования ускорителя в течение рабочего цикла экспозиции физического эксперимента. Здесь детально расписано время технологического режима, связанного с работой самого ускорителя и проведением физ.эксперимента. Все что расположено ниже оси абсцисс подлежит минимизации. ^{Аб}Форманое выражение для коэффициента использования (рис.2), довольно очевидно и мы на нем останавливаться не будем, достаточно сказать, что расчёт по этой формуле даёт совпадение с практическими оценками на основе статических данных с точностью $\sim 10\%$.

Расчёты показывают, что значения $K_{\text{нук}}$ (по параметру "Готовность физического эксперимента") при условии работы очень опытного оператора лежат в пределах 0,8 - 0,81.

Отсюда следует важность задачи поиска путей максимизации этого коэффициента. Итак в иллюстративном виде:

$$K_{\text{нук}} = \frac{T_{\text{фэ}}}{T_{\text{фэ}} + T_{\text{проб}} + T_{\text{техн}} + T_{\text{настр}} + T_{\text{поиск}}} \quad 1)$$

Применение автоматической настройки^[3] и автоматического отыскания неисправностей, или ухода того или иного параметра, как показывают расчёты, даёт возможность увеличить $K_{\text{вык}}$ на $\sim 10\%$ (и более). Это даёт условную экономию на энергетические затраты ~ 200 тыс.руб. в год (стоимость 1 часа работы ускорителя 50 руб, среднегодовое число рабочих часов $\sim 4 \cdot 10^3$.)

Такая минимизация оперативных функций естественно связана с передачей функций субъективного оператора - ЭВМ, в программе которой заложены [2], [4], [5], [6], [7]:

1. Операционный многомерный анализ информационных массивов с датчикового поля функциональных узлов ускорительного комплекса. Оценка ситуации.

2. Принятие решения о направлении поиска.

3. Принятие решения о программе настройки, коррекции, устранении неисправности.

4. Экстремальное регулирование выбранного параметрического поля, описываемого функционалом $F(\vec{a}_i)$, где \vec{a}_i многомерный параметрический вектор, $i = 1, 2, 3 \dots$ и отыскание решения

$$\frac{\partial F}{\partial a_i} = 0 \quad (2)$$

На отработку этих оперативных задач, оператор тратит достаточно много времени (иногда \sim нескольким часам), так как он пользуется при настройке методом Гаусса-Зейделя, т.е. поиском частного экстремума по одному какому-то параметру, или, как говорят, по одной координате. Такая последовательная настройка и отыскание оптимального значения "провинившегося" параметра, создает чрезвычайные трудности в отыскании экстремума функции состояния всей системы и сопровождается неизбежными субъективными ошибками.

Управляющие цифровые машины и микропроцессоры могли бы решить основные задачи, связанные с операционным анализом и оценкой информационной ситуации. Управляемые программные оптимизаторы позволили

бы решить задачи экстремального регулирования в системах задатчиков функции состояния регулируемого объекта. При этом, однозначно решались ^{бы} вопросы одновременного глобального сбора информации, её фильтрации, быстрой обработки функциональных связей между параметрическими массивами и выработки программ алгоритмического экстремального регулирования элементов функциональных узлов ускорительного комплекса. Все вышеприведенные соображения легли в основу аванпроекта по применению электронно-вычислительных машин для управления ускорителем.

Ускорительный комплекс синхрофазотрона ОИЯИ содержит три функциональных группы оборудования, обеспечивающих ускорение заряженных частиц до энергии 10 Гэв. Это "Инжектор" (линейный ускоритель), "кольцевой ускоритель" (синхрофазотрон), "Системы вывода" (рис.3). Каждая из этих функциональных групп является объектом многопараметрической оптимизации.

Массивы информации, поступающие с каждой группы оборудования структурно содержат сведения:

1. О состоянии регулируемого объекта (пучка заряженных частиц) в виде n -мерного вектора параметров, отражающих геометрические и физические характеристики пучка частиц на разных стадиях преобразования.

2. О статическом поле оптимальных уставок задающих систем.

3. О состоянии систем регулирования и о результатах воздействия их на регулируемый объект.

В общем виде функция состояния регулируемого объекта, видимо, должна содержать следующие компоненты:

$$Q = S + \Phi + \Psi + \Xi \quad (3)$$

где

S - есть статическая функция, включающая в себя суммарное поле оптимальных уставок обеспечивающих систем и их дисперсию

$$S' = S_0 + \sum_{i=1}^n \frac{\partial S}{\partial p_i} \Delta p_i$$

где S_0 - статическая функция в оптимальном режиме,

Δp_i - погрешность i -того параметра (уставки)

Φ - функция состояния регулируемого объекта на разных стадиях преобразования

$$\Phi = K_0 \cdot \sum_{i=1}^n \Phi_{0i} \tag{4}$$

где:

Φ_{0i} - оптимальное значение функции состояния на i -той стадии преобразования.

K_0 - обобщенный коэффициент оптимального преобразования:

$$K_0 = \prod_{i=1}^n K_{i0} \tag{5}$$

K_{i0} - оптимальное значение коэффициента i -того преобразования.

Ψ - функция программы управления

$$\Psi = \sum_{i=1}^m \psi_i(t) \tag{6}$$

ζ - функция результатов управления:

$$\zeta = \sum \frac{\partial p_i}{\partial t} \cdot \Delta t \tag{7}$$

Теперь сделаем некоторые отступления.

За последние годы стали появляться сообщения, посвященные работам по исследованию возможности создания единой системы автоматической оптимизации параметров ускорителей заряженных частиц. Однако следует заметить, что все исследования в области автоматического управления ускорительными комплексами, в настоящее время, направлены на поиски решения частных задач управления физическими процессами, возникающими при ускорении и выводе частиц на физ.эксперимент и представляют собой, по сути дела, разработки систем "входа" многомерной системы автоматического управления, в программе которой должна быть заложена функция состояния пучка заряженных частиц на разных этапах его преобразования. Обобщенная функция управления физ.процессами на

ускорительном комплексе достаточно сложна и её математическое описание и техническая реализация потребует еще немало усилий математиков и физиков для того, чтобы можно было создать физико-математическую модель некоего гипотетического ускорительного комплекса, функция состояния которого легко бы трансформировалась граничными условиями в любой базовый ускорительный комплекс^{14!}.

Нередко высказываются сомнения (в настоящее время, правда их все меньше и меньше) в целесообразности создания сложного комплекса оборудования для автоматической оптимизации систем управления. Опасения связаны: во-первых, с вопросами надежности и квалификационным обеспечением оперативного обслуживания и во-вторых, что в ускорительных комплексах, работающих с весьма малой частотой повторения ($\sim 0,1$ гц), воспроизведение функции состояния достаточно затруднено, так как существенную роль начинают играть: естественная флуктуация параметров и статистические ошибки. Однако выбор режима оптимизации "по шаблону" и "провинившемуся" параметру имеет значительные преимущества перед широкополосными (быстрыми) системами оптимизации по всему параметрическому полю и может быть выгодно применен для "медленных" машин. Итак, на повестку дня фундаментально ставится вопрос об органическом вписывании вычислительной техники в системы управления физ. процессами на ускорительных комплексах.

Надо сказать, что некоторая запоздалость такого категоричного утверждения определяется двумя причинами:

1. Дороговизна электронно-вычислительных машин и внешних устройств, обслуживающих главный процессор.

2. Некоторая боязнь безапелляционной математизации инженерной мысли.

Очень интересно менялось отношение к управляющим системам обслуживаемых ЭВМ¹⁵¹. Например, одним из ярых противников применения ЭВМ для управления ускорителями, одно время, был проф. Бартон из Брук.нац.лаборатории США, который утверждал, что хорошо построенный ускоритель не нуждается в математической опеке и если имеется возможность располагать ЭВМ, то её роль должна сводиться к роли такой рачительной бонны-экономки, поддерживающей установившийся порядок в доме.

Однако физиков-экспериментаторов никак не устраивал установившийся порядок в ускорительном доме. Одна за другой появлялись задачи, требующие чрезвычайно гибкого управления пучком ускоряемых и выводимых повышались требования частиц к их временным и структурным характеристикам. Задачи требовали и требуют работы ускорителя в режиме подвижной шкалы режимов (изменение характеристик пучка на разных этапах ускорения и вывода. Появилась необходимость коррекции программы управления в процессе экспозиции физ.эксперимента, что связано с обеспечением быстрой реакции систем управления на результаты физ.эксперимента. Проф.Бартону потребовался только один год пребывания в Аргонской лаборатории США (ZGS)^x), чтобы в корне изменить свое отношение к применению вычислит.техники на ускорителях.

В настоящее время Бартон является одним из ведущих специалистов по созданию управляющих систем на ускорителях. В одном прав Бартон - плохую вещь не стоит оптимизировать. Однако, для того, чтобы она стала хорошей, ей необходима квалифицированная диагностика многомерного анализа, который не мыслим без применения ЭВМ.

x) ускоритель с нулевым градиентом магнитного поля.

В настоящее время ZGS -работает в полностью управляемом режиме по семи программам физического эксперимента.

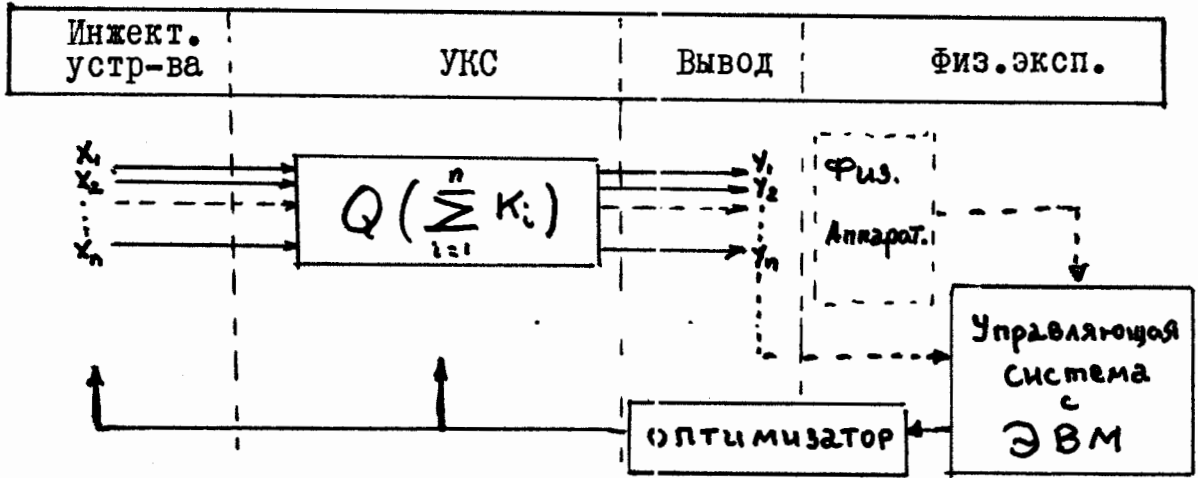
С одной стороны понимание необходимости рассматривать ускорит. комплексы, как объекты многопараметрической оптимизации, с другой стороны быстрое развитие вычислительной техники, за короткий срок пережившей три поколения ЭВМ и которые в настоящее время стали доступными даже при сравнительно скромном бюджете - все это открыло новые перспективы в совершенствовании ускорительной техники, направленные на превращение ускорителя в легко управляемый физич. прибор с гибкой программой его использования. Ускорители большинства лабораторий мира уже достаточно широко и эффективно используют малые управляющие машины типа РДР и машины среднего класса типа ЭВМ-1800, предназначенные для обработки функциональных массивов информации систем коррекции и управления. Основные, общепринятые направления использования ЭВМ в ускорительной технике следующие:

1. Расчёт и математическое моделирование динамики движения пучка частиц в процессе ускорения и вывода на физ. эксперимент.
2. Контроль параметрического поля ускорителя или отдельных его функциональных узлов при помощи глобального сбора информации о состоянии оптимальных уставок в режиме фильтрации данных.
3. Частные задачи по многомерному анализу массивов информации отдельных узлов ускорительного комплекса.
4. Отработка математических моделей многопараметрических систем с ~~экстремальным~~ ^{экстремальным} регулярованием.
5. На основе данных многомерного анализа информационной ситуации: Выработка рекомендации по настройке и корректировке параметрического поля ускорителя.
6. Статистический анализ аварийных ситуаций и прогнозирование в области организации эксплуатации ускорительных комплексов.
7. Выдача рекомендаций по увеличению надежности систем обеспечения режимов ускорения и вывода заряженных частиц.

При решении поставленных задач имеют место две тенденции:

I. Рассматривать ускорительный комплекс, как объект оптимизации по выходным параметрам, определяемым условиями физ.эксперимента.

Условно:



Q - функция состояния ускорительного комплекса, аргументом которой есть сумма промежуточных функций стадийного преобразования пучка ускоряемых частиц.

Это направление предусматривает создание математической модели всего ускорительного комплекса, которая позволила бы решить проблему оптимального управления пучком ускоряемых частиц на всех стадиях его преобразования. О преимуществах такого направления мы уже говорили выше.

2. Построение сепаратных систем управления и оптимизации вне связи с конечной задачей. Единственным преимуществом этого направления является кажущаяся простота и экономичность инженерных решений, хотя совершенно очевидно, что оптимизация отдельного функционального узла ускорительного комплекса вовсе ничего не говорит об оптимальном режиме работы всего ускорительного комплекса в целом. А поскольку, в конечном итоге, сепаратные решения будут все равно объединены в единый комплекс (логика!), то при стыковке

обслуживающих систем встретится очень много затруднений.

За основу решения задач по автоматизации управления ускорителями приняты следующие этапы (постепенности)

1. Сбор информации.
2. Многомерный анализ параметрического поля ускорит. комплекса.
3. Использование ЭВМ в режиме "Советчика" (система машина-человек - машина).
4. Разработка алгоритмов управления.
5. Разработка программ экстремального регулирования.
6. Организация математического обеспечения мультипрограммного режима и режима реального масштаба времени.
7. Создание оптимизирующих устройств и экстремальных многопараметрических регуляторов.

Следует сказать, что и в этих общих вопросах имеется некоторое отличие в путях их решения. Отметим наиболее важные. Определение объема и структуры массивов информации является принципиально важным обстоятельством, определяющим выбор структуры управляющего комплекса и эффективность его использования.

Существует два мнения по этому вопросу: ¹⁴¹

I. Вывод информации о конкретном состоянии поля оптимальных уставок (статическая функция состояния) и ее контроль по отклонению в полосе допуска.

В данном случае, оператору предлагается огромный информационный массив, несущий в себе сведения о множестве параметров (в некоторых случаях до 10^3).

Ограниченная селективность восприятия и анализа субъективного оператора ставить под сомнение целесообразность вывода такого объема информации. Единственным разумным решением в этом случае может быть организация режима "оперативного молчания" в полосе допуска, с распечатыванием массива информации по " провинившемуся " параметру

с указанием номинала, знака ошибки и места "отклика".

Идеология режима "оперативного молчания" состоит в следующем:

Система регистрации определенного множества параметров в каждом цикле ускорения сравнивает амплитуды параметров с заданным оптимальным трафаретом, хранящимся в памяти ЭВМ. Сравнение осуществляется в полосе допуска на изменение каждого параметра. Оптимизируется какая-то заданная величина, в частном случае интенсивность ускоряемых частиц, которая является сложной функцией параметрического поля ускорителя. Вывод данных оператору представляется либо полем "провинившихся" параметров (вышедших из полосы допуска), либо глобальным полем параметров при изменении оптимизируемой величины на величину, большую допустимой.

В принципе, режим экономичен и не загружает оператора чрезмерной информацией в случае нормального состояния системы. Однако следует иметь в виду следующее:

1. Эффект отыскания оптимального экстремума функции состояния регулируемого объекта в условиях многопараметрического поля задатчиков может быть достигнут двумя путями:

А. Отработкой программы экстремального регулирования в системе управления объектом (выдерживание полосы допуска).

Б. Случайная оптимизация за счёт усреднения поля ошибок и случайного уравнивания сил параметрического влияния на функцию состояния регулируемого объекта.

Эти два фактора следует иметь в виду при организации систем авто-регулирования. Дело в том, что регулирование в режиме случайной оптимизации может привести к отрицательному эффекту. С одной стороны; ● управляющая машина, зафиксировав оптимум при сильно расстроенном параметрическом поле, может неправильно понять ситуацию и выдать

неправильное решение на управление. Действительно, разнозначность уходов параметров может вызвать усредняющий эффект с точки зрения влияния на функцию состояния. В этих условиях сильно действующий параметр может быть уравновешен определенным множеством слабодействующих параметров, что приведет к интегрирующему эффекту в структуре данных массивов информации. Эффект случайного оптимума делает невозможным объективный анализ информации, если не предусмотреть операции:

1. "Взвешивание" ошибок.

2. Определение меры ответственности ухода того или иного параметра.

3. Определение знака градиента ошибок.

Подчеркиваю, что эту особенность больших систем следует иметь в виду обязательно. Это, что касается Организации режима "оперативного молчания". Второй подход.

Вывод информации в конечных функциях на стадиях преобразования объекта регулирования. Этот подход предполагает использовать богатый опыт субъекта-оператора, который, в конечном итоге, осуществляет оптимальную настройку режимов по "слепому" полю множества регулируемых параметров, наблюдая при этом состояние конечных функций (например, характеристики импульса инъекции, параметры квазибетатронного импульса, характеристики пучка, захваченного в ускорение, характеристики выведенного пучка и т.д.). Контроль конечных функций даст возможность выявить необходимое и достаточное поле параметров, ответственных за состояние регулируемого объекта, позволит сократить объем и упростить структуры информационных массивов.

С нашей точки зрения второй путь предпочтителен. Хотя мы и не исключаем использования I пути, особенно при регистрации стати-

ческой функции. В вопросах построения структур с ЭВМ следует иметь в виду оптимальный выбор исполнительных элементов. Дело в том, что в настоящее время целесообразной схемой сопряжения ЭВМ и систем обработки информации в управляющем комплексе признана - развитая периферия на МЭВМ с выходом на главный процессор в программном режиме с приоритетом, или *on Line* .

Развитие периферии неизбежно связано со снижением класса минипроцессоров, что, естественно, снижает затраты на оборудование, но это приводит к существенному удорожанию математического обеспечения. Это соображение говорит о том, что целесообразно на функциональных узлах периферии ускорительного комплекса иметь машины, приближающиеся к среднему классу.

Такое решение в ряде случаев облегчило бы задачу выбора и приобретения главного процессора, так как в данном случае, его роль могла бы быть возложена на одну из машин периферийного ряда с *on Line* на вычислительный центр Лаборатории или Института для решения особых задач.

Еще несколько слов о структуре вычислительного комплекса.

Вычислительный комплекс в системах управления должен содержать как ЦВМ, так и АВМ. Видимо, именно гибридный комплект наиболее удобен в организации работ по автоматической оптимизации ускорительных комплексов¹⁷,¹⁸.

Если сложные расчётные задачи довольно легко решаются на ЦВМ, то для моделирования целого ряда динамических функций выгодно применять АВМ. На АВМ проще решение дифференциальных уравнений движения частиц ускоряемого сгустка и выбор операционных блоков-преобразователей не требует специального программирования. Разумное сочетание ЦВМ и АВМ создало бы оптимальные условия для обслуживания систем автоматического управления режимами ускорительного комплекса.

Теперь остановимся на специфических особенностях объекта регулирования. В процессе изложения материала нами часто употреблялось выражение: "стадийное преобразование" пучка ускоряемых частиц.

Благодаря открытию эффекта автофазировки академиком Векслером В.И., оказалось возможным осуществить резонансное ускорение достаточно интенсивных сгустков заряженных частиц, как в линейных, так и кольцевых ускорителях до весьма больших энергий. Это была новая страница в ускорительной технике, открывшая грандиозные возможности для физики высоких энергий. Оказалось, что имеется возможность синхронно ускорять не только одну частицу, набирающую необходимый прирост энергии за оборот. Эффект автофазировки, как всем, наверное известно, состоит в том, что частицы с энергией, отличающейся от равновесной, приходят к моменту "толчка" электрического поля в таких фазах, что более энергетичные частицы тормозятся, а менее, ускоряются и те и другие стремятся к режиму ускорения равновесной частицы, совершая маятниковые колебания около равновесной фазы. Выбор закона изменения частоты и магнитного поля в зависимости от изменения скорости движения частицы, позволило сохранять "банчи" объемных зарядов в течение всего времени ускорения.

Первая банчировка пучка осуществляется на стадии инъекции. Пучок частиц, вырванный импульсом электрического поля из плазмы разряда источника, предварительно ускоряется и фокусируется форинжектором. Естественно, на этой стадии преобразования значительная часть пучка теряется при его формировании. После того, как импульс частиц попадает в линейный ускоритель (ЛУ), начинается вторая стадия преобразования, которая характеризуется резонансным захватом частиц, для нашего случая с частотой 150 мгц. Сплошной сгусток превращается в "цуг" банчей, которые ускоряются в ЛУ до 10 Мэв. Разумеется и здесь возникают "законные" потери частиц, обусловленные дискретностью захвата и "прозрачностью" ЛУ. Далее наступает стадия формирования

"сгустков" при которой происходит выравнивание энергетического спектра частиц за счёт синхронной дебанчировки и задание угловых характеристик, что определяет так называемый фазовый объем инжектируемого сгустка или как принято называть его - ЭМИТАНС. Эмитанс ЛУ должен быть настроен таким образом, чтобы фазовый объем "вписался" в адмитанс синхрофазотрона, который определяется фазовой апертурой камеры ускорителя. Это, по сути дела, "преемственность" синхрофазотрона, которая зависит от точности согласования эмитанса и адмитанса. На этом переходе теряется значительное число частиц даже при очень хорошей настройке. Дальше начинается так называемый "квазибетатронный режим", при котором происходит предварительное накопление частиц. "Цуг" банчей превращается в сплошное кольцо, границы которого определяются спектром инжектируемых частиц, так как каждой частице определенной энергии соответствует вполне определенная орбита. К концу инжекции в камере образуется плоское кольцо, симметричное относительно центрального радиуса ускорителя. В этом режиме тоже наблюдаются потери частиц, как "законные", так и "незаконные". Как иллюстрацию дадим некоторую математизацию этой стадии преобразования¹⁹⁾. Если ток из инжектора J , то за время инжекции τ_i будет впущено в камеру $J \frac{\tau_i}{e}$ протонов.

На первом этапе захватится:

$$Q_1 = \frac{J \cdot \tau_i \cdot \eta_p \cdot \eta_z}{e}, \quad \text{где} \quad \tau_i = (1-n) \frac{R_i}{R_0} \cdot \frac{H_i}{\dot{H}_i}$$

где η_p - вероятность частицы миновать инжектор и вертикальные стенки камеры. η_z - вероятность непопадания на горизонтальные стенки, Нетрудно видеть, что оба эти коэффициента зависят от угловых характеристик инжектируемого пучка δ и α , которые определяют амплитуду свободных колебаний^{х)}. Следовательно обобщенный

х) И для которых существуют довольно сложные выражения, связывающие геометрические параметры машины и магнитные характеристики рабочего объема камеры ускорителя.

коэффициент переходного режима:

$$\eta_1 = \eta_p \cdot \eta_2$$

Как только сформируется квазибетатронный пучок, включается высоко-частотное электрическое ускоряющее поле и происходит захват в синхрофазотронный режим. На этой стадии преобразования пучок частиц становится вновь дискретным, захватывается только часть частиц из сплошного кольца, т.к. апертура камеры не позволяет создать область устойчивости близкой к 2π . Правда такой режим (2π) может быть организован и мы сейчас рассматриваем возможности его осуществления на нашем ускорителе. Режим носит названия "адиабатик трепинг". Для этого необходимо особенно тщательное программирование магнитного поля и амплитуды ускоряющего напряжения. Захват в синхрофазотронный режим характеризуется коэффициентом

$$\eta_2 = \frac{\rho_i \cdot x^2 (1 - \varphi_0 \operatorname{ctg} \varphi_0)^{1/2}}{\bar{\rho} \cdot \Delta M} \times \left[1 - \frac{1}{3}x + \frac{x^2}{2} + \dots \right] \quad (8)$$

где

$$\bar{\rho} = R_0 \sqrt{\frac{2eV_0 \sin \varphi_0 (1 - \varphi_0 \operatorname{ctg} \varphi_0)}{\pi \cdot K \cdot F \cdot E \cdot \beta^4 (1-n)^2}} \quad (9)$$

$$\Delta M = \frac{\Theta_m \cdot \Omega \left(1 + \frac{E_0}{E}\right)}{\omega_s \cdot \beta_s^2 \cdot K \Delta \varphi}$$

$$x = 1 - \alpha_\varepsilon; \quad \bar{\rho} < \rho_i - \alpha_\varepsilon \rho_i$$

α_ε - коэффициент перекрытия сгустка по спектру.

Мы не хотели бы впечатлять этими формулами, иллюстрация приведена для того, чтобы показать насколько много разных физ. величин, оптимальное значение которых обязана обеспечить система управления для того, чтобы получить значительную рабочую интенсивность в ускоряемом сгустке. Чтобы было понятно, скажем, что от инжектируемых частиц до конца ускорения остается $\frac{2 \cdot 10^{11}}{3 \cdot 10^{12}} \sim 6,0\%$ (в лучшем случае).

В процессе ускорения на сгусток частиц действует всякого рода возмущающие факторы особенно в "особых" режимах (ускорение с выключенной частотой, с повторным захватом частиц в режиме постоянного и переменного магнитного поля, при которых происходит модуляция фазового объема, изменение геометрии сгустка и т.д. и т.п., т.е. имеет место сложная динамика функции состояния управляемого объекта пучка частиц). В этом случае происходит сложное взаимодействие параметрических полей ускорительного комплекса.

Наконец, вывод частиц связан с изменением качества объекта и, вообще говоря, его сущности.

Первичный пучок, при взаимодействии с мишенью рождает потоки вторичных частиц, которые транспортируются к месту регистрации физической аппаратурой. Заметим, что характеристики вторичных пучков однозначно связаны с характеристиками первичного пучка ускоренных частиц или ядер. Вот вкратце, что означает выражение - "стадийное преобразование". Учитывая все вышеприведенные замечания попробуем представить себе коэффициенты стадийного преобразования. Итак -

$$\begin{aligned} K_1 &= I_1 \left(\sum_{i=1}^n p_{i1} \right) \\ K_2 &= I_2 \left(\sum_{i=1}^n p_{i1} ; \sum_{j=1}^n p_{j2} \right) \\ &\dots \dots \dots \\ K_N &= I_N \left(\sum p_{ni} \dots \dots \sum_{j(1..n)} \right) \end{aligned} \quad (II)$$

Что это значит? Это значит, что каждая последующая стадия преобразования содержит в себе "предисторию" предыдущей, что ограничивает возможности оптимизации каждой последующей стадии. Следовательно последовательная настройка ускорителя чревата весьма солидными "подводными камнями". Необходимость одновременного восприятия функции состояния всего ускорительного комплекса более чем очевидна.

Возможна ли такая ситуация для субъекта-оператора? Конечно, нет! Это ещё одна особенность при построении управляющих систем. Есть и ещё одна особенность, заключающаяся в том, что объект регулирования не имеет непосредственного контакта с управляющими системами и между ними лежит функция опосредствования, которая сама по себе накладывает дополнительные связи на параметрические поля, определяющие частные состояния регулируемого объекта. Таким образом многопараметричность поля регулирования, обладающего сложными внутренними связями: опосредствующее влияние управляющих систем на регулируемый объект: существенное влияние функции предыстории - это важнейшие вопросы, которые должны лечь в основу построения физико-математической модели ускорительного комплекса.

Мы говорим об этом не за тем, чтобы подчеркнуть безнадежность задачи, а для того, чтобы подчеркнуть важность и серьёзность проблемы, которые не должны вызывать сомнений. Итак за скромным выражением:

$$\Phi_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n \Phi_{0i} \quad (12)$$

стоит большая и серьёзная работа математиков, физиков, программистов и инженеров. Сейчас складывается довольно оригинальная ситуация. Кибернетики требуют математическую модель всего ускорительного комплекса как единого функционального элемента с многомерными входами и выходами. Математики требуют физическую сущность модели и её динамику. Надо сказать, что требования взаимоуравновешивающие, а это опасно с точки зрения достижения конечной цели. Что бы мы рекомендовали в этом высокоинтеллектуальном споре?

I. Мы готовы представить в распоряжение математиков-теорию ускорителей, которая достаточно хорошо проработана с точки зрения физики и динамики преобразования пучка частиц, (правда, эта теория последовательного восприятия стадийного состояния ускорительного комплекса, что не совсем удобно для нашей цели).

2. Мы готовы представить кибернетикам основные данные для построения принципов экстремального регулирования (хотя наличие математической модели, видимо, существенно облегчило бы эту задачу).

3. Мы бы рекомендовали два пути подхода к созданию математической модели функций преобразования. Первый путь - интегральное представление функции состояния, скажем, в общем виде:

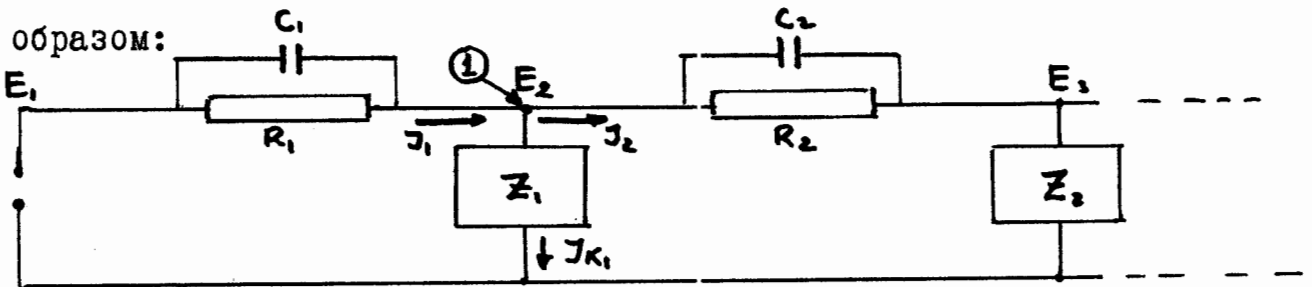
$$Q(t) = \sum_{s=k,s,\dots} \int_0^t Q_s(t) dt$$

Второй путь - это построение n - мерного функционала в виде динамической матрицы взаимозависимых параметров, конечное решение которой искалось бы как:

$$\frac{\partial F_i}{\partial p_{in}} = 0$$

где p_{in} n -ый параметр i - той стадии преобразования.

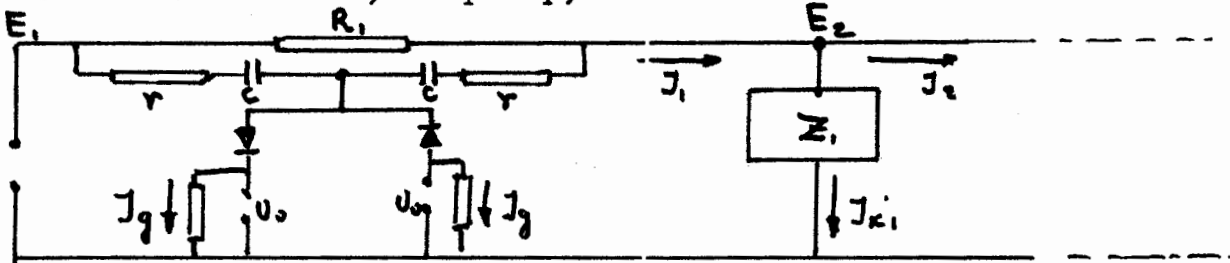
4. Наконец, для облегчения интерпретации ускорительного комплекса в режиме динамики преобразования можно показать элемент эквивалентной схемы ускорительного комплекса, если так можно сказать, в инженерном представлении. В данном случае, мы полагаем, что любая стадия преобразования, о которых мы достаточно много говорили, может быть представлена в общем случае активным четырехполюсником содержащим источники токов - напряжений, а так же линейные и нелинейные преобразователи. В упрощенном виде это будет выглядеть следующим образом:



Т.о. в точке I первого преобразования имеют место потери частиц

J_{k1} обусловленные, как "законными", так и незаконными причинами, которые заложены в Z_1 . Физическая интерпретация ёмкостей C_1 и C_2 состоит в том, что при наличии возмущений (переменной составляющей), лежащих в пределах допуска, потерь интенсивности нет, но пучок изменяет свое качество (в частности изменение величины

фазового объема). Если же возмущения выходят за пределы полосы допуска, то схема несколько усложняется, т.е. появляются дополнительные элементы, например,



В данной трактовке, дополнительные потери возникнут в том случае, если амплитуда возмущения превысит заданный уровень U_0 . По всей вероятности учёт других факторов приведет к дальнейшему усложнению схемы, хотя видимо, в приведенном виде все это будет эквивалентно ^{усилительному} каскаду на сопротивлениях $\sum R_n$ с ёмкостным выходом $\sum C_n$, обладающим переменным коэффициентом $K < 1$.

Т.о. коэффициент передачи такой схемы может быть записан как:

$$K_{nm} = \frac{K_0}{1 - j\omega C_0 R_0} \quad \text{при } \omega \gg \omega_0$$

$$K_{nm} = \frac{K_0}{1 - \frac{j}{\omega R_0 C_{печ}}} \quad \text{при } \omega \ll \omega_0$$

Попытаемся проанализировать частотную характеристику этой эквивалентной схемы.

Резонансная частота системы ω_0 - частота, при которой четырехполюсник представляет собой чисто активное сопротивление т.е. отсутствуют отклонения параметров от оптимума и нет статистических ошибок.

$\omega \gg \omega_0$ - быстрое изменение над параметрического поля ошибок

$\omega \ll \omega_0$ - адиабатические уходы параметров

В том и другом случае, при крайних значениях ω , K_{nm} падает.

При медленных уходах нарушается динамика пучка частиц как целого

что приводит к его выходу из полосы оптимального регулирования. При быстрых флуктуациях параметров возникает возмущения типа белого шума, что приводит к нарушению внутренней динамики пучка ускоряемых частиц и выходу их из синхронизма.

Таким образом аналогия с усилительным каскадом ($K < 1$) является в достаточной мере справедливой и функция коэффициента передачи хорошо математизируется. Следует заметить, что более детальная схема-эквивалент должна быть гораздо сложнее. Например: ограничения по оксептансу и эмитансу, ограничения по вакууму, по объемному заряду, программные ограничения и др. - должны быть отражены в схеме в виде ограничительных цепочек, включающих в себя диоды и сопротивления, подключенные параллельно в точках соответствующих стадий преобразования. Схема становится не такой простой как это кажется вначале. Вот, собственно, те пути, которые мы рекомендуем положить в основу поисковых работ при отыскании наиболее оптимального варианта физико-матем. модели ускорительного комплекса. Возможен ли другой подход к этому вопросу? Безусловно!

Теперь, рассмотрим несколько подробнее интересующий нас объект оптимизации. На рис. 4 представлен ускорительный комплекс синхрофазотрона ОИЯИ, с наложенным на него датчиковым полем. Каждый функциональный узел ускорительного комплекса: инжектор, основное кольцо, системы вывода и транспортировки пучка имеют или будут иметь свои линии и кольца сброса информации. Синхрофазотрон располагает очень разнесенным полем опорных уставок составляющих "трафарет" статической функции характеризующий:

1. Состояние вакуума на производственной длине оборудования.
2. Состояние источников питания, задающих опорные уровни и токовые уставки в цепях регулирования. Сбор информации о статическом поле параметров будет осуществляться при помощи аналоговых коммутаторов, построенных на принципе шагового искателя и релейных

логических коммутаторов. Для обработки данных будет использован один или несколько каналов АЦ - преобразователя снабженного соответствующий интерфейсной картой для связи с ЭВМ. Для съема и предварительной обработки информации о функции управления и функции состояния оптимизируемого объекта (пучка заряженных частиц) будет использована система САМАС. Это кассетные "Крейты" с набором преобразователей самого различного назначения, выполненных на интегральных схемах и располагающих контроллером, обеспечивающим внутренний тактовый опрос многоканальной системы. Через пакеты интерфейсных карт САМАС будет соединен с ЭВМ. Какими параметрами мы располагаем при наличии существующего датчикового поля ускорит. комплекса синхрофазотрона?

На рис. 5 и рис. 6 представлено датчиковое поле и параметрические массивы подлежащие регистрации и обработке. Несколько дополнительных замечаний по параметрическому полю ускорителя /10/.

На рис. 5 представлена шкала параметров по стадиям преобразования и их функциональные характеристики.

Здесь количественно-временная шкала наглядно иллюстрирует распределенность потока информации во времени.

Нетрудно видеть, что стадии преобразования наиболее ответственные за потерю частиц, сосредоточены в очень узком интервале времени. В течение двух мсек. пучок успевает пройти семь стадий преобразования и практически потерять основную долю частиц.

Ясно, что за один цикл ускорения никакой оператор не в состоянии провести одновременную регистрацию состояния переходных функций, оценить ситуацию и принять необходимое решение к программе регулирования. Кроме того, последовательный анализ переходных функций за много циклов воспроизведения регулируемого объекта, с точки зрения оптимальной настройки, теряет смысл даже при малых уровнях

флуктуаций параметрического поля и при наличии большого опыта оператора.

Наиболее "Спокойным" участком является режим ускорения частиц до средних энергий, где работает адиабатическое затухание как свободных, так и фазовых колебаний (они затухают как $1/n$ и $1/\sqrt{n}$ соответственно) ¹⁹.

Однако, включение в работу управляющих систем, воздействующих на:
 $(\omega, n, \dot{n}, v_0, \varphi_0)$

$$1) \frac{\Delta R}{R} = - \frac{\Delta \omega}{\omega} \cdot \frac{1}{KF} \quad - \text{обратная связь } \omega \rightarrow r$$

О.С.(f)

$$2) r = \frac{\beta E}{e \cdot H(t, r)}$$

$$3) e v_0 \omega \varphi_0 = k \dot{n} ; \quad \varphi = \arcsin \frac{k \dot{n}}{e v_0} \quad - \text{О.С.}(\dot{n})$$

$$\operatorname{ctg} \varphi_0 = \frac{\dot{n}}{v_0}$$

Изменяет основные характеристики пучка:

$$\Delta M ; \theta^\circ ; \bar{r} ; J ; r ; \Omega \dots \text{ и}$$

В свою очередь вызывает изменения положения и фазового объема пучка. В этом режиме плотность информационного потока сильно возрастает и примерно за 500 мсек до конца ускорения достигает максимума.

С другой стороны промежуточные выводы частиц и формирование потоков вторичных частиц в интервалы времени от 100 миксек до 300 мсек несут в себе очень плотные дискретные массивы информа-

ции, включающие функции состояния систем вывода и трассирующих устройств, вплоть до результатов физического эксперимента.

Совершенно очевидно, что необходимы системы, которые были бы в состоянии обеспечить быстрый съём и обработку информационных массивов с датчикового поля ускорительного комплекса, быструю оценку информационной ситуации и выдачу рекомендаций на экстремальное регулирование.

Итак, несколько слов об электронно-вычислительном комплексе синхрофазотрона ЭВКС.

О выборе ЭВМ для реализации проекта

ЭВКС (электронно-вычислительный комплекс синхрофазотрона), вначале, предполагалось организовать на базе трёх микропроцессоров, один из которых выполнял бы функции головной машины и обладал бы расширенной арифметикой и максимальной памятью $> 32\text{к}$. Такая структура ЭВКС позволила бы обеспечить обработку функции состояния параметрического поля ускорительного комплекса, включающего в себя три функционально - ограниченных объекта многопараметрической оптимизации: линейный ускоритель ЛУ, синхрофазотрон (основное кольцо), системы вывода пучка ускоренных частиц на физический эксперимент.

Поскольку плотность информации о функции состояния ускорительного комплекса за цикл ускорения крайне неравномерна, то выравнивание потоков информации предполагается осуществить за счёт организации работы микропроцессоров в режиме быстрого обмена и многоцелевого программирования. Последнее связано с тем, что, как уже показано, структура функции состояния ускорительного комплекса содержит: статическую функцию оптимальных уставок S и динамическую функцию состояния конечных стадий преобразования пучка и систем управления Φ .

На I этапе реализации проекта "Автоматическая оптимизация систем управления синхрофазотроном по программам физического эксперимента" информационное поле будет содержать ~ 270 датчиков, из которых ~ 150 составит S .

В этом случае следует иметь в виду, что помимо загрузки памяти микроспроцессоров оперативным информационным материалом (количество информационных массивов ~ 200), необходим резерв памяти для хранения эталонных реперов оптимальной настройки, хранения информационного трафарета предыдущего цикла и резерв памяти для программ арифметики и служебных программ, необходимых для обеспечения режима счёта функциональных задач при анализе параметрических связей.

Для обработки информационных массивов датчикового поля ускорительного комплекса предполагается использовать ~ 200 программных каналов и 3 канала прямого доступа. Укажем временные характеристики элементов информационных массивов:

Вначале сделаем некоторые оценки для частной задачи I этапа, назовем её подзадачей. Предполагается использовать информацию с 25 датчиков, которые составят информационный массив, изображенный на рис. 7. Результатом обработки этого массива явится предварительная оценка ~~оптимальности~~ информационной ситуации на разных этапах инъекции и ускорения частиц.

Несколько слов о характеристиках информационного поля:

1. Минимальная ширина потока информации (определяется БАП) или время минимальной дискретности при стробировании рабочей длины массива информации ~ 30 мксек.

2. Рабочая длина массивов изменяется от 100 мксек до 3,3 сек (Например: длительность инъекции $\tau_i = 300$ мксек, длительность вывода: 100 мксек - 500 мсек, время ускорения 3,3 сек).

3. Время приёма информации 5,3 сек (длительность цикла ускорения).

4. Минимальное время обработки-6 сек. (пауза между циклами)

5. Время выдачи результатов определяется быстродействием внешних устройств (телетайп, магнитофон, МЭВМ).

6. Точность регистрации номиналов параметров от 0,1% до 5%.

Требования к "памяти" из расчёта обработки информационного массива :подзадачи А состоят в следующем:

1. На обработку одной точки необходимо зарезервировать 4 машинных слова (по 16 разрядов). Для передачи выбранного частного массива информации, включая служебную информацию времени, необходимо иметь ~ 600 машинных слов (по 16 разрядов). В памяти ЭВМ для преобразований информации должно быть отведено ~ 4,8 к. Учитывая, что для размещения программ в памяти необходимо иметь резерв ~ 6-8к, то для обработки заданного оперативного массива потребуется память ~ 16 к или 32 кбайт со скоростью 1-4 мксек. Т.О. необходимо располагать либо двумя МЭВМ М-6000 в минимальном комплекте, либо одним с памятью 16 к.

2. Максимальная скорость приёма информации с внешних устройств (без учёта съёма информации с внешних накопителей (034 диски и т.д.) 1 байт - 1-2 мксек.

3. Скорость приёма информации с внешних устройств по каждому каналу 1 байт - 10-20 мксек.

4. В принципе требуется разработка буферной памяти на 200 байт со скоростью 1 мксек байт, однако, при наличии системы САМАС эта необходимость, видимо, отпадает.

5. Необходимо иметь в минимальном комплекте М-6000 быстрый внешний накопитель (диск) с 64-100 кбайт.

6. Для хранения эталонных программ требуется медленная

внешняя память - магнитофон 1-2 мбайт.

7. Дисплей графо - символьный со световым караншадом.

8. АЦПУ - 128 позиций.

Несколько замечаний о преимуществах и недостатке применения МЭВМ в системе ЭВКС в разных вариантах. Каковы же преимущества?

1. Наличие нескольких МЭВМ даёт возможность распараллеливания каналов обслуживания - управления, что достигается более дешёвыми средствами, чем при наличии только ЭВМ среднего класса.

В процессе управления и обработки первичной информации более полно используются возможности процессора.

Наличие нескольких МЭВМ позволяет организовать систему машин, с помощью которой можно осуществить более гибкую и взаимозависимую систему управления.

Недостатки:

1. Относительная медленность выполнения арифметических операций.

2. Небольшая память.

Преимущества и недостатки применения средних ЭВМ

(например: Р-20)

Преимущества:

1. Быстрота арифметических операций

2. Большой объем памяти

Недостатки:

1. Наличие одного канала обслуживания - одного процессора.

Наиболее приемлемым был бы гибридный вариант:

базовая машина Р-20 и одна периферийная машина типа М-6000, либо ТРА; для фильтрации данных и разравнивания массивов информации.

Поэтому у нас еще пользуются правом на существование и обсуждение оба варианта ЭВКС, условная схема которых представлена рис. 3 и

рис. 4 .

Все предыдущее изложение касалось вопроса постановки задачи и возможных путей её реализации. Теперь несколько слов о том, что мы имеем в настоящее время. Конечно, было бы весьма приятно, продемонстрировать вам осциллограмму аналогично той, которая получена нами из Батавии США, но к сожалению, пока, кроме многочисленных телетайпных лент, несущих формальную информацию о том или другом режиме, мы ничем не можем похвастаться.

Правда, к концу года мы думаем получить первые результаты обработки информации с использованием дисплея - это придает определенную твердость нашим позициям.

А в настоящее время дело обстоит следующим образом:

1. Создаваемый электронно-вычислительный комплекс синхрофазотрона (ЭВКС) в настоящее время располагает:

а) вычислительной машиной типа ТРА-1001. Время обращения к памяти 10 мксек. Объем памяти 4к.56 программных каналов и один канал прямого доступа;

б) внешними устройствами: ПТ А5R-33, читающим устройством FS-1500 и интерфейсом для цифрового вольтметра (изгот. ЛВЭ СЭВТ);

в) аналоговыми коммутаторами на 11 и 6 каналов.

В течение года ЭВМ использовалась для расчётных работ (программа **Focal**), отработка программ выдачи данных на телетайп в режиме статистики и в режиме графикопостроителя.

Общее время наработки в эксплуатационном режиме ~ 700 часов, в течение года, включая время наладки, освоения и ввод в эксплуатацию. ТРА 1001 - получена I/IV-70г. Работа осуществлялась в одну смену. Простои машины по причине отказа ЭВМ составил 340 час.

2. Использование ЭВМ ТРА 1001 происходит согласно плана реализации аванпроекта: "Использование ЭВМ для систем управления ускорительным комплексом синхрофазотрона".

Аванпроект, как известно, предусматривает этапность осуществления систем управления с применением ЭВМ:

I. Этап - сбор и обработка информации о параметрическом поле ускорителя.

II. Анализ динамической функции состояния регулируемого объекта по параметру "интенсивность" и отработка алгоритмов управления для систем автокоррекции.

III. Создание систем автоматической оптимизации ускорительного комплекса по заданному параметру.

В настоящее время реализуется I этап.

ЭВКС располагает многомерным входом содержащим 10 датчиков. Разработано 4 оперативных теста по обработке информации о синхрофазотронном режиме по программе многомерного анализа данных о функции состояния пучка ускоряемых частиц и обеспечивающих систем. Создана программа режима "оперативного молчания" и практически задействована в эксплуатацию при регистрации состояния питающих устройств технологического тракта высокочастотной ускоряющей системы и определения их влияния на стабильность уровня интенсивности в ускорителе. (Задействовано 5 датчиков).

В течение 1971 г. отработанная программа будет обеспечивать обработку информации с 10 датчиков, результаты которой уже в этом году дадут возможность сделать первые оценки информационной ситуации при ускорении заряженных частиц в синхрофазотронном режиме. С этой целью предполагается в этом году:

1. Задействовать 8 канальный преобразователь (А-К) (стойка "Львов"). (А-Ц Ц-А).

2. Оснастить ТРА 1001 интерфейсными картами на базе системы САМАС.

3. Изготовить электронные часы для обеспечения режима работы в реальном масштабе времени.

4. Провести подготовительные работы по подключению и выводу данных как на телетайп, так и на дисплей.

Реализация настоящей программы дает возможность:

1. Получить оперативную информацию для многомерного анализа состояния ускорительного комплекса в синхрофазотронном режиме.

2. Выдать первые рекомендации в системе машина - человек-машина.

3. Получить возможность к расширению датчикового поля (подключение датчиков систем инъекции и основного кольца).

4. Заложить основы математического обеспечения режима "Советчика" (рекомендации ЭВМ для оперативной службы).

5. Приступить к разработке систем обратных связей на базе стойки "Львов" и систем САМАС.

6. Ожидаемый результат:

а) выработка оптимальных режимов настройки синхрофазотронного режима и инжестируемых устройств (пока в системе машина-человек-машина);

б) непрерывный оперативный контроль параметров, ответственных за режим ускорения частиц;

в) быстрое отыскание "провинившегося" параметра с указанием места отклика, номинала и знака ошибки;

г) исключение последовательности в настройке режимов ускорения при отказах в системах обеспечения.

Итак основные положения, которые можно сформулировать на основе нашего изложения как направляющие темы при реализации проекта автоматической оптимизации ускорителя III:

1. Разработка математической модели ускорительного комплекса синхрофазотрона (УКС).

2. Создание необходимого датчикового поля УКС.

3. Развитие и оснащение ЭВКС.

4. Разработка программ интерпретации информационных массивов (оценка информационной ситуации).

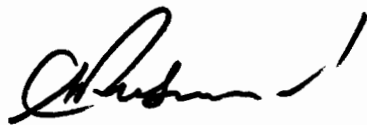
5. Разработка оперативных тестов для многомерного анализа информационного поля большой системы.

6. Разработка математического и программного обеспечения ЭВКС.

7. Организация режимов ЭВКС (мультипрограммы, реальный масштаб времени и статистическое прогнозирование).

8. Организация внешних устройств. Библиотеки программ. Архивы.

9. Разработка математических моделей и логики управления для экстремальных регуляторов по многим параметрам.



Г. С. Касимов

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.С.Казанский. Препринт ОИЯИ Б2-9-4163 Дубна, 1968
2. "Computer Uses..." IEEE Transaction on Nuclear Sci. Vol N 5-16, No 3, p 811-954 1969
3. A.R. STRUTHERS
AUTOMATIC CONTROL SYSTEM DESIGN FOR THE BERKELEY
"88" CYCLOTRON"
NUCLEAR INSTR. & METHODS Vol. 29, N2, p 185, 321 1966
4. Г.С.Казанский. Препринт ОИЯИ Б2-9-5264 Дубна, 1970 г.
5. M.V. Barton IEEE Transaction on Nuclear Science.
vol, N 3-16 No 3 (810-812), 1969
6. R. Frankel. Rev. Sci. Instr., 40 N2 (255-257) 1969
7. E. Assec et al... CERN report MPS/c.
Computer 70-11, September. 1969
8. В.А.Кочуров^{ер}, В.И.Разин, И.В.Триханова "Применение аналоговых вычислительных машин для исследования движения заряженных частиц". Атомиздат, Москва, 1970 г.
9. М.С.Рабинович. Труды ФИ АН СССР т.Х. Москва, 1956
10. Г.С.Казанский. Препринт ОИЯИ Б2-9-4195 Дубна, 1968
11. Г.С.Казанский, А.А.Хошенко. Препринт ОИЯИ № 9-5487 Дубна, 1970

К вопросу о коэффициенте использования ускорителя $L_{вз}$ - $K_{и.у}$.

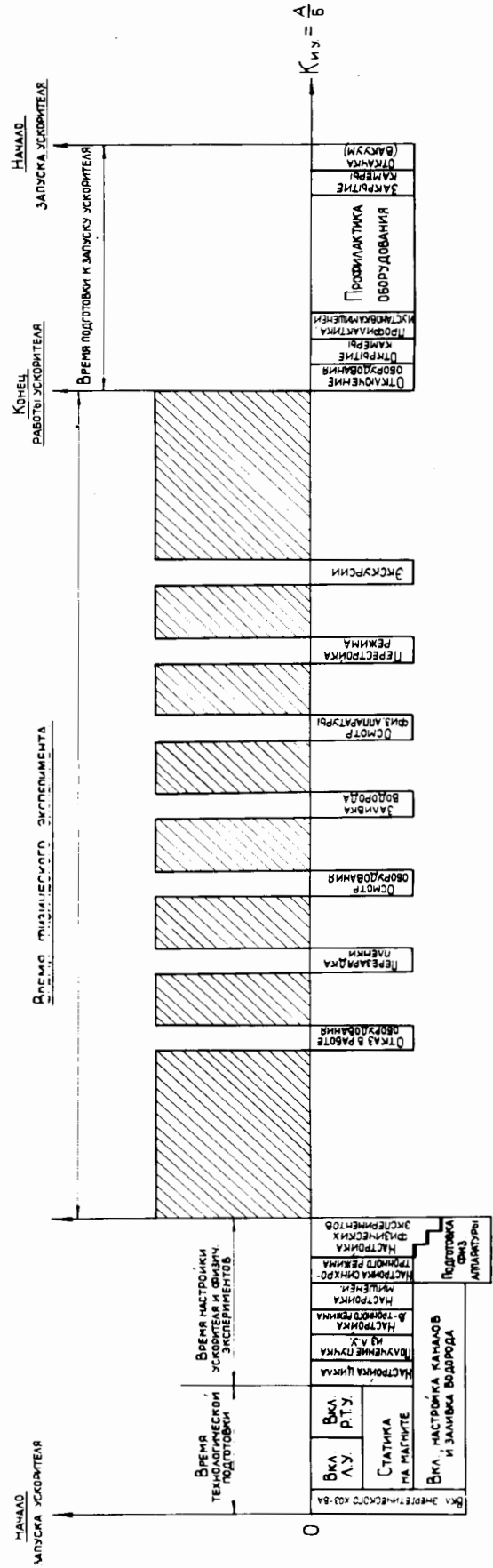
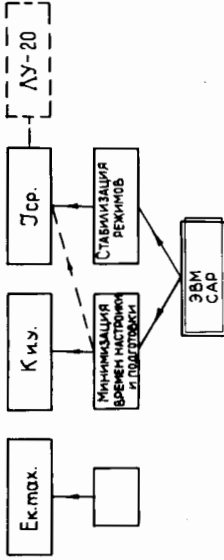


Рис. 4.

КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСКОРИТЕЛЯ - $K_{уск}$

$$K_{уск} = \frac{\sum_{i \in \Pi} t_{pi}}{\sum_{i \in \Pi} t_{pi} + \sum_{j \in \Pi} t_{j, \text{проф.}} + T_{подг.} \cdot \gamma + \omega_1 \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} t_{oxy} + \omega_2 \sum_{x \in X} \sum_{y \in Y} t_{oxy} \cdot Z \cdot \delta \cdot N + \sum_{j=1}^k \sum_{p=1}^p \sum_{s=1}^s t_n \cdot S \cdot M_j + \omega \sum_{\theta \in \Theta} t_{\theta} \cdot h + t_{\phi} \cdot W}$$

t_{pi} - длительность работы установок ускорительного комплекса в условиях проведения физического эксперимента.

Π - число длительностей работы за заданный интервал времени (экспозиция, месяц, год и т.д.).

$t_{j, \text{проф.}}$ - длительность j -той профилактики.

m - число профилактических остановок.

$T_{подг.}$ - время технологической подготовки.

γ - число запусков функциональных элементов ускорительного комплекса.

t_{oxy} - длительность технологической операции при γ запуске ускорительного комплекса.

X - число технологических операций за разовый запуск установки.

t_{oxy} - средняя длительность операции настройки.

Z - число операций при настройке эксперимента.

δ - число запусков или настроек для одной экспозиции.

N - число экспериментов.

t_n - время поиска ошибки при настройке.

S - среднее число ошибок.

K - количество ошибок.

e - e -тый интервал времени поиска.

M_j - число элементов управления.

h - число неисправностей.

t_{θ} - время θ -ого восстановления.

ξ - время поиска неисправности.

t_{ϕ} - время для замены эксперимента.

W - число замен.

$\omega_{1,2}$ - коэффициенты одновременности.

ω - вероятность события.

ПРИМЕР

РАСЧЕТА $K_{уск}$ ПРИ ТРЕХНЕДЕЛЬНОМ ЦИКЛЕ КРУГЛОСУТОЧНОЙ РАБОТЫ И ЧИСЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА УСКОРИТЕЛЕ $N=3$ - СМ. ТАБ.

$\sum t_{pi}$	Π	$t_{j, \text{проф.}}$	m	$T_{подг.}$	γ	X	t_{oxy}	ω_1	t_{oxy}	Z	δ	t_n	M_j	ω	h	t_{θ}	ξ	t_{ϕ}	W	S		
504ч	1	48ч	1	24ч	1	200	0,18ч	0,25	0,016ч	200	1	0,016ч	100	0,1	20	0,5ч	0,16ч	0	0	10		

$$K_{уск} = \frac{504}{504 + 48 + 24 + 8 + 3,2 + 1,6 + 1,6} = 0,838$$

Рис. 2

Блок-схема вычислительного комплекса с микрофазостроном ЛВЗ ОУРУ

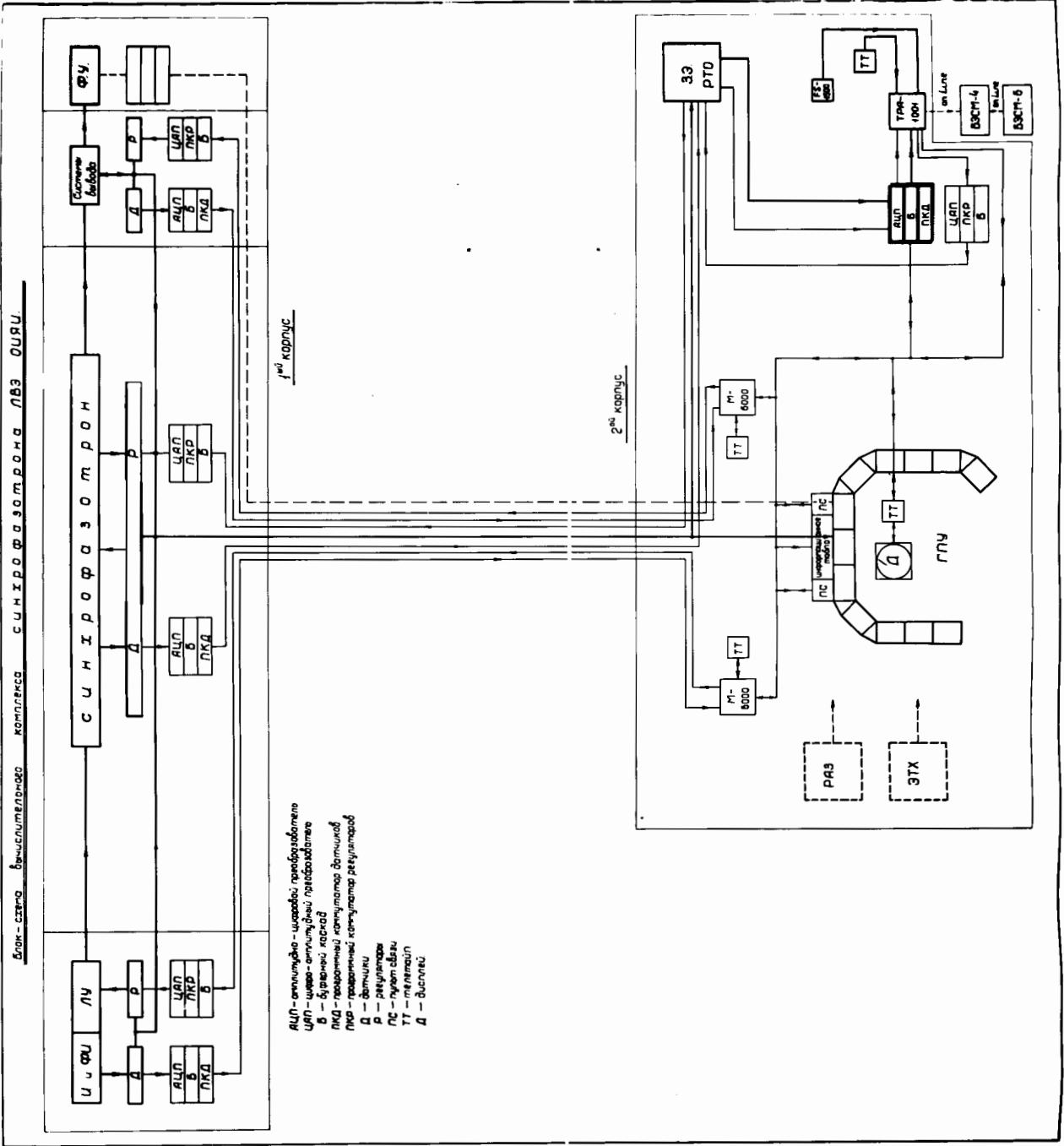
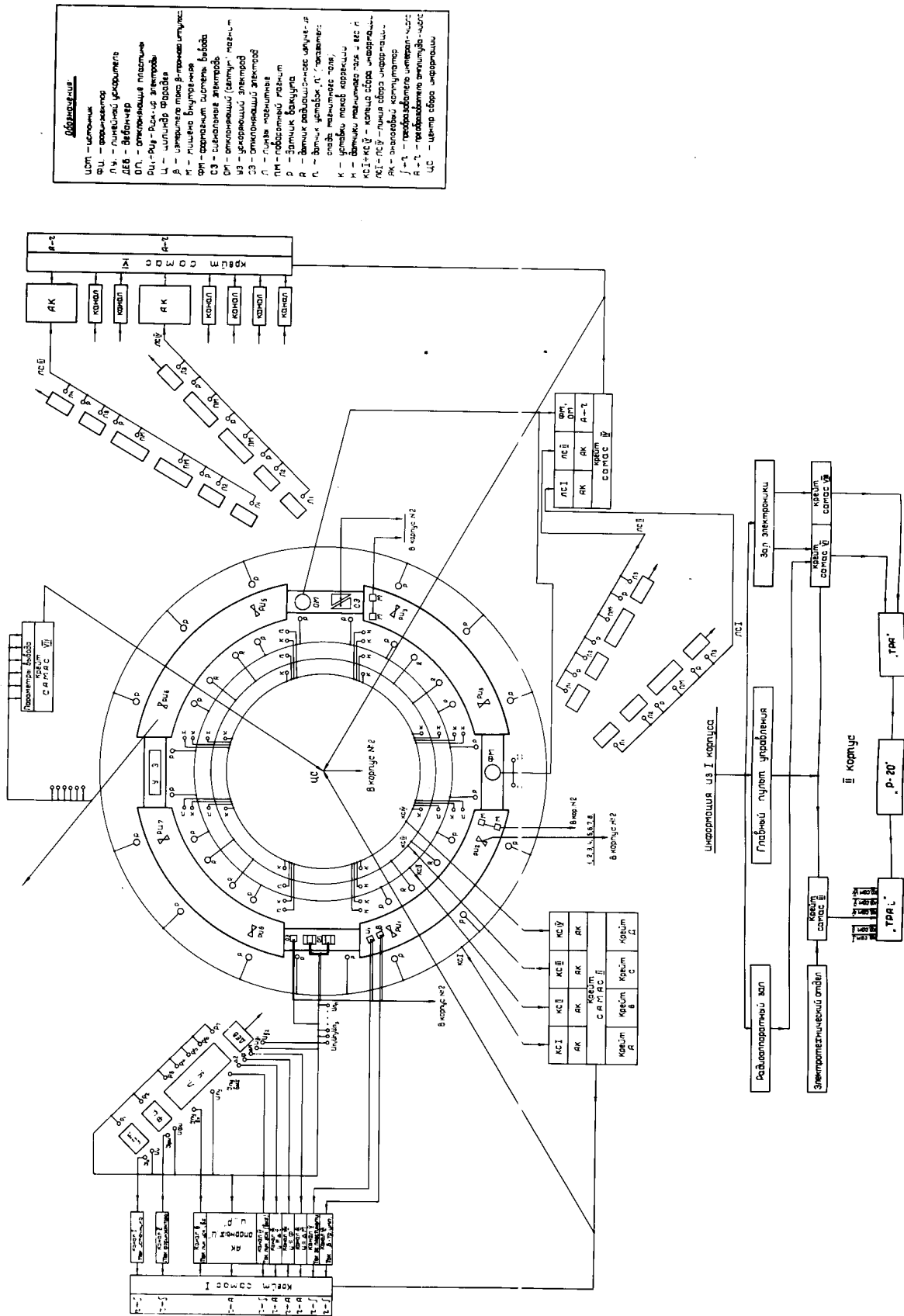


Рис. 3

Датчиковое поле синхрофазотрона



Обозначения

ЦС	— центральный узел
УП	— управление
Л	— ленточный усилитель
ДСВ	— датчик скорости
ДП	— датчик положения
Ц	— центральный узел
А	— амплитудный детектор
Б	— амплитудный детектор
В	— амплитудный детектор
Г	— амплитудный детектор
Д	— амплитудный детектор
Е	— амплитудный детектор
Ж	— амплитудный детектор
З	— амплитудный детектор
И	— амплитудный детектор
К	— амплитудный детектор
Л	— амплитудный детектор
М	— амплитудный детектор
Н	— амплитудный детектор
О	— амплитудный детектор
П	— амплитудный детектор
Р	— амплитудный детектор
С	— амплитудный детектор
Т	— амплитудный детектор
У	— амплитудный детектор
Ф	— амплитудный детектор
Х	— амплитудный детектор
Ц	— амплитудный детектор
Ч	— амплитудный детектор
Ш	— амплитудный детектор
Щ	— амплитудный детектор
Ъ	— амплитудный детектор
Ы	— амплитудный детектор
Ь	— амплитудный детектор
Э	— амплитудный детектор
Ю	— амплитудный детектор
Я	— амплитудный детектор
ЦС	— центральный узел

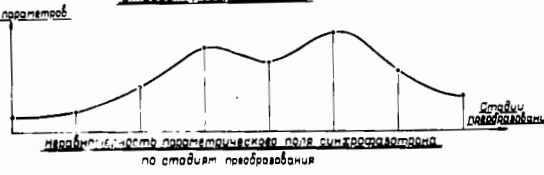
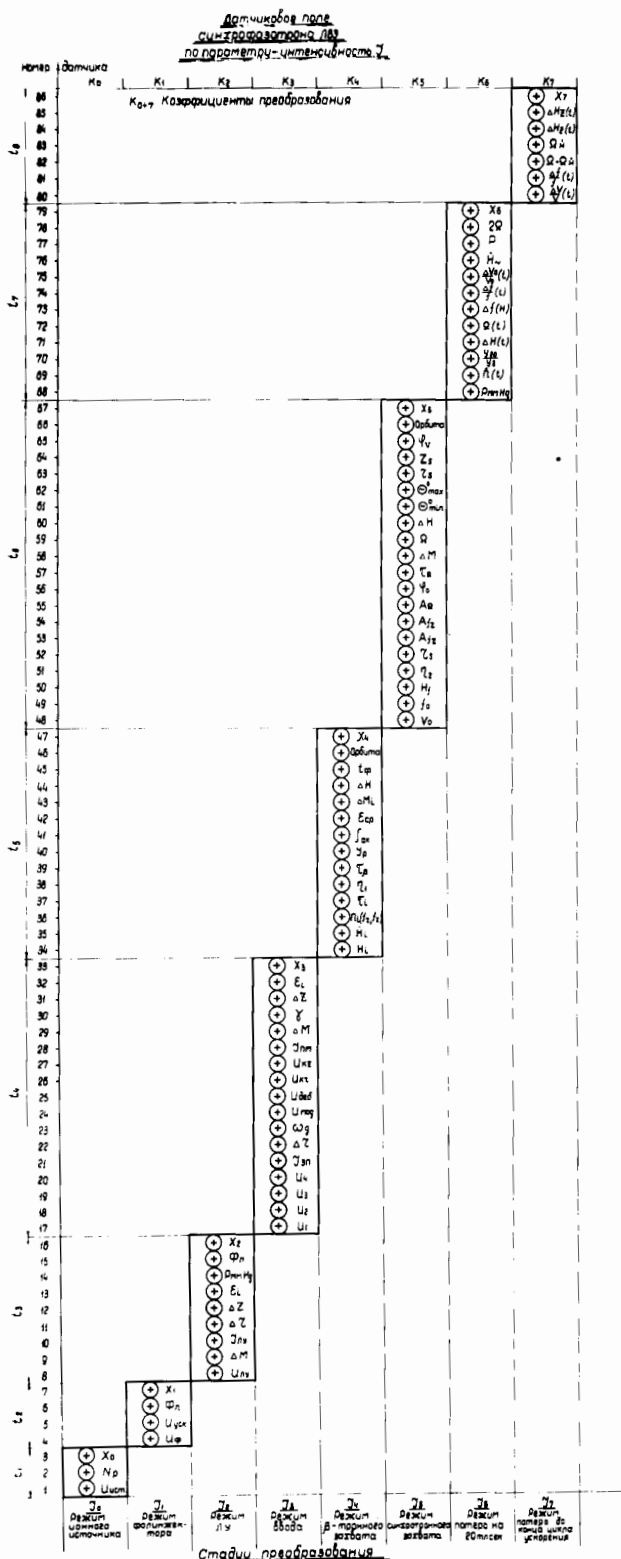


Рис. 5.

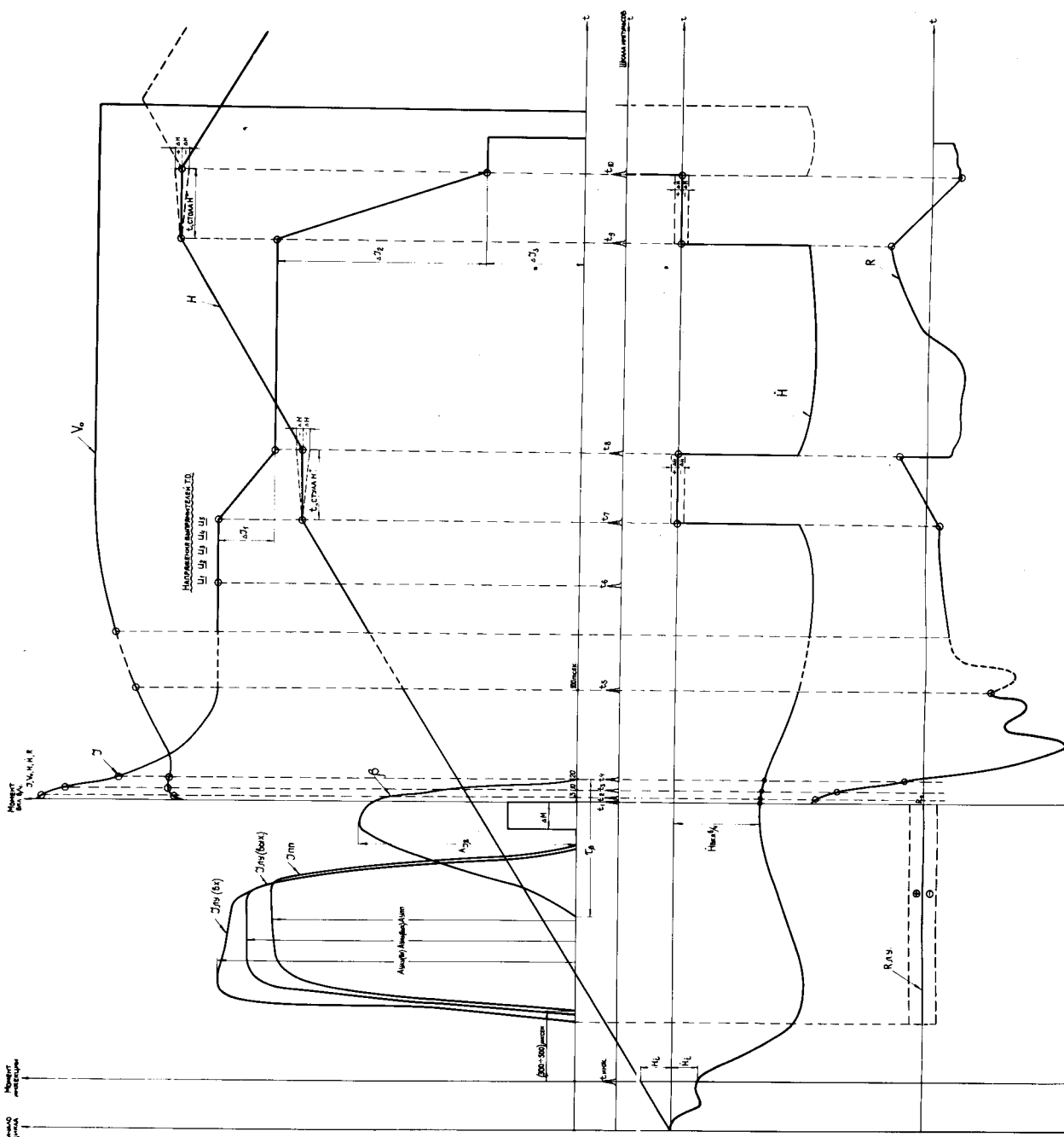


Рис. 7.