

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

3491 / 2-80

28/7-80

10-80-245

В.И.Волков, Л.Г.Ефимов, И.И.Куликов

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ  
СИСТЕМЫ МЕДЛЕННОГО ВЫВОДА ПУЧКА  
ИЗ СИНХРОФАЗОТРОНА  
НА ЛИНИИ С ЭВМ ЕС-1010

1980

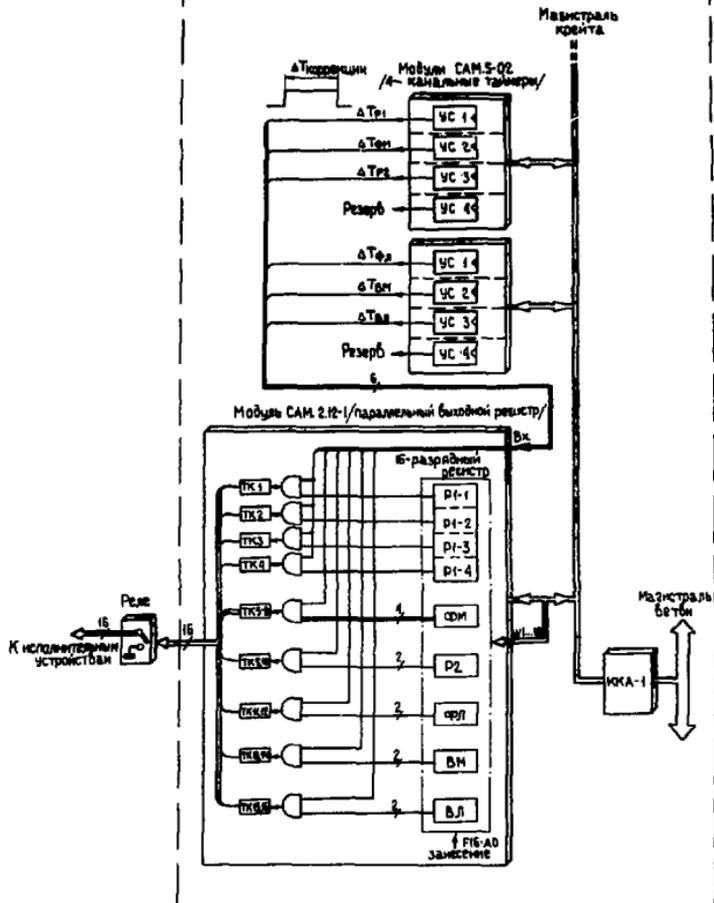
Условия физических экспериментов, проводимых на канале медленного вывода /МВ/ пучка из синхрофазотрона <sup>/1/</sup>, предъявляют жесткие требования к параметрам выводимого пучка. К числу таких требований относятся равномерность растяжки пучка во время вывода, стабильность положения пучка на внешней мишени /погрешность положения не более  $1 \div 2$  мм/ при, как правило, минимально возможных его размерах  $/2\sigma_x = 2\sigma_y = 10 \div 15$  мм/. Одной из основных функций автоматизированной системы контроля и управления <sup>/2/</sup> параметрами медленного вывода пучка на базе ЭВМ ЕС-1010 и ВТ-1010Б является обеспечение оптимальных режимов МВ. В настоящей работе рассматривается часть системы, реализующая стабилизацию характеристик выводимого пучка путем межцикловых коррекций токов основных элементов МВ\*: резонансной обмотки секступольного возмущения Р2, септум-магнита ФМ и линзы ФЛ внутренней транспортировки пучка, выводных магнита ВМ и линзы ВЛ /предусмотрена также возможность управления током градиентной полюсной обмотки Р1, однако в настоящее время наиболее распространенным является режим стабилизации растяжки пучка с помощью аналоговой обратной связи <sup>/3/</sup>/. Сущность такого метода коррекций состоит в управляющем воздействии во время пауз между циклами работы ускорителя на источники опорных напряжений агрегатов питания перечисленных выше устройств при обнаружении отклонений режима МВ от заданного с целью сведения возникших отклонений к минимуму.

Возможны два режима управления. В первом производится стабилизация требуемых значений токов элементов МВ. В качестве исходной информации используются результаты измерений токов и временных характеристик работы устройств медленного вывода <sup>/5/</sup>, а также номинальные значения управляемых параметров и допустимые пределы их изменения. Однако такой тип управления не всегда может обеспечить заданную стабильность параметров пучка, поскольку последние определяются не только характеристиками работы элементов МВ. Во втором режиме основной исходной информацией при проведении коррекций являются параметры пучка, а упомянутые выше данные используются в качестве дополнительных. ЭВМ входит в режим коррекций каждый раз, когда обнару-

---

\* Подробно о функциональном назначении элементов МВ и их технических характеристиках см., например, в <sup>/4/</sup>.

# КАМАК

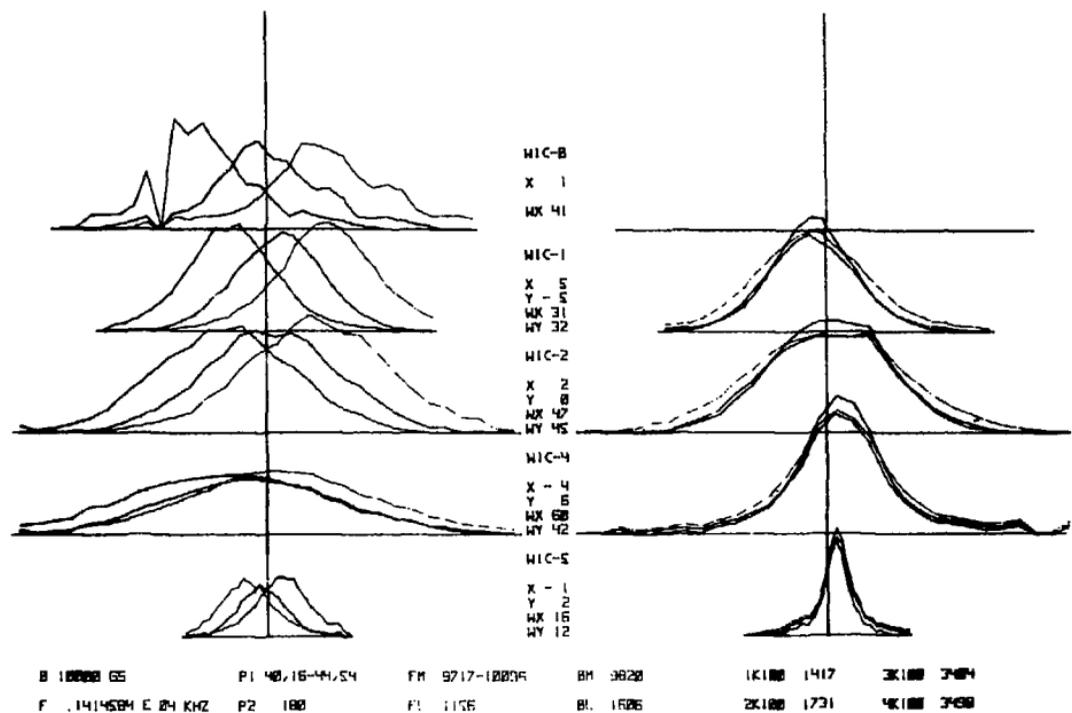


**Рис. 1.** Блок-схема управляющей аппаратуры КАМАК.

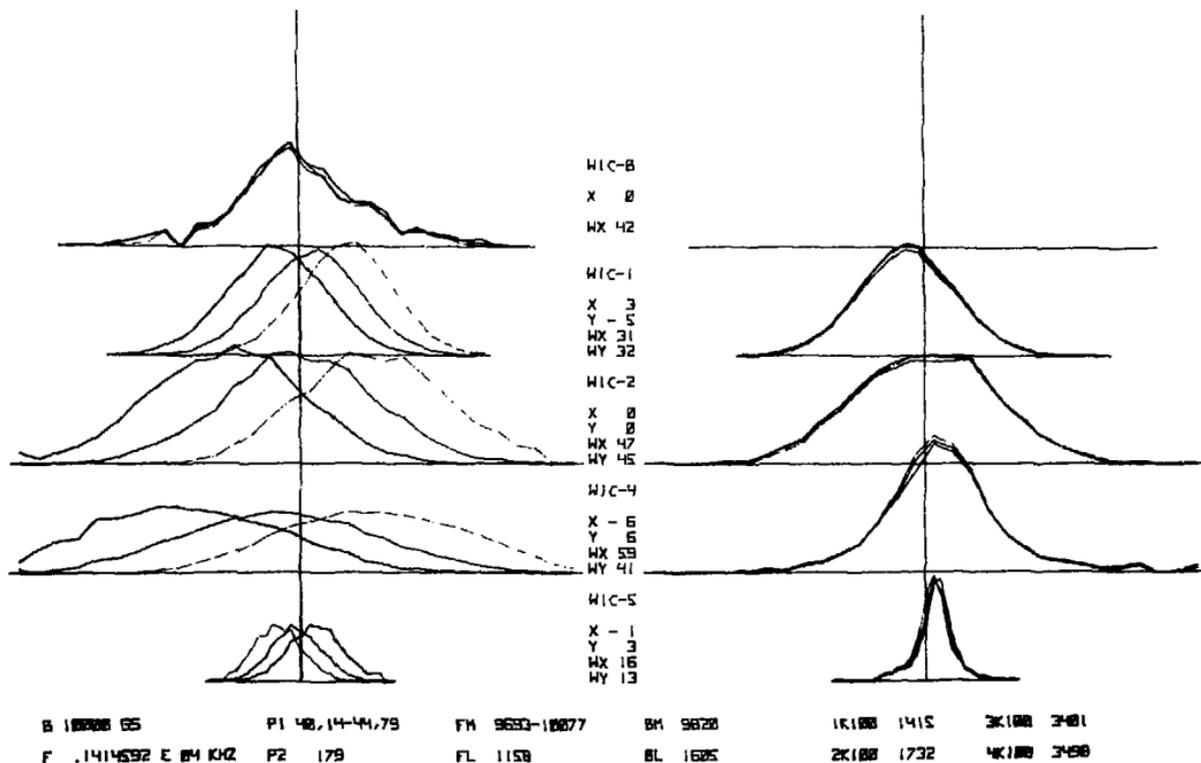
живает отклонения параметров пучка, превышающие допустимые пределы. Управляющие воздействия в виде сигналов реле с длительностью, пропорциональной требуемым величинам изменения токов, передаются на исполнительные устройства по 16 линиям. Каждый из элементов МВ с постоянным во время вывода пучка значением тока /P2, ФЛ, ВМ, ВЛ/ управляется по двум линиям - "уменьшение тока" и "увеличение тока". P1 и ФМ, в которых токи изменяются в процессе вывода, имеют по четыре линии управления: "уменьшение/увеличение начального уровня тока", "уменьшение/увеличение конечного уровня тока". Блок-схема управляющей аппаратуры КАМАК приведена на рис.1. Временные

интервалы, определяющие длительность замкнутого состояния контактов реле, генерируются двумя 4-канальными цифро-временными преобразователями /ЦВП САМ.5.02, ЦИФИ, ВНР/. Для каждого из управляемых элементов МВ выделено по одному каналу преобразователя. Каждый канал представляет собой 24-разрядный программируемый установочный счетчик /УС/. Минимальная длительность временного интервала выбрана равной 1 мс. Максимальная длительность определяется промежутком времени /5 с/, начиная с запуска ЦВП до момента начала следующего цикла ускорителя, по наступлении которого производится сброс аппаратуры. Выход на нужные линии управления осуществляется программами коррекций с помощью модуля параллельного выходного регистра /САМ.2.12-1, ЦИФИ, ВНР/. Привод реле выбранных линий производится выходными транзисторными ключами /ТК/ модуля.

В качестве примера решения задач управления рассмотрим стабилизацию положения пучка в канале МВ. В настоящее время через ЭВМ замыкаются две цепи обратных связей по положению пучка: одна обеспечивает требуемые пространственные характеристики пучка на участке внутренней транспортировки /ФМ-ВМ/, вторая - на трассе выводной магнит - вход первого дублета линз внешней транспортировки. Положение пучка на входе ВМ определяется как величинами магнитных полей в ФМ и ФЛ, так и пространственно-угловыми характеристиками пучка на входе ВМ, зависящими <sup>7/8/</sup> от радиального положения циркулирующего пучка, величины секступольного возмущения, в некоторых случаях - от интенсивности ускоренного пучка. Положение пучка на входе в первый дублет линз при его фиксированном положении на входе ВМ задается величиной магнитного поля в выводном магните. Параметры выведенного пучка измеряются с помощью проволочных ионизационных камер <sup>7,8/</sup>. На рис.2,3, представляющих информацию о режимах работы МВ, выведенную с помощью графопостроителя, иллюстрируется влияние отклонений пучка от оси канала в двух указанных местах на дальнейшее прохождение пучка. В левой части рис.2 показаны изображения горизонтальных профилей пучка в пяти точках трассы вывода /сверху вниз: на входе ВМ; на выходе пучка из ускорителя в месте расположения первой внешней мишени; перед первым дублетом линз внешней транспортировки; перед вторым дублетом линз; в месте расположения основной мишенной станции/ для трех случаев. Первый отвечает оптимальным условиям прохождения пучка по каналу; второй и третий соответствуют горизонтальным отклонениям пучка в месте входа в ВМ на  $\pm 20$  мм при неизменном режиме работы выводной системы и внешних линз. В правой части рисунка изображены вертикальные профили пучка при тех же условиях. Из рассмотрения представленной информации видно, что данные смещения на входе ВМ приводят к отклонениям центра тяжести пучка от центра мишени на



**Рис.2.** Эффект отклонений пучка от номинального положения на входе выводного магнита.

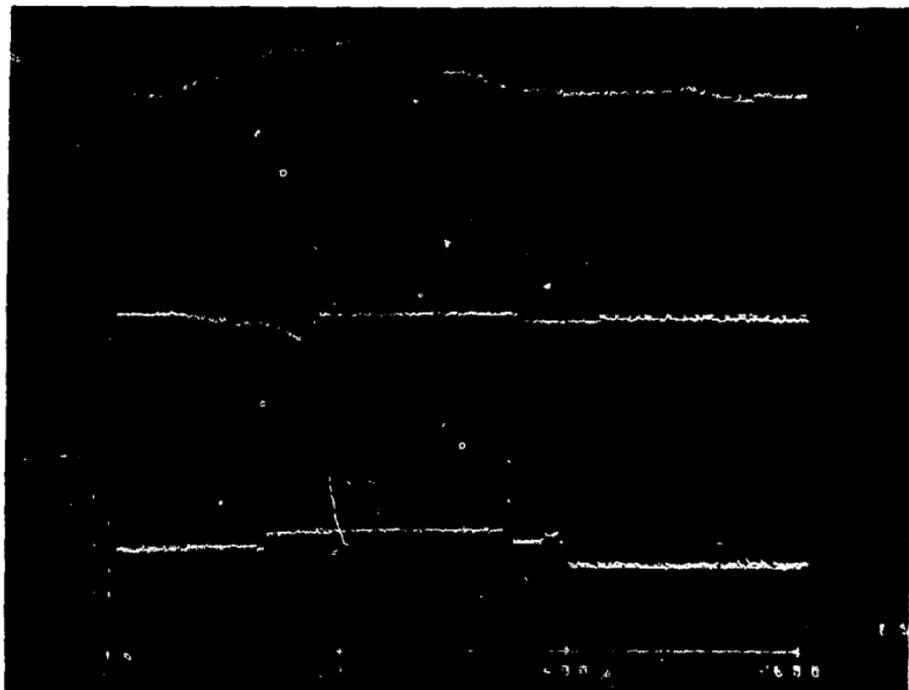


**Рис.3.** Эффект отклонений пучка от номинального положения на входе в первый дублет линз внешней транспортировки.

величину  $\pm 8$  мм. Это соответствует возрастанию эффективного /за время проведения эксперимента/ горизонтального размера пучка для приведенного режима МВ в  $\sim 2$  раза. Другим крайне нежелательным результатом смещения пучка в канале является касание пучка стенок ионопровода, что вызывает снижение эффективности вывода и увеличение фона в местах расположения экспериментального оборудования. На рис.3 отражен эффект горизонтальных отклонений пучка на  $\pm 20$  мм в точке входа в первый дублет внешних линз при его оптимальном положении на входе ВМ.

С точки зрения применимости метода межцикловых коррекций для стабилизации положения пучка, важным является вопрос о характере изменения его пространственных параметров от цикла к циклу ускорения. Например, при случайном характере отклонений центра тяжести пучка от номинального положения и задании пределов допустимых отклонений меньшими, чем фактические, работа управляющих программ не только не даст положительного эффекта, но и может вызвать раскачку колебаний положения пучка. Для изучения этого вопроса, а также определения степени влияния различных параметров элементов МВ и ускорителя на характеристики выведенного пучка создан ряд программ набора статистики с выводом информации на графический дисплей и графопостроитель /см., например, /5/. На рис.4, представляющем результаты работы одной из таких программ /снимок с экрана графического дисплея/, в виде точек показаны последовательные положения пучка на входе ВМ в 1800 следующих друг за другом циклах работы ускорителя / $\sim 5$  часов работы синхрофазотрона/ при отключенной обратной связи через ЗВМ по положению пучка. Как видно из рисунка, тип возмущающих воздействий на рассматриваемом отрезке времени работы системы МВ таков, что под их влиянием происходит или медленное изменение положения пучка на протяжении нескольких сотен циклов ускорителя /верхняя левая часть рисунка/, или быстрое - за несколько циклов - отклонение пучка с долговременным пребыванием в новом положении /нижняя часть рисунка/. Разброс отклонений в рядом находящихся циклах в основном не превышает 2 мм. При таком характере отклонений, являющемся типичным для большинства режимов работы ускорителя, возможна стабилизация положения пучка путем межциклового управления током ФМ с погрешностью 2-3 мм.

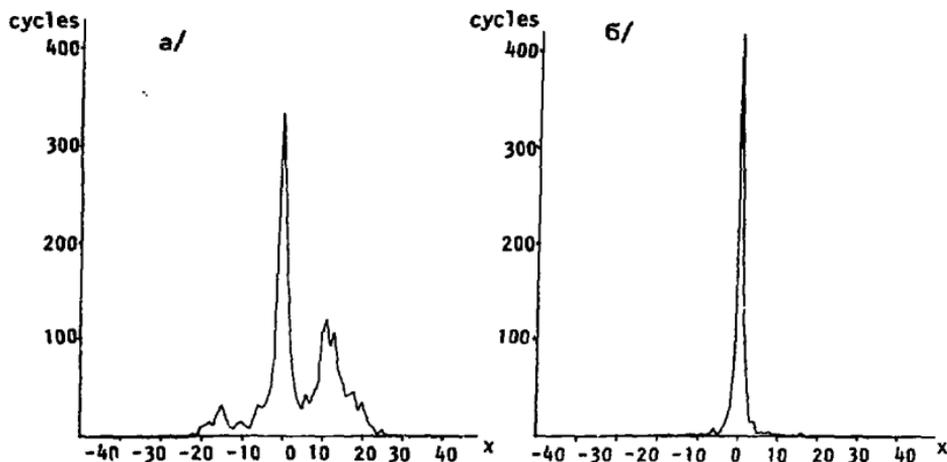
Блок-схема подпрограммы управления током ФМ (FMCOR) приведена на рис.5. FMCOR вызывается в каждом цикле ускорителя программой - диспетчером. При наличии команды "Управление током ФМ по положению пучка на входе ВМ" /индикатор CFMX=1 /, подаваемой оператором с кнопочной панели пульта управления медленным выводом /ПУМВ/, подпрограммой проверяется ряд условий, необходимых для осуществления режима коррекций. Такими условиями являются: связь регистрирующей электроники иониза-



**Рис. 4.** Информация о положении пучка на входе выводного магнита в 1800 циклах ускорителя.

ционной камеры, расположенной на входе ВМ (WIC-B), с ЭВМ; работа программ контроля положения пучка на входе ВМ и тока ФМ. При невыполнении одного из перечисленных условий FMCOR выдает на ПУМВ диагностическое сообщение и прекращает работу до следующего цикла ускорителя. При выполнении всех условий управляющая подпрограмма ждет окончания работы программы измерения временных характеристик элементов МВ ( $IT02^{/5}$ ). Признаком готовности результатов временных измерений служит состояние "1" статусного индикатора  $IT02$  (IND  $IT02$ ). В случаях оптимальной синхронизации импульсов токов ФМ и ФЛ с плато главного магнитного поля и нормальной работы пневмопривода этих устройств /значения индикаторов TFM, TFL и TFS равны единице/ в FMCOR исследуются величины токов ФМ и ФЛ. Если величина тока ФЛ (IFL) находится в зоне допуска, а уровень тока ФМ не выходит из диапазона, в котором возможно его дистанционное регулирование /IMIN1 и IMAX1 - границы диапазона/, подпрограмма производит анализ положения пучка на входе





**Рис.6.** Распределение циклов вывода по положению пучка на входе выводного магнита: а/ без обратной связи; б/ с обратной связью.

пучка на входе ВМ в начале и конце вывода;  $X_{B0}$  - номинальное положение пучка;  $\Delta I_{FM1}$ ,  $\Delta I_{FM2}$  - рассчитанные подпрограммой поправки начального и конечного уровней тока ФМ;  $KX_{FM1}$  и  $KX_{FM2}$  - экспериментально подбираемые коэффициенты пропорциональности. В отсутствие информации о пространственных характеристиках пучка /интенсивность выводимого пучка меньше  $10^6$  частиц/цикл/ подпрограмма работает в режиме стабилизации величины тока ФМ, определенной при достаточной для диагностики пучка интенсивности. Алгоритм этой части FMCOR приведен на правой половине рис.5. Аналогичным образом работают программы коррекций остальных элементов МВ. Рис.6а,б, на которых показаны распределения циклов ускорения по положению пучка на входе ВМ, выведенные программой статистического анализа результатов измерений пространственных характеристик пучка на графопостроитель, иллюстрируют эффект действия обратной связи. Для приведенного на первом из рассматриваемых рисунков случая /2270 циклов ускорителя, обратная связь отключена/ в область отклонений пучка на  $+3$  мм от номинального положения /отметка "0" на оси X/ попадают 44% циклов ускорения. Для второго распределения /870 циклов ускорителя, обратная связь включена/, характер которого не изменяется и при более длительном периоде наблюдений, в указанной области сосредоточено более 90% циклов.

Ввод в эксплуатацию на синхрофазотроне описанных аппаратных и программных средств управления позволил существенно повысить стабильность параметров выведенного пучка.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.Н.Булдаковскому, И.Б.Иссинскому, С.А.Новикову за поддержку и содействие данной работе, коллективу сектора источников стабильного тока ЛВЭ за помощь при совместной наладке режимов управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Issinsky I.B. et al. Particle Accelerators, 1973, 5, p.215-226.
2. Chernykh E.V. et al. IEEE Trans. on Nucl.Science., 1977, vol. NS-24, No.6, p.2561.
3. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, 9-12723, Дубна, 1979.
4. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, Р9-6973, Дубна, 1973.
5. Булдаковский В.Н. и др. ОИЯИ, 9-12149, Дубна, 1979.
6. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, Р9-6972, Дубна, 1973.
7. Волков В.И. и др. ОИЯИ, 9-10104, Дубна, 1976.
8. Волков В.И., Куликов И.И. ОИЯИ, 10-12498, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 апреля 1980 года.