

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

9-86-473

В.Г.Глущенко, А.З.Дорошенко, В.П.Заболотин,
Л.П.Зиновьев, А.С.Исаев, И.Б.Иссинский,
И.И.Карпов, Н.А.Коруков, И.А.Курсков, Л.Г.Макаров,
В.А.Мончинский, В.Н.Перфеев, Ю.И.Романов,
Ш.З.Сайфулин, И.Н.Семенюшкин, В.Ф.Сиколенко,
А.А.Смирнов, С.В.Федуков, Д.И.Шерстянов

СИНХРОФАЗОТРОН ОИЯИ

Работа и совершенствование

(IV квартал 1985 г.)

1986

1. РАБОТА УСКОРИТЕЛЯ И НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

В IV квартале 1985 г. синхрофазотрон работал 1616 ч. Из них на физический эксперимент использовано 1154 ч /71,4%/, на совершенствование ускорителя - 337 ч /20,8%/. На технологическую подготовку затрачено 65 ч /4,0%/, в том числе на строительные работы внутри помещения ускорителя 44 ч /2,7%/. Потери времени по причине простоя оборудования составили 60 ч /3,7%/. Ускорялись протоны и ядра углерода, кислорода, фтора, магния и кремния.

В табл.1 представлена информация о виде ускоряемых ядер, величине их максимальной и рабочей интенсивности в одном импульсе и длительности работы ускорителя в соответствующем режиме в часах.

Таблица 1

Вид ядер	N_{\max}	$N_{\text{раб.}}$	T, ч
p	-	стаб.	596
$^{12}\text{C}^{6+}$	$4,0 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8$	608
$^{16}\text{O}^{8+}$	$6,0 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	260
$^{18}\text{F}^{9+}$		$2,0 \cdot 10^5$	70
$^{24}\text{Mg}^{12+}$		$4,5 \cdot 10^4$	35
$^{28}\text{Si}^{14+}$		$3,0 \cdot 10^4$	47

$N_{\text{ст.}}$ - интенсивность стабилизирована на уровне, определяемом санитарным паспортом или требованиями эксперимента.

Коэффициент использования ускорителя в физических исследованиях $K = 2,49$.

Аналогичные показатели и на протяжении 1985 г. Ускоритель работал 4003 ч. На физический эксперимент использовано 3031 ч /75,7%/, на совершенствование систем ускорителя - 649 ч /16,2%/. На технологическую подготовку затрачено 154 ч /3,85%/. Потери времени по причине простоя систем составили 169 ч /4,2%/. Соот-

ответственно в табл.2 представлена интенсивность ускоряемых ядер в длительность работы в 1985 г.

Таблица 2

Вид ядер	N_{\max}	$N_{\text{раб.}}$	T, ч
p		$N_{\text{ст.}}$	1325
d		$N_{\text{ст.}}$	833
$d_{\text{пол}}$	$4,0 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^8$	611
α	$1,5 \cdot 10^{10}$		214
c	$4,0 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8$	608
O	$6,0 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	260
F		$2,0 \cdot 10^5$	70
Mg		$4,5 \cdot 10^4$	35
Si		$3,0 \cdot 10^4$	47

Коэффициент использования ускорителя в физических исследованиях $K = 2,33$.

В течение последнего квартала 1985 г. продолжались исследования корреляционных эффектов в кумулятивном рождении частиц. Выполнен набор статистики по рождению K^{\pm} -мезонов на легких ядрах. Проведены эксперименты по изучению пион-ядерных взаимодействий при энергии до 1000 МэВ. Измерены при разных энергиях протонов выходы фрагментов с $z = 1 \div 15$ из мишени - золото.

На пучках углерода, фтора проведены исследования по динамике ядро-ядерных взаимодействий. На 2 м пропановой и 1 м жидководородной пузырьковых камерах продолжался набор фотографий на пучках углерода и кислорода. Проведено облучение фотоэмульсий и кристаллических детекторов в пучке кремния. Выполнены запланированные эксперименты по прикладным исследованиям.

2. СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МИШЕНИ ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА

В 1983 г. на синхрофазотроне ОИЯИ начал работу лазерный источник многозарядных ионов^{1/}. В связи с "кратерным" эффектом^{2/}

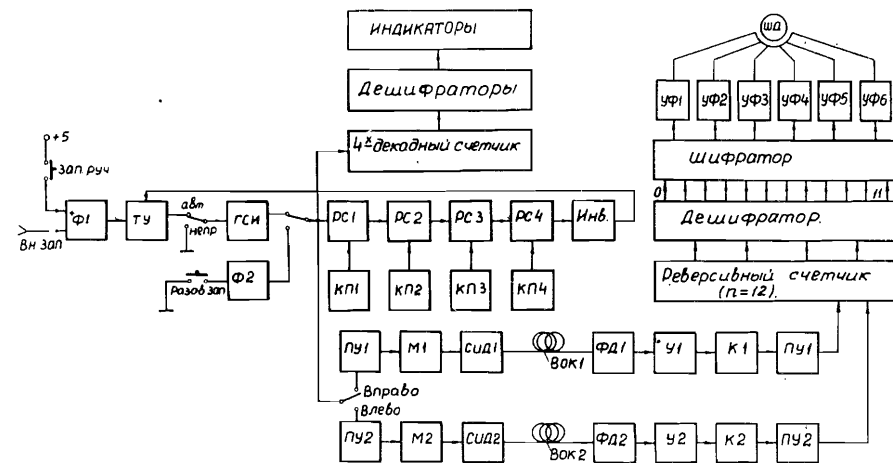


Рис.1. Блок-схема системы управления шаговым двигателем.

мишень с рабочим веществом необходимо периодически перемещать /вращать/ на определенную величину так, чтобы луч лазера взаимодействовал с неразрушенными участками мишени. В качестве исполнительного элемента для привода мишени был использован шаговый двигатель^{3/}. Преимущества его применения очевидны, сам принцип работы шагового двигателя обеспечивает точность перемещения, возможность цифрового управления и связи с ЭВМ и др. Из многочисленных вариантов построения системы управления шаговым двигателем, который должен быть размещен на высоковольтном участке форинжектора /ФИ/ под потенциалом несколько сотен киловольт, был выбран один с использованием волоконно-оптической линии связи с минимальным числом каналов /ВОЛС/^{4,5/}. На рис.1 представлена блок-схема системы управления. Под потенциалом земли, на пульте управления системы, размещается управляемый генератор со счетчиком и индикацией. Двумя кабелями он связан с передатчиком ВОЛС, находящимся у основания колонны ФИ. Передатчик, в свою очередь, связан двумя линиями ВОЛС с приемником на потенциальном участке колонны ФИ. Здесь размещен двенадцатитактный коммутатор и силовая часть, подающая питание к шаговому двигателю на мишени станции лазерного источника. В качестве шагового двигателя используется двигатель типа ШД-5Д1 или ШД-5Д1М-УЗ.

Управляемый генератор разработан на основе реверсивных счетчиков /РС/ К155ИЕ6. Кодовые переключатели в цепях информационных входов счетчиков позволяют набирать числа от 0 до 9999, задающие число импульсов или число шагов двигателя. Управляемый генератор работает следующим образом. На кодовых переключателях набирается требуемое число импульсов /шагов/. По приходу запускающего импульса /вн.запуск/ происходит запись в счетчики установ-

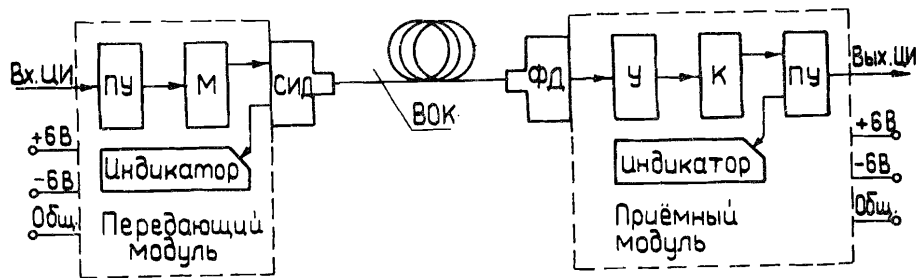


Рис. 2. Блок-схема волоконно-оптической линии связи. ПУ - преобразователь уровня; М - модулятор; СИД - светоизлучающий диод; ВОК - волоконно-оптический кабель; ФД - фотодетектор; У - усилитель; К - компаратор.

ленного числа, и триггер управления /ТУ/ переводится в рабочее состояние, запуская при этом генератор счетных импульсов /ГСИ/. Импульсы с ГСИ поступают на вычитающий вход 1-го реверсивного счетчика, выход которого подключен к вычитающему входу 2-го и т.д. После полного считывания записанного числа через инвертор /Инв./ поступает импульс на сброс ТУ, который, сбрасываясь, включает ГСИ. Таким образом формируется цуг импульсов /ЦИ/. Запуск через формирователь /Ф1/ осуществляется от внешнего импульса или вручную. Предусмотрен также разовый запуск через /Ф2/ и непрерывный. Для контроля за числом импульсов используются счетчики с цифровой индикацией. ЦИ подается на передатчик ВОЛС. Высокую надежность работы ВОЛС в сочетании с низкой стоимостью обеспечило применение GaAs-светодиода, р-п-фотоприемника и многомодового волоконно-оптического кабеля /ВОК/ типа "кварц-полимер". На рис. 2 приводится блок-схема ВОЛС. Она работает следующим образом. Сигнал через преобразователь уровней /ПУ/ поступает в модулятор /М/ передающего модуля. В качестве передатчика используется светоизлучающий диод /СИД/, излучение которого модулируется входным сигналом. Модулированный луч света через бинарный оптический разъем вводится в ВОК.

В приемном модуле фотодетектор /ФД/, установленный в розеточной части бинарного оптического разъема, преобразует модулированные сигналы в фототок. Усилитель /У/ преобразует фототок в напряжение, достаточное для срабатывания компаратора /К/. Последний подключен к ПУ, что позволяет на входе приемного модуля воспроизвести информацию в стандарте ТТ.

ЦИ после приемника ВОЛС /рис. 1/ поступает на двенадцатитактный коммутатор. Он состоит из реверсивного счетчика, обеспечивающего счет по модулю "12", матричного дешифратора, преобразующего двоичный код в позиционный /12 из 4/, и шифратора, определяющего алгоритм работы шагового двигателя данного типа. Выходы шифратора подключены к усилителям, нагрузками которых служат фазовые обмотки двигателя.

Эксплуатация описанной системы в течение двух месяцев работы показала высокую ее надежность. Дальнейшее развитие будет происходить по пути осуществления связи системы с ЭВМ СМ-3, установленной на пульте управления инжектором.

3. ПОДАВЛЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ СИНХРОФАЗОТРОНА

Степень модуляции тока пучка при медленном выводе определяется, главным образом, пульсациями в "столе" магнитного поля ускорителя. Питание обмотки электромагнита осуществляется от вентильного преобразователя за счет введения угла регулирования в режиме площадок $\beta = 80-87$ град.эл. При этом в выпрямленном напряжении преобразователей наблюдаются переменные составляющие как с частотой, кратной основной частоте преобразования - 600 Гц, так и с более низкими, кратными 50 Гц. Для получения качественных временных характеристик выведенного пучка, особенно в режиме медленного вывода, к амплитудам пульсаций магнитного поля предъявляются жесткие требования. Так, для паразитных пульсаций 50 Гц в выведенном пучке при включенном ускоряющем напряжении /при этом снимается банчировка/ модуляция тока пучка достигает 20% при амплитуде пульсаций магнитного поля $\Delta V_{II}/V_0 = 1,0 \cdot 10^{-6}$. В существующей системе питания уровень пульсаций магнитного поля существенно превышает указанную выше величину. Решение этой задачи традиционным способом, например с использованием LC-фильтров, малоэффективно и требует значительных капитальных затрат, ввиду больших токов /до 12 кА/ и высокого напряжения /до 10 кВ/.

Одним из возможных способов уменьшения низкочастотных пульсаций является усовершенствование системы фазового управления преобразователем: применение так называемой системы асинхронного управления /6/. В основе ее заложено использование нового принципа формирования импульсов управления преобразователем. Здесь частота следования импульсов является функцией разности между действительным и заданным значением напряжения преобразователя, т.е. сигнала ошибки. Такая система свободна от главного недостатка синхронной системы управления, а именно, зависимости фазы управляющих импульсов от различных факторов /фазных напряжений, разбросов моментов поджигания вентиля и т.п./. Новая система представляет собой автоматическую следящую систему с обратной связью по напряжению преобразователя. Особенностью обратной связи является то, что она осуществляется не по среднему уровню, а по мгновенным значениям напряжения основной частоты преобразования /600 Гц/. Блок-схема представлена на рис. 3. На схему сравнения /К/ подается напряжение $U_{упр}$ и обратной связи с делителя /Д/, непосредственно подключенного к выходу преобразователя. В момент сравнения $U_{упр}$ и мгновенного значения напряжения гармоники 600 Гц /рис. 4/ компаратор генерирует асинхронные импульсы.

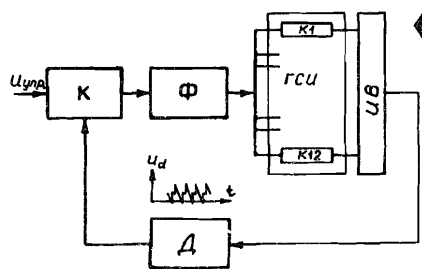


Рис.3. Блок-схема асинхронной системы. К - схема сравнения; Д - делитель; Ф - усилитель-формирователь; ГСИ - синхронный генератор импульсов; ИВ - выпрямитель-преобразователь.

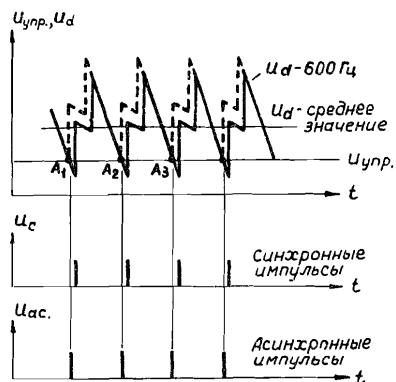


Рис.4. Принцип использования асинхронных импульсов для уменьшения низкочастотных составляющих пульсаций выпрямителя.

Эти импульсы через усилитель-формирователь /Ф/ подаются на все 12 каналов синхронного генератора /ГСИ/. Такое непосредственное подключение асинхронных импульсов к 12-канальному генератору без промежуточных распределительных и синхронизирующих устройств является отличительной особенностью асинхронной системы, применяемой в системе питания электромагнита синхрофазотрона ОИЯИ, и защищено авторским свидетельством/7/. Асинхронные импульсы, поступившие на все каналы, автоматически синхронизируются каждый со "своим" каналом. При этом генерируются асинхронные выходные импульсы, опережающие синхронные. Воздействуя на силовые вентили преобразователя /ИВ/, импульсы открывают их на одинаковом заданном уровне мгновенных значений напряжения частоты преобразования 600 Гц. Это существенно уменьшает низкочастотные составляющие - 25 и 50 Гц в выходном напряжении.

Таким образом, при помощи относительно простых и недорогих устройств удастся снизить низкочастотные пульсации ~ в 5 раз. Это не только улучшает параметры магнитного поля на "столе", но и позволяет применить активный фильтр для подавления низкочастотных гармоник до требуемого уровня.

Активный фильтр /АФ/ предназначен для уменьшения низкочастотных составляющих пульсаций при "остановленном" магнитном поле. Он состоит из источника тока для компенсации пульсаций в поле электромагнита. Очевидно, что в случае применения одного АФ значительное подавление пульсаций может быть достигнуто при использовании соответствующего по мощности источника питания, что, разумеется, не может быть признано целесообразным. Именно

по этой причине имеет смысл использовать АФ в работе совместно с асинхронной схемой подавления пульсаций, что и было сделано.

АФ представляет собой четыре автономных двухтактных силовых транзисторных регулятора, по числу квадрантов электромагнита, с общим управлением. Работая в классе А, каждый из них компенсирует переменную составляющую пульсаций в соответствующем квадранте. Вход каждого регулятора запитан от интегрирующей катушки зала электроники. Эти измерительные витки проложены внутри вакуумной камеры квадрантов, охватывают основной магнитный поток полюсных наконечников электромагнита и включены последовательно-согласно. Выход регулятора подключен к компенсационным обмоткам, расположенным в непосредственной близости от обмотки возбуждения квадранта. Каждая компенсационная обмотка разделена на две: последние включены так, что магнитные потоки их направ-

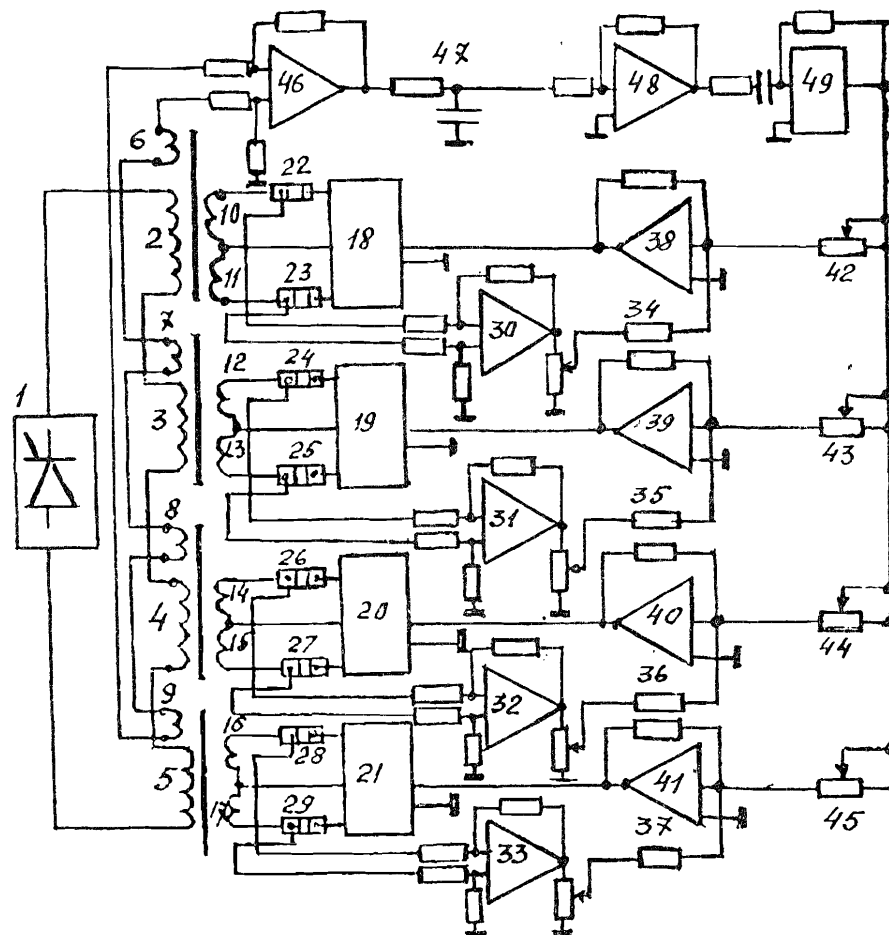
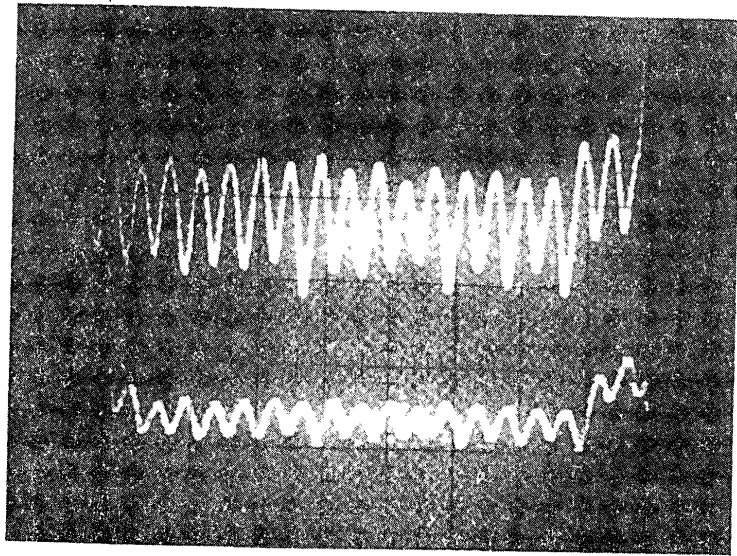
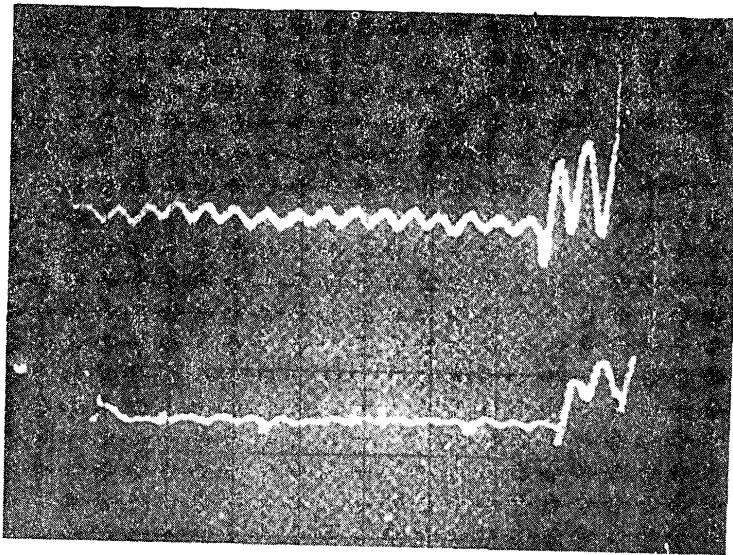


Рис.5. Блок-схема регулятора пульсаций активного фильтра.



а/



б/

Рис.6. Осциллограммы напряжений пульсаций; верхняя кривая - напряжение с интеграторной катушки зала электроники; нижняя - с измерительного витка 1-го квадранта электромагнита. а/ Асинхронная схема включена, активный фильтр отключен. б/ Асинхронная схема включена, активный фильтр включен.

В конце осциллограмм ясно виден момент окончания работы активного фильтра.

лены навстречу друг другу. Благодаря этому постоянные ампервитки полуобмоток вычитаются, а переменные складываются и оказываются направленными навстречу переменным ампервиткам силовой обмотки возбуждения электромагнита. Напряжение пульсаций на витках измерительной обмотки уменьшается в число раз, равное степени подавления пульсаций.

На рис.5 представлена блок-схема устройства. АФ включается в работу тиристорными ключами только на время подавления пульсаций /ключи на схеме не показаны/. Напряжение пульсаций с интегрирующей катушки поступает на вход измерительного усилителя /46/ и через элементы активного фазосдвигающего звена /47, 48/ подается на усилитель напряжения /49/. С этого усилителя напряжение поступает на сумматоры /38÷41/ обратной связи /ОС/: отрицательной по напряжению пульсаций и току компенсации. Отрицательная ОС по току компенсации осуществлена с помощью измерительных усилителей /30÷33/. Их регулируемые выходы через резисторы /34÷37/ подключены к сумматорам /38÷41/, а входы - к шунтам /22÷29/. Для обеспечения устойчивости при параллельной работе двухтактных компенсирующих резисторов /18÷21/ применена глубокая отрицательная ОС по току компенсации.

При работе преобразователя /ИВ/ с асинхронной схемой управления двойной размах напряжения пульсаций в основной обмотке возбуждения электромагнита составляет $56 \div 70$ В.

При совместной работе асинхронной схемы и активного фильтра пульсации уменьшаются до 8-10 В. При выпрямленном токе питания электромагнита $I_d = 9,0$ кА и напряжении $U_d = 900-1000$ В они составляют $\Delta V_{\text{д}}/V_0 = 1,0 \cdot 10^{-6}$.

На рис.6 представлены осциллограммы напряжений пульсаций в токе электромагнита одного из квадрантов. В различных квадрантах величина пульсаций примерно одинакова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безногих Ю.Д. ОИЯИ, Р9-84-246, Дубна, 1984.
2. Бонч-Осмоловский А.Г., Мончинский В.А. ОИЯИ, Р9-84-251, Дубна, 1984.
3. Воеводин М.А. и др. ОИЯИ, Р9-80-595, Дубна, 1980.
4. Романов Ю.И. ОИЯИ, 10-81-295, Дубна, 1981.
5. Романов Ю.И. ОИЯИ, 13-82-279, Дубна, 1982.
6. Cassel K. A low ripple pulsed back power supply IEEE, Trans.Nucl.Sci., June, 1967, p.500.
7. Авторское свидетельство СССР № 75696 от 18.08.80. Бюллетень ОИ № 30, 1980, с.326.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 июля 1986 года.

Глушенко В.Г.

9-86-473

Синхрофазотрон ОИЯИ. Работа и совершенствование
/IV квартал/

Приводятся сведения о работе синхрофазотрона ОИЯИ в IV квартале 1985 г. и в течение всего года. Ускорялись протоны и более тяжелые ядра до кремния включительно.

Физические установки работали на внутреннем и выведенных пучках. Описывается система и работа схем управления дистанционным перемещением мишени лазерного источника ионов. Большое внимание уделено уменьшению пульсаций в магнитном поле синхрофазотрона.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод Л.Н.Барабаш

Glushchenko V.G. et al.

9-86-473

Dubna Synchrophasotron. Operation
and Improvement (Quarter IV, 1985)

Information is presented on the operation of the Dubna synchrophasotron in the IV-th quarter, 1985 and throughout the year. Protons and heavier nuclei up to silicon were accelerated. The physical setups operated on internal and ejected beams. The system and operation of control circuits of remote shift of laser ion source target are described. Much attention is given to decreasing the pulsation level in the magnetic field of the synchrophasotron.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986