

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗЧЧ.1 3455/2-78
А-662

21/VIII - 78
P13 - 11559

А.В.Андросов, П.С.Анцупов, Г.А.Вареник,
В.Н.Крючков, В.Н.Лапшинов, В.В.Нитц,
В.П.Попов, Б.Н.Соловьев, А.А.Яковлев

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД
В ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА ИБР-30

1978

P13 - 11559

А.В.Андросов, П.С.Анцупов, Г.А.Вареник,
В.Н.Крючков, В.Н.Лапшинов, В.В.Нитц,
В.П.Попов, Б.Н.Соловьев, А.А.Яковлев

УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД
В ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА ИБР-30

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Андросов А.В. и др.

P13 - 11559

Установка для исследований конденсированных сред
в импульсном магнитном поле на ИБР-30

Описана установка для нейтроно-дифракционных исследований фазовых переходов, индуцированных импульсным магнитным полем в магнитоупорядоченных веществах, на пучке реактора ИБР-30. Установка позволяет проводить в автоматическом режиме, синхронно с работой импульсного реактора, длительные эксперименты по рассеянию тепловых нейтронов на монокристаллах магнетодиэлектриков, находящихся под действием импульсов магнитного поля с амплитудой 150-200 кЭ, длительностью 1-3 мс, следующих с частотой повторения 1-5 Гц, в диапазоне температур 80-330 К. Анализ спектров детектируемых нейтронов производится с применением метода времени пролета. Подробно рассмотрены основные узлы установки: высоковольтная часть, спектрометр, импульсный магнит и криостат.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Androsov A.V. et al.

P13 - 11559

A Setup for the Investigation of Condensed Matter
in a Pulsed Magnetic Field by Means of the IBR-30
Reactor

A setup for neutron diffraction investigations of phase transitions induced by a pulsed magnetic field in magnetic ordered matter on the IBR-30 reactor beam is described. The setup permits to perform prolonged experiments on the scattering of thermal neutrons on monocrystals of magnetodielectric under action of magnetic field pulses (amplitude 150-200 kOe, duration 1-3 ms, pulse repetition frequency 1-5 Hz, temperature range 80-330 K) in an automatic mode synchronously with the pulse reactor operation. The spectra of neutrons detected are analyzed by the time-of-flight method. The principal units of the setup are considered: a high voltage part, a spectrometer, a pulse magnet, a cryostat.

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

В течение ряда лет на ИБР-30 /в реакторном режиме/ проводятся исследования фазовых переходов, индуцированных в магнитоупорядоченных веществах внешним импульсным магнитным полем^{/1-3/}. При этом используется дифракционное рассеяние тепловых нейтронов на монокристаллических образцах, помещаемых в пучок реактора. Разделение различных дифракционных отражений осуществляется с помощью регистрации времени пролета нейтронами расстояния от реактора до детектора.

В данной работе описана установка для проведения этих исследований.

1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТАНОВКИ

Общая блок-схема, иллюстрирующая работу всей установки, представлена на *рис. 1*.

Монокристаллический образец, находящийся в середине катушки импульсного магнита, размещается в центре нейтронного спектрометра и устанавливается в положение, соответствующее условию брэгговского отражения от какой-либо кристаллографической плоскости. При этом монокристалл облучается "белым" пучком нейтронов от импульсного реактора, а в детектор, помещенный под определенным углом к первичному пучку, естественно, рассеиваются только нейтроны, соответствующие различным порядкам отражения. Импульсы от детектора, после усиления и дискриминации по амплитуде от импульсов фоновых гамма-квантов, поступают в многоканальный временной анализатор. В результате отражение

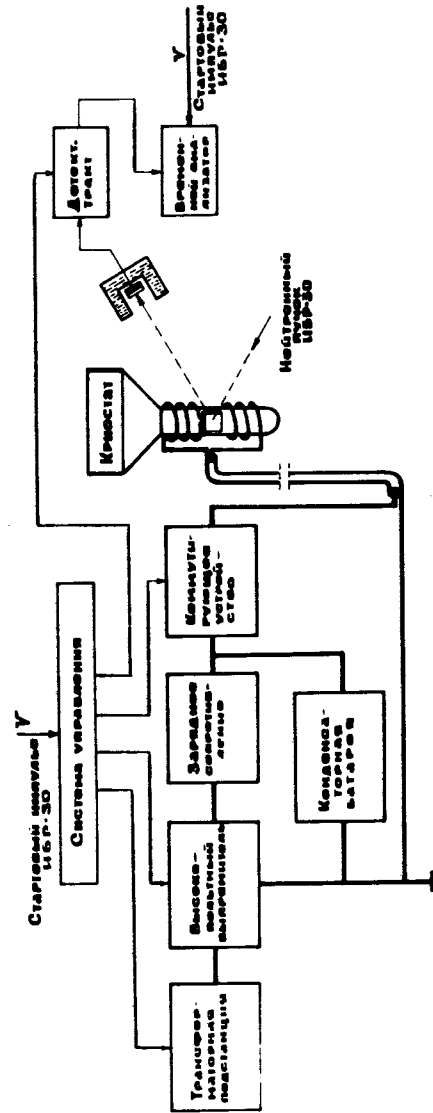


Рис. 1. Общая блок-схема установки.

какого-либо порядка представляется в виде пика на нейтронном спектре^{2/}. Импульсы поля, создаваемого в катушке магнита, синхронизируются со вспышкой реактора, так чтобы действие поля на образец совпадало по времени с рассеянием нейтронов, соответствующих выбранному отражению. При этом, вообще говоря, используются два режима. В первом из них, когда длительность импульса магнитного поля составляет несколько миллисекунд, т.е. существенно превышает ширину дифракционного пика /100÷300 мкс/, определяется изменение под действием поля всей площади пика. Во втором, когда длительность импульса поля и ширина дифракционного пика сравнимы, определяется изменение формы пика.

Магнитное поле на образце создается тем, что в определенный момент с помощью коммутирующих устройств замыкается колебательный контур, состоящий из батареи заряженных конденсаторов и индуктивности импульсного магнита. Вследствие односторонней проводимости коммутаторов получается импульс поля в форме полупериода синусоиды /несколько искаженный затуханием колебательного процесса/. Зарядка конденсаторной батареи производится через ограничивающее ток зарядное сопротивление с помощью высоковольтного выпрямителя, питаемого от отдельной трансформаторной подстанции.

Система управления обеспечивает автоматическую работу высоковольтного выпрямителя при заданном рабочем напряжении на конденсаторной батарее, необходимую циклическую последовательность работы коммутаторов, определенную синхронизацию импульсной магнитной установки /ИМУ-1/ с импульсным реактором, детекторной аппаратурой и временным анализатором, а также контроль рабочих параметров всех частей установки, защиту электрических цепей и сигнализацию о состоянии основных элементов.

Для поддержания образца при определенной температуре в диапазоне от 80 до 330 К используется специально созданный для работы с импульсным магнитом криостат с устройствами для автоматической регулировки и регистрации температуры образца.

2. НЕЙТРОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР

Для измерения рассеяния нейтронов используется нейтронный спектрометр /НС/ типа ВКСН-300^{4/}. НС установлен на пучке ИБР-30 на расстоянии 13 м от активной зоны. Стойка с укрепленными на ней магнитом и криостатом крепится на центральном столе НС. Для регистрации пучка нейтронов, рассеянных на образце под определенным углом /обычно 70°/, используется кассета из борных или гелиевых счетчиков, помещенная в одном из трех "плеч" на расстоянии около 2 м от центра НС. Эффективность детектора около 80%. Для повышения скорости счета удалены щелевые коллиматоры из первичного и вторичного пучков; горизонтальная расходимость первичного пучка, определяемая шириной видимой части замедлителя, - около 1°, таков же угловой размер детектора относительно образца. Образец, предварительно сориентированный и вклеенный в криостат, путем вращения всего криостата вокруг вертикальной оси устанавливается в положение, соответствующее максимальной интенсивности отражения от нужной кристаллографической плоскости. Импульсы с детектора, после усиления и дискриминации от фона, прежде чем поступить в многоканальный временной анализатор, проходят через схему пропускания, которая открыта только при наличии импульса магнитного поля.

3. ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО, ЗАРЯДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, КОНДЕНСАТОРНАЯ БАТАРЕЯ

Зарядное устройство импульсной магнитной установки включает в себя трансформаторную подстанцию /ТП/ и высоковольтный управляемый выпрямитель.

ТП состоит из силового анодного трансформатора ТМА-560/35 и комплектного распределительного устройства КСО-266. Тип соединения обмоток трансформатора - треугольник/звезда с выведенным и заземленным нулем. Напряжение на первичной стороне трансформатора - 10 кВ, на вторичной /между фазами/ - 8,5 кВ.

Выпрямитель собран по трехфазной однополупериодной схеме на тиратронах ТР1-40/15. В нерабочем состоянии выпрямитель "заперт" отрицательным смещением на сетках тиратронов. Для открывания выпрямителя на сетки в необходимой последовательности и определенной фазе подаются положительные импульсы. Поступление этих импульсов прекращается по достижении на конденсаторной батарее необходимого напряжения.

Зарядное сопротивление представляет собой керамическую трубу с намотанным на нее нихромовым проводом, которая коаксиально вставлена в стальную трубу большего диаметра. Охлаждение сопротивления осуществляется проточной водой. Величина сопротивления - 50 Ом, максимальный зарядный ток - 60 А.

Конденсаторная батарея состоит из четырех соединенных последовательно-параллельно секций по 60 конденсаторов типа ИМ-3-100 /емкость - 100 мкФ, рабочее напряжение - до 3 кВ/ в каждой секции. Таким образом, полная емкость - 6 мФ и максимальное напряжение - 6 кВ. При необходимости секции можно соединить иначе, увеличить, например, общую емкость в четыре раза при напряжении до 3 кВ.

Выпрямитель с зарядным устройством позволяет заряжать батарею 6 мФ до 2 кВ пять раз в секунду.

4. КОММУТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

В качестве коммутаторов используются четыре ртутных вентиля - игнитроны ИВУ-500/5 /согласно паспортным данным, допустимый рабочий ток - 500 А, обратное пробивное напряжение - 5 кВ/. Применяется каскадное управление игнитронами, состоящее в следующем. На один из четырех игнайтеров игнитрона подается импульс с амплитудой 900 В длительностью 100 мкс, который приводит к возникновению катодного пятна. При этом замыкается промежуток "вспомогательный анод-катод" и через него разряжается емкость /10 мкФ, 350 В/, соединенная последовательно с сопротивлением 50 Ом. Ток в цепи вспомогательного анода вызывает разогрев всей поверхности катода. Далее

импульс, снимаемый с указанного сопротивления, усиливается с помощью трансформатора до 1200 В и поступает на управляющую сетку игнитрона, приводя к его открыванию. При таком управлении разброс во времени открывания игнитрона не превышает ± 30 мкс.

Для надежной работы игнитрона без потери вентиляционных свойств необходимы термостатирование его кожуха с помощью постоянно циркулирующей воды при $T = 42^\circ \pm 2^\circ$, а также предварительный /за сутки/ и постоянный во время работы подогрев анодной области с помощью специальных подогревателей. Через 2-3 месяца работы существенно /до $50 \div 100$ Ом/ уменьшается сопротивление между вспомогательным анодом и катодом. Для его восстановления периодически производится подформовка игнитрона путем пропускания через него постоянного тока около 200 А в течение 8 ч. Как правило, во время работы используется один из четырех игнитронов. Средний срок службы каждого игнитрона соответствует 10^7 срабатываний, после чего игнитрон перестает "зажигаться". В нашей работе замена каждого игнитрона производится через 1,5-2 года.

При соблюдении отмеченных условий каждый игнитрон обеспечивает пропускание импульсов тока до 20 кА при длительности /полупериод синусоиды/ 1,8 мс с частотой повторений 2 Гц, что при индуктивности контура 27 мкГн соответствует емкости батареи 12 мФ и напряжению 1,1 кВ. Дальнейшее уменьшение длительности /или увеличение амплитуды/ импульсов приводит к потере игнитроном вентиляционных свойств и пропусканию им обратного тока. При работе с импульсами до $15 \div 20$ кА осуществляется циклическая поочередная работа трех или четырех игнитронов /с частотой до $4 \div 5$ Гц/, а при большей амплитуде или меньшей длительности импульсов - одновременная работа нескольких игнитронов /с отдельными секциями конденсаторной батареи и отдельными зарядными сопротивлениями/.

5. ИМПУЛЬСНЫЙ МАГНИТ

Главные требования к магниту, предназначенному для нейтронных исследований на ИБР-30, состоят в том, что он должен выдерживать довольно высокую частоту повторений / $1 \div 5$ Гц/ импульсов поля в 150-200 кЭ и не разрушаться в течение длительного времени /несколько лет/. Это связано с тем, что частота вспышек реактора составляет $3,8 \div 5,2$ Гц, а число циклов импульсного поля, необходимое для набора достаточно хорошей статистики /с точностью 1-3%/ для каждого значения поля или температуры, - $10^4 \div 10^5$.

Конструкция магнита, до некоторой степени удовлетворяющего указанным требованиям и используемого в настоящее время, показана на рис. 2. Катушка 1 маг-

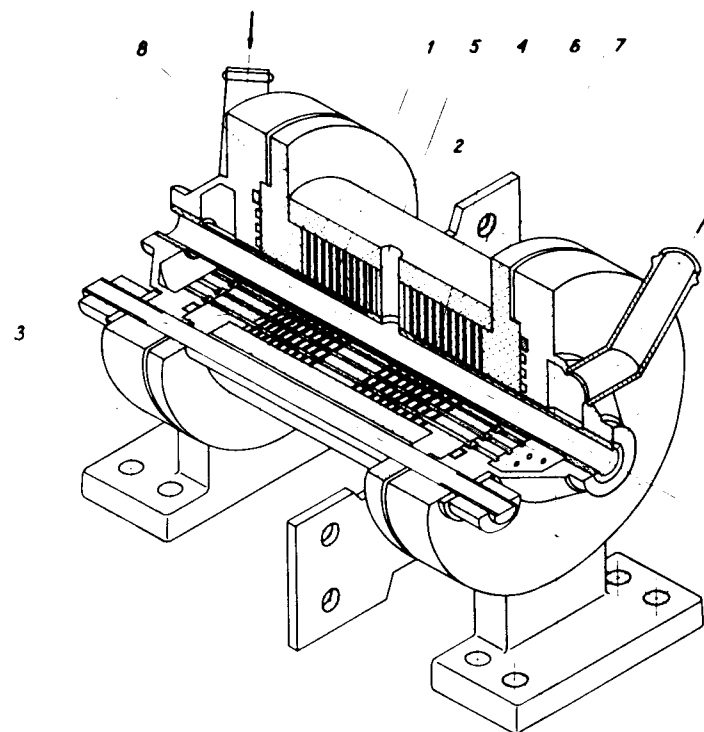


Рис. 2. Конструкция импульсного магнита.

нита представляет собой двухсекционную спираль, выточенную из прутка бериллиевой бронзы марки Бр-Б2. В середине /по длине/ спирали оставлен участок без нарезки витков толщиной 14 мм, в котором просверлены два радиальных канала диаметром 10 мм для нейтронных пучков, а также сделана в радиальном направлении щель, исключающая наличие замкнутого витка. В каждой половине катушки - по 25 витков, толщина каждого витка - 1,2 мм, внутренний диаметр катушки - 20 мм, внешний - 70 мм. К концам нарезанной спирали серебряным припоем крепятся плоские медные шинные вводы 2 толщиной 5 мм. Витки изолируются друг от друга разрезанными в радиальном направлении и взаимно перекрывающимися текстолитовыми дисками толщиной 0,5 мм. На внутреннем и внешнем диаметрах катушки диски выступают над металлической спиралью на 0,5 мм. Для пропускания через магнит воды в теле катушки выполнено около 30 сквозных каналов 3, параллельных оси магнита, диаметром 3,6 мм. С этой же целью между трубкой 4 /внутренний диаметр - 15 мм, толщина - 1 мм/, изготовленной из стеклопластика марки СВМ и вклеенной в магнит, и внутренней поверхностью катушки оставлен зазор 1 мм, обеспечивающий охлаждение водой наиболее нагреваемых частей магнита. В местах входа и выхода нейтронов в трубке 4 имеются окна. В каналы магнита, предназначенные для прохождения нейтронов, вставлены и склеены с трубкой 4 две втулки 5 из стеклопластика с внутренним диаметром 8 мм. На катушку магнита намотан бандаж 6 из стеклоткани с эпоксидным клеем толщиной 15 мм. Вся катушка магнита зажата между текстолитовыми дисками 7 и обоймами 8 из нержавеющей стали. Для охлаждения магнита используется дистиллированная вода, расход которой - 40 л/мин при давлении на входе 1,5 атм.

Индуктивность катушки магнита - 11 мкГн. Магнит, установленный в спектрометр, соединяется с конденсаторной батареей и коммутирующим устройством, расположенными на расстоянии 70 м, коаксиальной кабельной линией, состоящей из трех соединенных параллельно кабелей марки КПВ-1/75. Вклад в индуктивность всего контура индуктивности кабельной линии и соединитель-

ных цепей установки /кроме магнита/ составляет 16 мкГн. Коэффициент пропорциональности между током и величиной магнитного поля при длительности импульса $2 \cdot 10^{-3}$ с равен 4,4 Э/А.

При работе с импульсами тока 35 кА длительностью $2 \cdot 10^{-3}$ с с частотой повторений 2 Гц вода в магните нагревается не более чем на 15°. Аксиальное /по оси магнита/ и радиальное /в средней плоскости магнита/ распределения аксиальной компоненты магнитного поля показаны на рис. 3. Длительные /около 10^8 циклов/ физические измерения проводились в магнитных полях до 120 кЭ; при значении поля около 200 кЭ магнит выходит из строя.

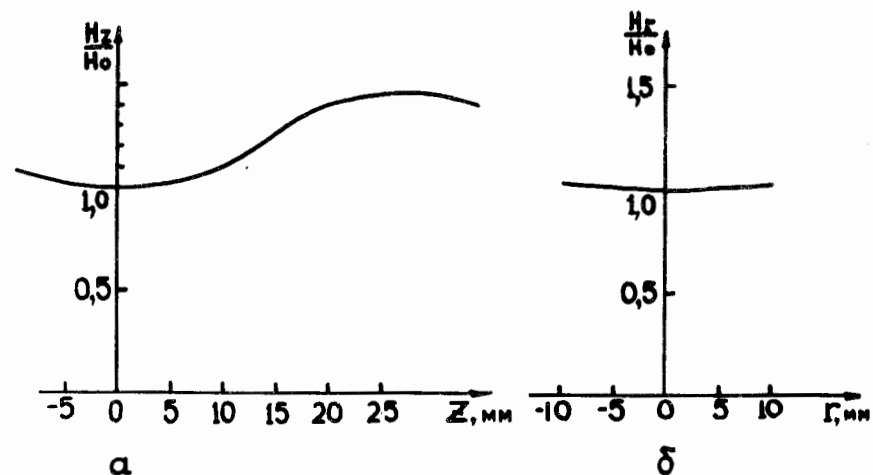


Рис. 3. Распределение аксиальной компоненты магнитного поля по оси /а/ и радиусу в средней плоскости магнита /б/.

6. КРИОСТАТ

Устройство криостата для охлаждения образца показано на рис. 4. Все внутренние и внешние части его корпуса изготовлены из нержавеющей стали. В конец

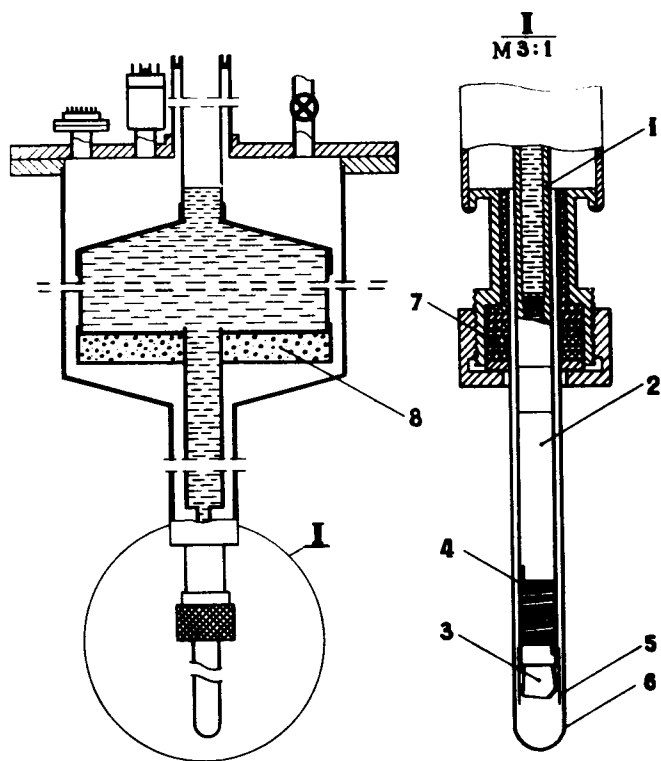


Рис. 4. Устройство криостата для работы с монокристаллами при $T = 80 \div 330 \text{ K}$.

латунного переходника 1 ввинчивается стержень - тепловод 2, изготовленный из алунда (Al_2O_3), длиной 100 мм и диаметром 9 мм. К торцу тепловода с помощью компаунда, приготовленного на основе эпоксидной смолы, приклеивается предварительно ориентированный монокристаллический образец 3. На конце тепловода вблизи образца располагается нагреватель 4, намотанный из нихромового провода. На нижнем конце тепловода крепится тепловой экран 5, изготовленный из алюминизированного лавсана. Колпачок 6 с толщиной стенки 0,8 мм и внешним диаметром 14 мм - из стекла марки С1-48, не содержащего бор и другие элементы, погло-

щающие нейтроны. Этот колпачок герметически соединяется с корпусом криостата с помощью вильсоновского уплотнения 7.

После предварительной /до 10^{-2} Тор / откачки криостат отделяется от насосной системы, заливается азотом /емкость - около 3,5 л/, и дальнейшее улучшение и сохранение вакуума / 10^{-5} Тор / обеспечивается поглотителем 8 /активированный уголь или силикагель/. Наружная поверхность азотного бачка и остальных внутренних частей криостата покрыта несколькими слоями алюминизированного лавсана.

Для автоматической регулировки и регистрации температуры образца, осуществляемых по известной схеме⁵ используются две термопары, закрепленные в верхней и нижней частях образца. Минимальная температура на образце - около 80 К, разность температур между верхним и нижним концами кристалла гематита высотой 10 мм не превышает 2-3°. Одного наполнения азотного бачка хватает на 12-15 час, в зависимости от режима работы магнита.

Собранный и откачанный криостат устанавливается на специальную стойку и вводится нижним концом в аксиальный канал импульсного магнита /фотография магнита и криостата в рабочем положении - на рис. 5/. При этом криостат закрепляется в стакане устройства, содержащего электромотор с червячной передачей для точной дистанционной ориентации криостата с образцом и для перехода от одной вертикальной кристаллографической плоскости к другой.

7. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Блок-схема электронной системы управления ИМУ-1 изображена на рис. 6. Запуск ИМУ-1 и временного анализатора производится стартовыми импульсами, поступающими одновременно со вспышками реактора /3,8-5,2 Гц/. В зависимости от выбранной частоты импульсов магнитного поля производится отбор стартовых импульсов /1-1/99/, которые затем поступают

Рис. 5. Фотография стойки с импульсным магнитом, кристаллом и механизмом поворота.

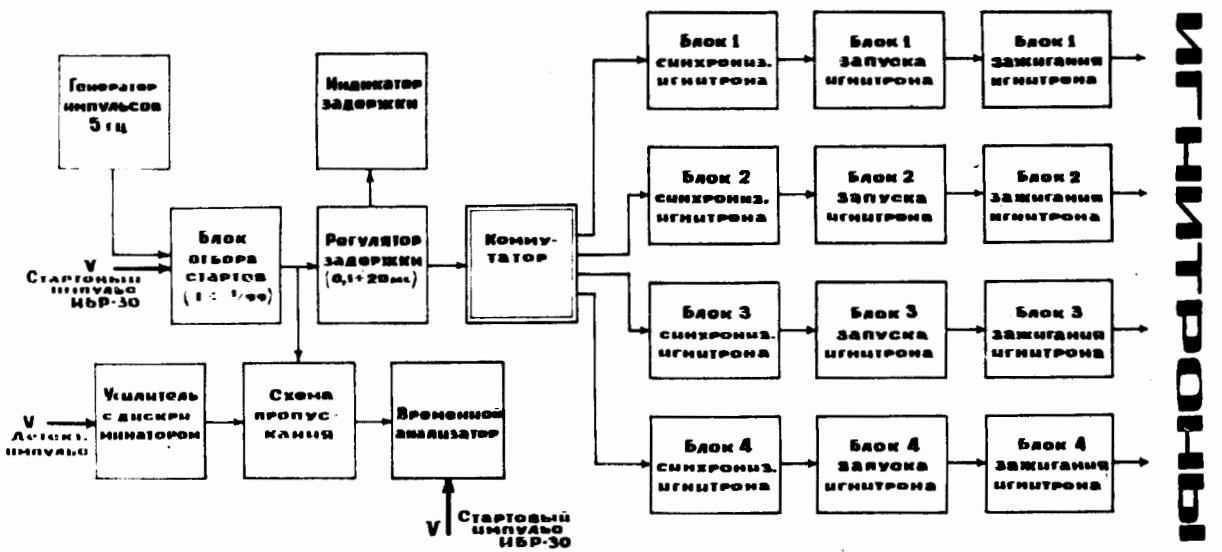
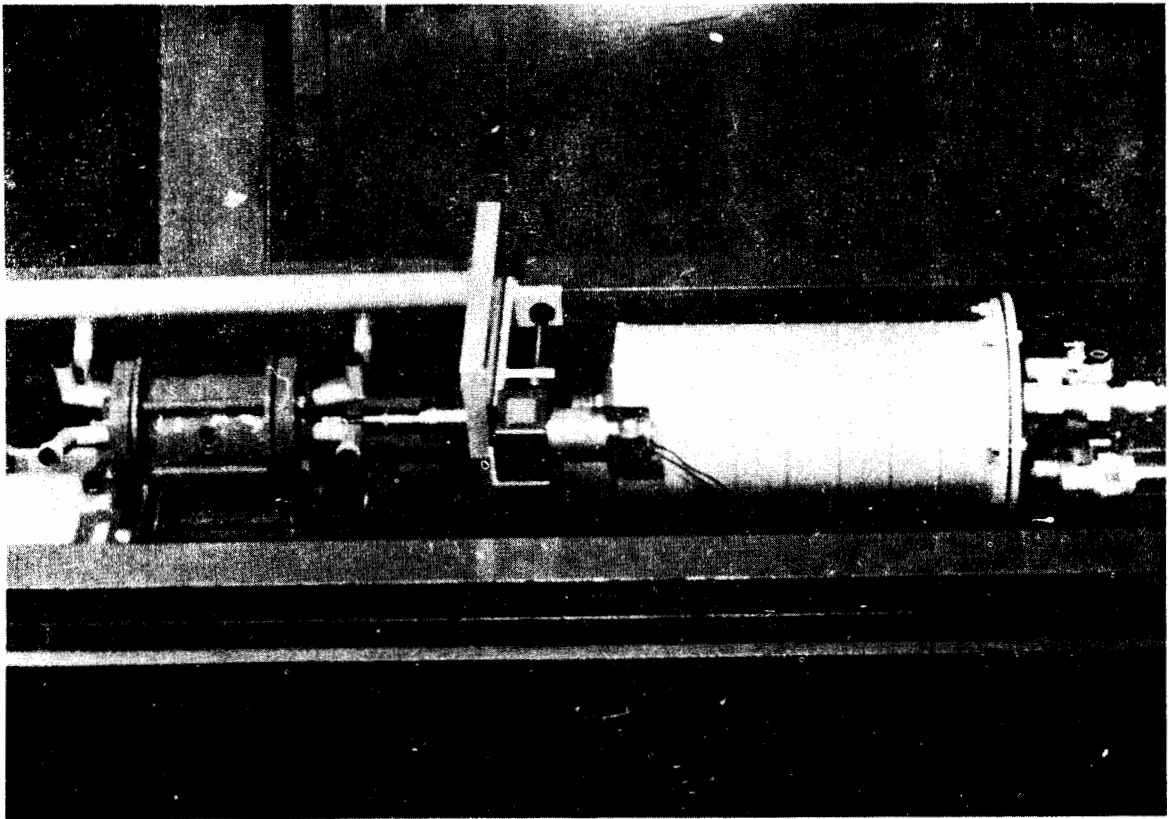


Рис. 6. Блок-схема электронной системы управления.

в схему пропускания и в блок главной регулируемой задержки /0,1-20 мс с шагом 5 мкс/. Величина задержки контролируется цифровым индикатором. Задержанный импульс поступает в коммутатор, позволяющий выбрать один из четырех возможных режимов работы игнитронов: одновременно четыре, поочередно-парно, циклически - поочередно три, циклически - поочередно четыре. Использование после коммутатора блоков дополнительной синхронизации связано с тем, что каждый игнитрон имеет свою задержку открывания относительно импульса зажигания. Блоки зажигания представляют собой высоковольтные устройства, обеспечивающие подачу на игнитеры импульсов напряжения 900 В. Специальный генератор импульсов /5 Гц/ предназначен для имитации стартовых импульсов реактора при наладке и проверке ИМУ-1.

Кроме того, электронная система управления включает в себя устройство управления высоковольтным выпрямителем. Оно обеспечивает поочередную подачу положительных импульсов на сетки тиратронов с заданным временным опережением относительно окончания положительного полупериода напряжения на соответствующем тиратроне и прекращение этих импульсов, когда конденсаторная батарея зарядилась до заданного напряжения.

Каждый импульсный магнит калибруется, т.е. с помощью измерительной катушки с интегрируемой цепочкой определяется связь между величиной импульсов тока и величиной магнитного поля. Во время физических измерений контролируется только величина и форма импульсов тока.

В заключение авторы выражают свою признательность всем участникам создания и модернизации установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Levitin R.Z. e.a. *Sol.St.Comm.*, 1969, 7, p.1665.
2. Анцупов П.С. и др. *Физика твердого тела*, 1971, 13, с.56.

3. Нунц В.В. и др. ОИЯИ, P3-10072, Дубна, 1976.
4. Maliszewski E. e.a. *IAEA Symposium on Inelastic Scattering of Neutrons in Solids and Liquids, Copenhagen, 1968, SM-104/131.*
5. Еременко В.И., Шоршоров М.Х. *ПТЭ*, 1969, №4, с.124.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 мая 1978 года.