

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P13-88-684

В.М.Жабицкий, А.М.Каминская, В.М.Лачинов,  
В.К.Маковеев

МАГНИТОМЕТР ИМПУЛЬСНЫЙ ХОЛЛОВСКИЙ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ (МИХ-3)

1988

## ВВЕДЕНИЕ

При измерениях магнитного поля в большом количестве точек необходимо получать данные о поле оперативно, в удобной для анализа форме и с необходимой точностью. Магнитометр типа МИХ-3, являющийся усовершенствованной модификацией МИХ-2<sup>1,2/</sup>, отвечает этим требованиям. В отличие от предыдущего прибора, в МИХ-3 увеличена точность измерений, расширены его функциональные возможности: магнитометр изготовлен в стандарте КАМАК и имеет сервисные блоки, с помощью которых процесс измерения полностью автоматизирован. Так как требуется проведение магнитных измерений разной степени сложности на различных установках, то МИХ-3 реализован в виде достаточно универсального прибора как по диапазону и точности измеряемых полей, так и по функциональным возможностям.

## РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Магнитометр может работать в трех независимых режимах:

1. Ручной режим. В этом случае управление работой магнитометра осуществляется с передней панели в следующей последовательности:

а) выбор необходимого диапазона измерений магнитного поля. Для этого оператор устанавливает коэффициент усиления во входном усилителе, напряжение смещения в выходном усилителе. Результат установки индицируется с помощью контрольных лампочек;

б) установка предела измерения АЦП<sup>5/</sup> по команде F(17)A(0) и выбор номера входа АЦП по команде F(17)A(1) осуществляется с помощью блока индикации, который вырабатывает необходимые функции КАМАК. Результат индицируется с помощью лампочек на передних панелях АЦП;

в) установка измерительных датчиков внутри объема измеряемого поля. С этой целью надо набрать необходимую координату с помощью четырехдекадного кнопочного переключателя и кнопкой "Пуск" привести в действие механизм перемещения измерительных датчиков<sup>3/</sup>. Результат перемещения индицируется с помощью четырехдекадной цифровой индикации реверсивного счетчика;

г) установка момента измерения во времени с помощью цифровой задержки. Величина задержки индицируется в цифровом виде на передней панели;





д) проведение измерения магнитного поля в данной точке в данный момент времени. Причем момент измерения может быть синхронизован либо внешним импульсом запуска, либо внутренним генератором с частотой 2 Гц или 500 Гц, либо разовым пуском. Результат измерения индицируется в цифровом виде на передней панели блока индикации.

2. Автоматический режим на линии с микропроцессорной системой КМ001, КК006, КЛ023<sup>4/</sup>. В этом случае микроЭВМ обеспечивает выполнение пункта 1 либо в автоматическом режиме, либо в режиме диалога. После задания режима работы магнитометра процесс измерений является полностью автоматизированным и определяется программой, которая "защита" в СППЗУ. Этот режим протекает следующим образом:

а) в соответствии с заданным режимом работы магнитометра программно выбирается соответствующая калибровочная кривая и измеренное значение переводится из относительных единиц в значения магнитного поля. При этом достигается максимальная точность измерений, так как учитываются все нелинейности характеристик датчиков Холла (ДХ);

б) проводится статистическая обработка информации. Число статистических данных регулируется;

в) вычисляется среднеквадратичная ошибка;

г) выбраковываются результаты, которые могут интерпретироваться в данной точке в данный момент времени как сбой измеряемого поля. Отбрасывание точек ведется в соответствии с максимально возможной систематической ошибкой, которая входит в программу обработки как параметр;

д) результаты измерений регистрируются в ОЗУ микропроцессорной системы;

е) через интерфейс цветного монитора КИ029 измеряемые данные в виде цветного графика отображаются на экране цветного телевизора. Масштаб выбирается оператором либо до начала измерения, либо после измерения, т.е. имеется возможность рассмотреть весь график или его часть в произвольном масштабе. Кроме того, имеется возможность наложения данных следующего измерения на график предыдущего;

ж) через интерфейс КИ023 имеется связь с цифрпечатью DZM 180, на которой данные распечатываются в виде таблицы;

з) связь оператора с микроЭВМ осуществляется через алфавитно-цифровой дисплей или телетайп, которые подключаются через разъем на задней панели КМ001.

3. Автоматический режим на линии с персональным компьютером "Правец-16". В этом случае программно через последовательный интерфейс связываются микроЭВМ КМ001 и ПЭВМ "Правец-16"<sup>16/</sup>. ПЭВМ позволяет оперативно готовить программный продукт, используя богатое математическое обеспечение "Правец-16" с 256 Кбайт ОЗУ и двумя дисководами для гибких дисков по 320 Кбайт каждый. При этом надо отметить малый вес ПЭВМ и удобство работы с ней при переходе с одного рабочего места на другое.

## БЛОК-СХЕМА МАГНИТОМЕТРА

Магнитометр, блок-схема которого приведена на рис.1, конструктивно состоит из двух крейтов КАМАК, которые могут быть разнесены на расстояние до 50 метров. Входная часть магнитометра устанавливается непосредственно вблизи исследуемого поля, и это расстояние определяется длиной кабеля пробника (8 м). С магнитометром используются 2 типа пробников: универсальный с двумя ДХ и специальный пробник для измерения поля кольца в адгезаторе с одним ДХ. Во входном крейте расположены 2 источника тока ДХ, 2 входных усилителя в термостате и блок термостабилизации с возможностью управления внешним малым термостатом с ДХ и внутренним большим термостатом с электронными схемами.

В выходном крейте расположены:

- блок формирования импульсов для синхронизации работы магнитометра в целом (их 2 типа);
- два выходных усилителя;
- блок управления коэффициентом усиления входных усилителей;
- три АЦП с 12 двоичными разрядами<sup>15/</sup>;
- цифровая программируемая задержка;
- реверсивный счетчик;
- блок задания координаты ДХ;
- интерфейс цифрпечатающего устройства КИ203 с DZM 180;

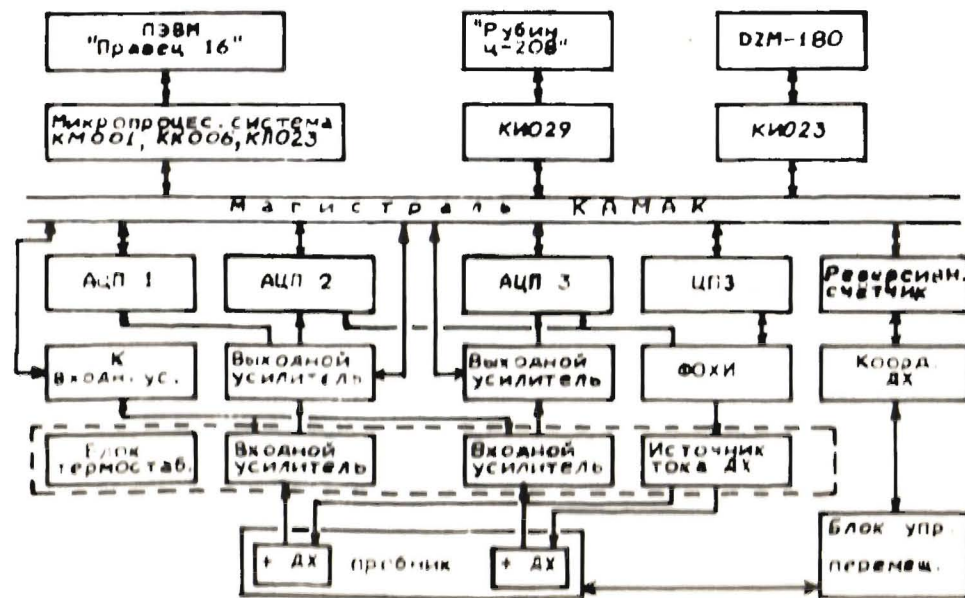


Рис.1. Блок-схема МИХ-3.



— интерфейс цветного монитора КИ029 с телевизором "Рубин Ц-208";

— микропроцессорная система, которая включает в себя микроЭВМ КМ001, контроллер крейта КК006, оперативное запоминающее устройство КЛ023. Кроме того, имеется связь через последовательный интерфейс микропроцессорной системы с ПЭВМ типа "Правец-16" с цифроречащим устройством PRT-80GS и монохроматическим дисплеем.

### БЛОК ФОРМИРОВАНИЯ СИНХРОИМПУЛЬСОВ

Блок формирования и выработки синхроимпульсов определяет временной режим работы магнитометра. Реализованы 2 варианта:

а) в первом случае  $1/2$  ДХ смещены в пробнике по Z на 1 см, что позволяет измерять пространственное распределение магнитного поля в данный момент времени (рис.2а);

б) не менее важной характеристикой импульсного магнитного поля является его распределение по времени в данной точке. С этой целью в схему блока формирования синхроимпульсов включена следующая схема (рис.3). С помощью одновибраторов типа 155 АГ1 формируется необходимая для данного эксперимента временная диаграмма, которая будет определять работу магнитометра. На рис.2б показан пример временной диаграммы для работы с тремя АЦП. Выходное напряжение имеет форму трех импульсов, сдвинутых по времени, которые поступают на вход АЦП, но строб, по которому происходит измерение, у каждого АЦП свой и жестко связан по времени со своим выходным импуль-

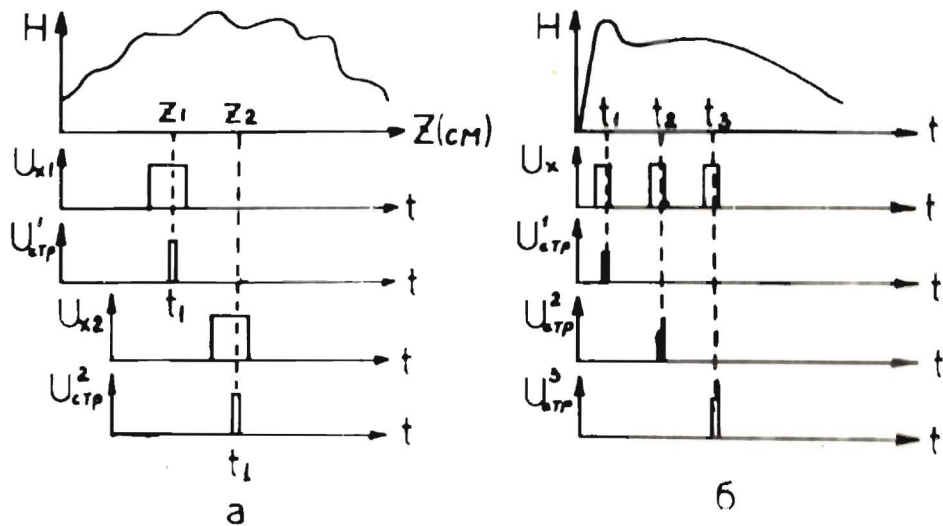


Рис.2. Временная диаграмма работы магнитометра.

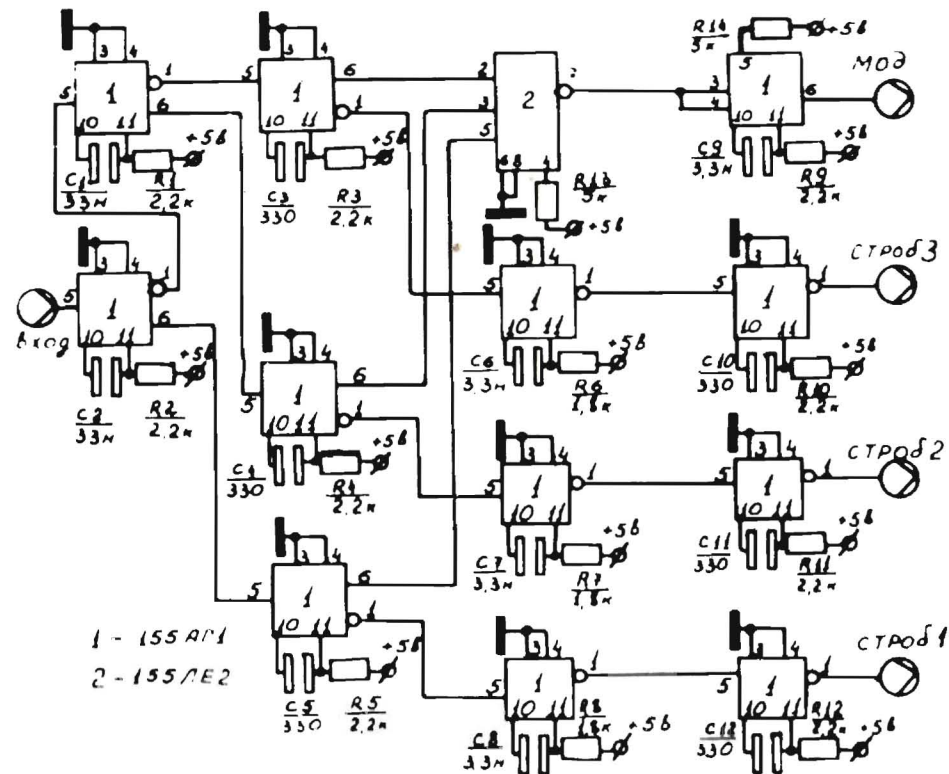


Рис.3. Формирование трех измерительных импульсов.

сом. Сохранив преимущество питания ДХ импульсным током повышенной амплитуды  $1/2$ , мы имеем возможность разнести моменты измерения в любую временную точку (это определяется условиями эксперимента). Чаще всего удобно размещать импульсы в критических точках, например в максимуме нарастания магнитного поля, в моменты минимального изменения магнитного поля и нулевого значения магнитного поля. Во всех случаях информация будет получена за время одного импульса.

Использование этих режимов (а и б) важно особенно тогда, когда нет жесткой повторяемости магнитного поля от импульса к импульсу, когда изменения поля сравнимы с величиной градиента магнитного поля, что не позволяет получить достоверное распределение магнитного поля как в пространстве, так и во времени. Использование данных режимов как вместе, так и врозь позволяет полностью избавиться от этого недостатка и резко повысить точность относительных измерений при измерениях нестабильных магнитных полей.

## ВХОДНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Принципиальная схема модернизированных входных усилителей представлена на рис.4. Основу усилителей составляют операционные усилители типа 140УД1Б. Они имеют полосу пропускания до 5 МГц, дрейф до 10 мкВ/°С. Операционные усилители предварительно отбираются по минимуму дрейфа. Кроме того, в цепях, задающих коэффи-

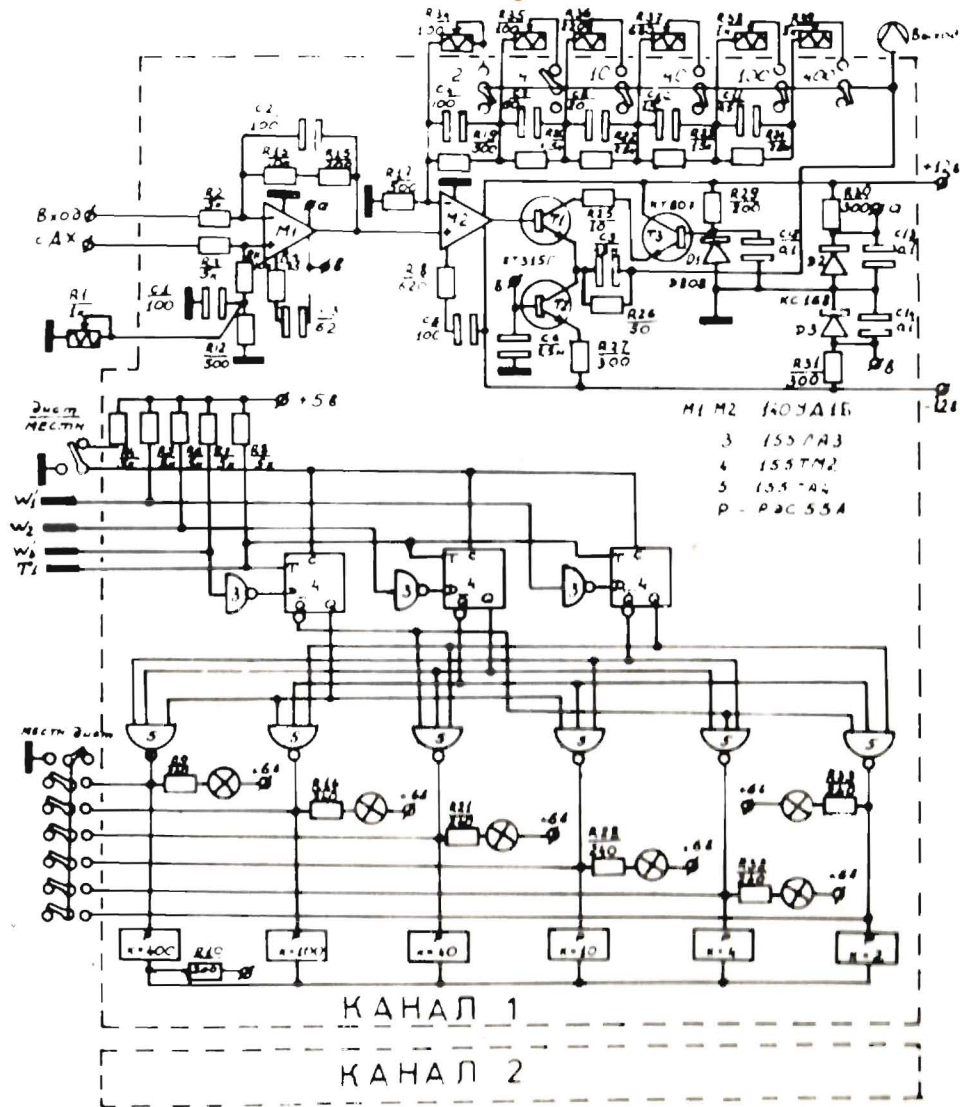


Рис.4. Входные усилители.

циенты усиления, используются сопротивления типа С2-29, имеющие минимальный температурный коэффициент сопротивления (ТКС —  $\pm 25 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ). Для еще большего снижения температурных нестабильностей входные усилители помещены в подогреваемый термостат. В нем поддерживается температура  $+50^\circ\text{C}$  с точностью до  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  при колебаниях внешних температур  $\pm 5^\circ\text{C}$  относительно комнатных температур. Первый каскад (M1) работает в дифференциальном режиме и на его выходе выделяется холловское напряжение, усиленное в 2 раза. С помощью R1 производится балансировка этого каскада при подсоединении конкретного ДХ с целью увеличения коэффициента ослабления синфазного сигнала (КОСС). Большое значение КОСС необходимо потому, что полезный сигнал, который надо усилить, наложен на более высокое синфазное напряжение (включая внешние наводки). Второй каскад (M2) реализует 6 коэффициентов масштабного преобразования, так что общий  $K_{yc}$  усилителя имеет следующие значения: 2, 4, 10, 40, 100, 400. На выходе стоят эмиттерные повторители (T1, T2) для снижения выходного сопротивления. Цепь (R26, C9) предохраняет повторители от выхода из строя при коротком замыкании на выходе. Питание выходного повторителя, который нагружается на 50-омный кабель и потребляет в импульсе ток до 100 мА, обеспечивается цепью с T3 и D1. Питание операционного усилителя стабилизировано с помощью D2, D3. Импульсный режим работы усилителя с большой скважностью способствует уменьшению временного дрейфа ОУ, так как режим по постоянному току мало изменяется в процессе измерений. Все это позволяет иметь стабильные коэффициенты усиления и минимальные дрейфы в выходных усилителях.

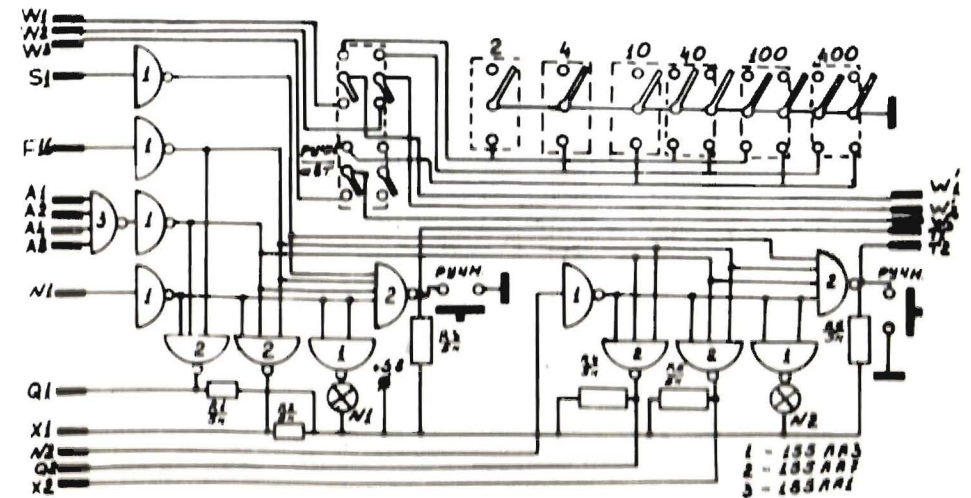


Рис.5. Дистанционная установка  $K_{yc}$  входного усилителя.



Переключение коэффициентов усиления производится с помощью герконовых реле типа РЭС 55А. Включение соответствующего реле с помощью ТТЛ-логики может быть сделано двумя способами: либо дистанционно с помощью соответствующего блока, связь с которым осуществляется по 5-жильному кабелю, либо с помощью переключателей, которые находятся на передней панели этого блока. В каждом канале режимы работ переключаются независимо. Включение соответствующего  $K_{yc}$  индицируется с помощью лампочек на передней панели.

Схема блока дистанционной установки  $K_{yc}$  входного усилителя показана на рис.5. Возможны 2 режима работы: ручной и автоматический. В ручном режиме установка  $K_{yc}$  производится с помощью 6 переключателей и 2 кнопок на передней панели. В автоматическом режиме установка  $K_{yc}$  производится от микроЭВМ по команде NA(0)F(16) по шинам W1, W2, W3.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Программа выбора режима работы магнитометра, приема, обработки и представления информации готовилась на ПЭВМ "Правец-16". Основная программа включает в себя ряд программ, написанных на ассемблере, и предусматривает работу в режиме диалога оператор-ЭВМ. Возможны два режима работы. Во-первых, когда программы "защиты" в СППЗУ микропроцессорной системы. В этом случае после включения аппаратуры и запуска программы осуществляется режим диалога. Во-вторых, когда программы хранятся на гибких дисках ПЭВМ "Правец-16" либо в кодах, либо в текстовом виде. После передачи программ из ПЭВМ "Правец-16" в микропроцессорную систему и запуска программы (во втором случае программа предварительно ассемблируется с помощью ассемблера микроЭВМ) микроЭВМ входит в режим диалога, в котором задаются следующие параметры:

- ? N(FOR STATISTIC) — число измерений в одной точке (до 9);
  - ? T(0.0-9999.9) — установка задержки (5 символов);
  - ? K(1-4) — выбор калибровочной кривой;
  - ? U(1-4) — установка напряжения смещения;
- GRAPHIC B(x)  
DATA:  
TIME:  
VERTICAL SCALE  
-? MIN(0.0-999.9) — выбор начала координат;  
-? SCALE(> 0.1) — масштаб по вертикали;  
HORIZONTAL SCALE  
-? MIN(0.0-999.9) — выбор начала координат;  
-? SCALE(> 0.1) — масштаб по горизонтали;  
-? X0(0.0-999.9) — первая точка измерений;  
-? XN(> X0. <999.9) — последняя точка измерений;  
-? DX(> 0.1) — шаг между измерениями.

Далее в автоматическом режиме после установки пробника в первую точку проводятся измерения в выбранном режиме. Результаты измерений отображаются в виде цветного графика на экране телевизора "Рубин Ц-208" и в виде таблицы результатов на дисплее. Если необходимо, то таблица результатов печатается на цифropечатающем устройстве. В таблице фиксируются координаты ДХ, значения измеренного поля и среднеквадратичная ошибка измерений. В конце измерений на дисплее появляется следующая информация:

? NEW:

- S — возвращение к началу диалога;
- T — изменение задержки;
- K — выбор новой калибровочной кривой;
- U — выбор другого напряжения смещения;
- X — изменение диапазона измерений;
- L — повторение измерений в старом режиме;
- M — построение графика результатов предыдущего измерения или части его в новом масштабе. Это необходимо для оперативного выяснения либо мелких деталей измеренной кривой в увеличенном масштабе, либо общих закономерностей в уменьшенном масштабе;
- P — повторение измерений в старом режиме с наложением нового графика на предыдущий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт применения МИХ-3 при магнитных измерениях на различных установках ОНМО показал высокую надежность аппаратуры и удобство работы с ней. Магнитометр (рис.6) достаточно универсален, позволяет измерять магнитное поле различной конфигурации. МИХ-3 измеряет распределение в пространстве и времени мгновенных (в пределах 0,2 мкс) значений импульсных и постоянных магнитных полей. Диапазон измеряемых полей (8 поддиапазонов) — до 2,5 Тл. Погрешность измерения — (0,1-0,02)% (в зависимости от режима работы). Чувствительность прибора —  $10^{-5}$  Тл. Максимальная частота исследуемого поля — до 10 кГц. Прибор позволяет измерять топографию и градиенты магнитного поля как в пространстве, так и во времени. Измерительная и регистрирующая системы магнитометра МИХ-3 позволяют организовать и осуществить измерения вектора магнитного поля с помощью трехкомпонентного датчика<sup>7,8/</sup>, отличающегося высокими метрологическими характеристиками. Для этого необходимо ввести третий измерительный канал и соответствующее программное обеспечение для трех ДХ. МИХ-3 калибруется по ЯМР-магнитометру, который дает абсолютную точность —  $10^{-6}$ %. Имеется встроенная микропроцессорная система и связь с ПЭВМ "Правец-16". Регистрация результатов визуально-графически-цифровая. Аппаратура и программное обеспечение могут быть без изменения использованы для исследования широкого спектра



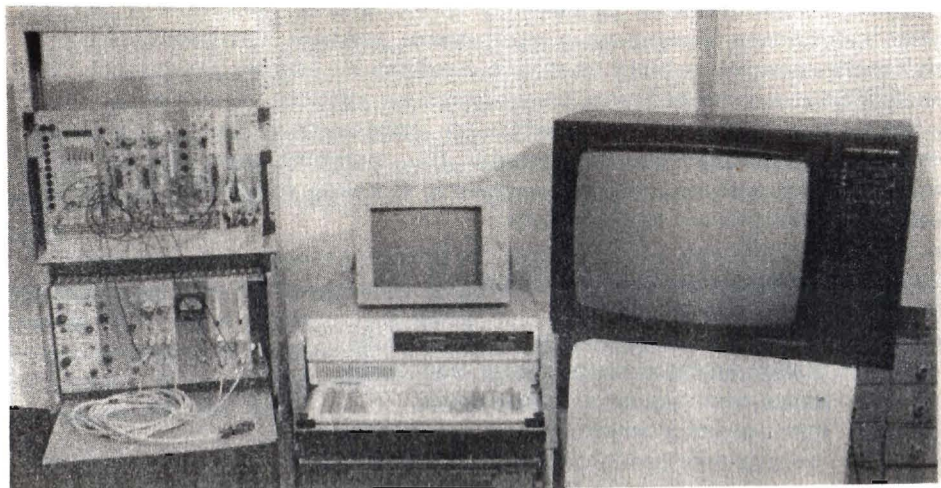


Рис.6. Внешний вид МИХ-3.

магнитных систем, при этом сменяемым элементом является только пробник с ДХ, конструкция которого должна быть выполнена в соответствии с характерными геометрическими размерами исследуемых магнитных элементов, и система механического перемещения пробника в исследуемом объеме. Созданное программное обеспечение обладает большой гибкостью и универсальностью и позволяет выводить конечную информацию в наиболее удобной форме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лачинов В.М., Маковсеев В.К. ОИЯИ, Р9-8118, Дубна, 1974.
2. Лачинов В.М., Маковсеев В.К. ОИЯИ, Р9-9899, Дубна, 1976.
3. Козогорова Л.В. и др. ОИЯИ, Р9-9586, Дубна, 1976.
4. Сидоров В.Т. и др. ОИЯИ, Р10-12481, Дубна, 1979.
5. Попов С.А. ОИЯИ, Р10-86-398, Дубна, 1986.
6. Аугустиняк Э. и др. ОИЯИ, Р13-88-160, Дубна, 1988.
7. Лачинов В.М., Сасаев В.И. Авт. свид. 1901950. Бюл. изобр., 1982, 14, с.187.
8. Лачинов В.М., Сасаев В.И. Авт. свид. 11130807. Бюл. изобр., 1984, 147, с.129.
9. Лачинов В.М., Маковсеев В.К., Клоков Н.В. ОИЯИ, Р9-12442, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 сентября 1988 года.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д11,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 40 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	1 р. 15 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	1 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.