

Применение способа, например, в тензометрии позволяет получить высокую точность измерения в условиях значительных помех промышленной частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скалевой В. В., Полин Е. Л. Бесконтактное тензометрическое устройство для динамических измерений. Авт. свид-во, № 191844, ИПОТЗ, 1967, № 4.
2. Рудницкий Б. Л., Буртов Я. Л., Диденко Д. А. Способ повышения разрешающей способности измерительного моста. Авт. свид-во, № 243712, ИПОТЗ, 1969, № 17.
3. Беклемищев А. И., Бреннерман В. М. Бесконтактное тензометрическое устройство. Авт. свид-во, № 344262, ИПОТЗ, 1972, № 21.
4. Бреннерман В. М. Устройство для измерения температуры. Авт. свид-во, № 370481, ИПОТЗ, 1973, № 11.
5. Крылов В. Н., Бобков В. В., Монастырный П. И. Вычислительные методы. Т. 1. М., «Наука», 1976.

*Поступила в редакцию 16 августа 1976 г.;
окончательный вариант — 3 марта 1977 г.*

УДК 772.99

**А. В. АВРОРИН, Б. А. БРЕЙТМАН, Ю. К. ВОЛКОВ,
В. М. ГРУЗНОВ, Е. А. КОПЫЛОВ, И. И. КОРШЕВЕР,
В. В. КУЗНЕЦОВ, Г. Н. КУЗНЕЦОВ, И. Г. РЕМЕЛЬ**

(Новосибирск)

СИСТЕМА ДЛЯ ЦИФРОВОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ЭКСПЕРИМЕНТА

Цифровые методы в голографии и обработке изображений (например, [1, 2]) в настоящее время редко выходят за пределы стадии исследования, так как их практическое применение сдерживается отсутствием устройств, позволяющих производить операции обработки в реальном времени эксперимента. Обычно используемые для этой цели универсальные ЭВМ не отвечают требованиям, предъявляемым задачам, во-первых, из-за отсутствия устройств быстрого и удобного ввода и вывода двумерной информации и, во-вторых, по вычислительной производительности.

Реальное время в задачах оптического диапазона может быть достигнуто лишь с помощью мощных вычислительных систем с большим объемом оперативной памяти, многими процессорами и развитыми каналами. В то же время проблема реального времени для длинноволновой голографии может быть решена уже сейчас на базе малой ЭВМ с помощью сравнительно простых специализированных средств.

Система, результаты разработки и опытной эксплуатации которой излагаются в статье, является, насколько можно судить по литературным источникам [3], первой в цифровой голографии попыткой перехода от машинных экспериментов к приборному решению. Такая система предназначена для регистрации голограмм, обработки и восстановления изображений в диапазоне акустических и радиоволн в реальном времени эксперимента. Состав системы поясняется блок-схемой на рис. 1.

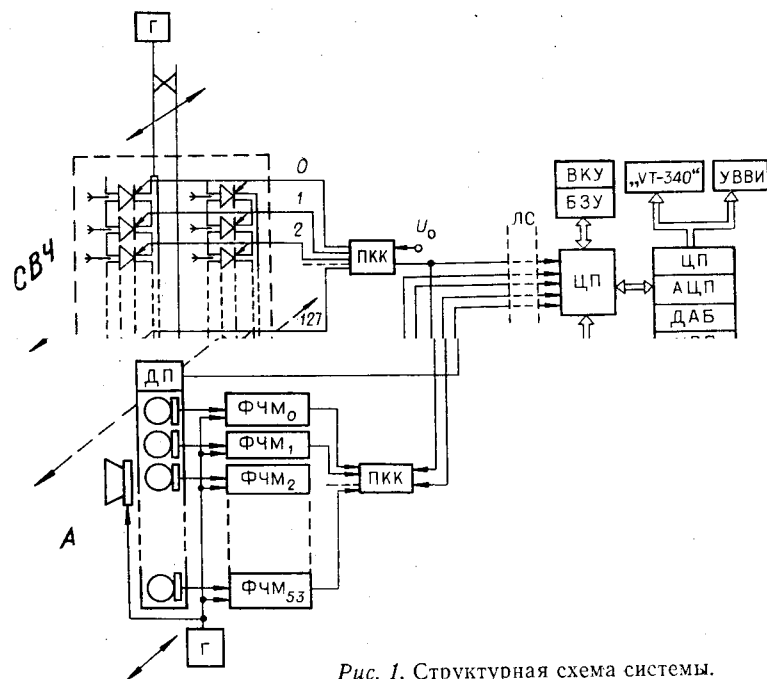


Рис. 1. Структурная схема системы.

Объект исследования регистрируется приемным сканирующим устройством (ПСУ), управляемым от ЭВМ через центральный пост (ЦП). Аналоговые электрические сигналы с ПСУ коммутируются на линию связи и через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) записываются в память ЭВМ «Электроника-100». В ЭВМ осуществляется предварительная обработка информации, после чего с помощью специализированного вычислительного устройства (СВУ) производится вычисления, необходимые для восстановления изображения из голограммы. Поступившая в память ЭВМ информация и результаты вычислений могут быть выведены на экран видеоконтрольного устройства (ВКУ) или на бумажную перфоленду для хранения и обработки на универсальных больших ЭВМ.

Работа системы в реальном времени эксперимента обеспечивается специализированными устройствами для регистрации и ввода голографической информации в память, специализированным вычислительным устройством, устройством вывода изображений на экран ВКУ и комплектом математического обеспечения, разработанного для системы.

Ниже приводится описание отдельных блоков и устройств системы.

Устройства для регистрации голограмм. Разработанные для данной системы многоканальные голографические устройства выполнены в виде одномерных решеток приемных или приемно-передающих модулей. Ввод голограмм осуществляется последовательным опросом модулей электронным способом по направлению вдоль решетки и через равные интервалы механического перемещения решетки в перпендикулярном направлении. Момент начала опроса решетки синхронизирован

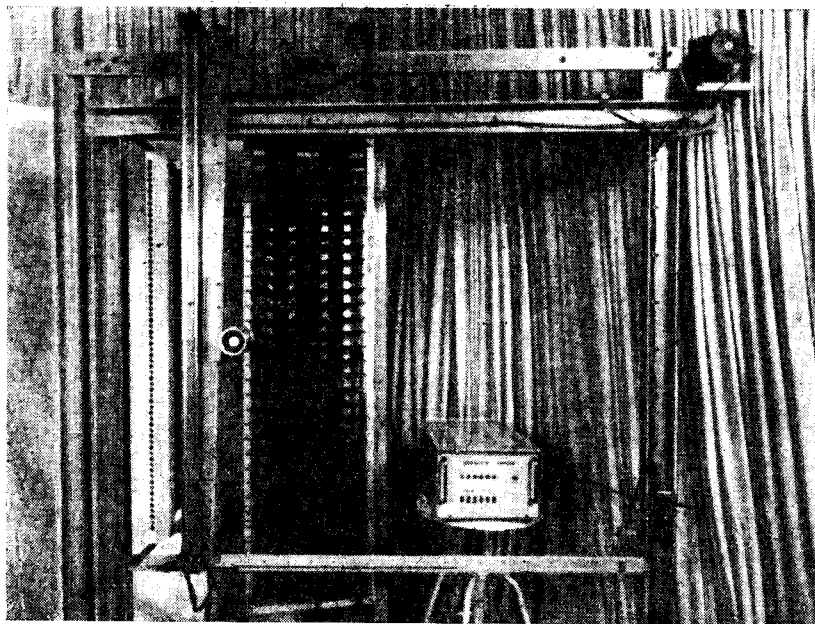


Рис. 2. Акустическое голографическое устройство.

с работой управляющей программы в ЭВМ через канал «Прерывание» с помощью фотодатчиков положения (ДП) решетки.

Акустическое устройство (рис. 2) работает в воздухе на длине волны 2,1 см и состоит из 64 фазочувствительных приемных модулей (ФЧМ), которые расположены эквидистантно по одной прямой с интервалом 11,5 мм. Каждый модуль включает в себя микрофон, полосовой усилитель и амплитудно-фазовый детектор, выполненный по схеме релейного коррелятора. Источник звуковых волн, облучающий исследуемые объекты, помещен в середине решетки и в процессе синтезирования перемещается вместе с ней. Наклон плоской опорной волны имитируется введением акустических задержек в каждый модуль. Аналоговые сигналы с выходов модулей коммутируются на линию связи периферийным коммутатором каналов (ПКК) и через АЦП записываются в память ЭВМ. Голограмма размером 64×64 отсчетов вводится за 10 с.

Голографическое устройство в СВЧ-диапазоне (рис. 3) конструктивно выполнено в виде двух одномерных идентичных решеток из 128 антенн в каждой. Одна из решеток является передающей, другая — приемной. В каждой из них имеется общий волновод, с которым антенны связаны через СВЧ-выключатель и резонансную щель в широкой стенке волновода. СВЧ-выключатели при подаче управляющего напряжения через один из каналов ПКК и электронный ключ подсоединяют одну из антенн к общему волноводу.

Решетки антенн могут быть расположены рядом, параллельно друг другу, образуя таким образом одномерную решетку приемно-передающих модулей, либо перпендикулярно друг к другу, образуя крест. В случае параллельного расположения достигается лучшее пространственное разрешение, при крестообразном — отпадает необходимость в механическом перемещении решеток для синтеза голограмм.

Антенны в решетках расположены эквидистантно с шагом 11 мм и выполнены в виде открытых концов волноводов сечением 23×5 мм². Передающая решетка питается от СВЧ-генератора непрерывной мощности с длиной волны 3,2 см. Часть энергии генератора (Γ) отвеча-

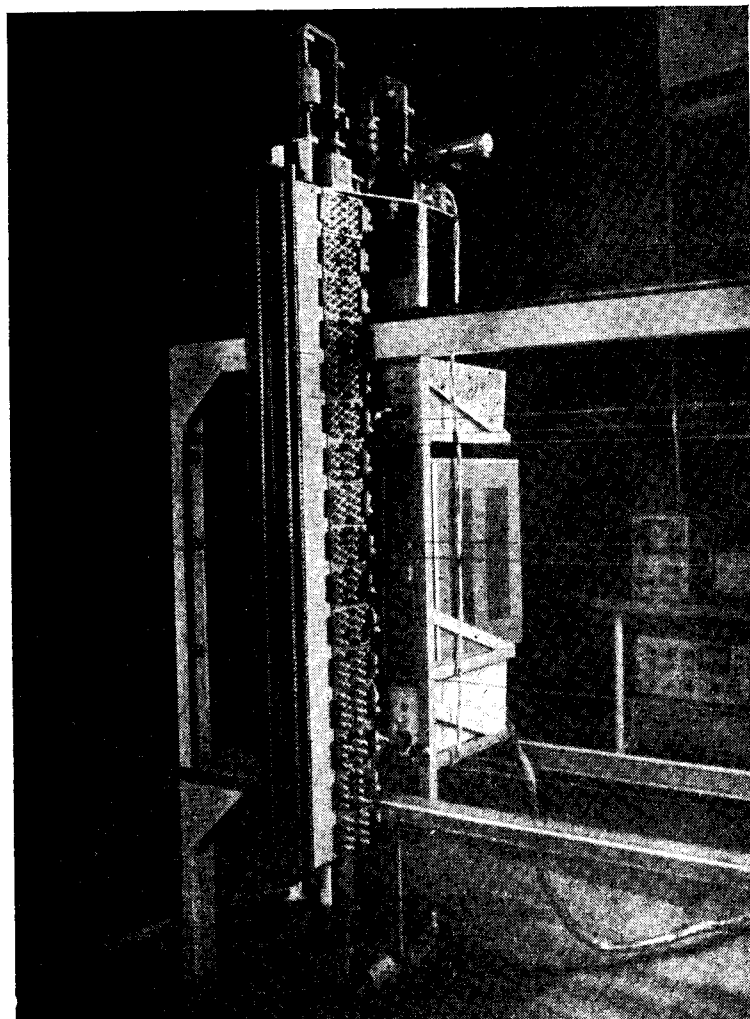


Рис. 3. Голографическое устройство в СВЧ-диапазоне.

ется для подачи опорных сигналов в когерентный балансовый СВЧ-приемник (КП), который подключен к общему волноводу приемной решетки. Наклон плоской опорной волны имитируется либо с помощью управляемого фазовращателя, включенного в опорный канал, либо набегом фазы волны вдоль волновода при последовательном подключении приемных антенн. Принятые сигналы через фильтр и электронную схему выборки — хранения — сброса поступают в линию связи (ЛС) с ЭВМ. Время регистрации голограммы размером 128×128 отсчетов 4—5 с.

Управляющий вычислительный комплекс (рис. 4). Цифровая часть системы создана на базе малой ЭВМ «Электроника-100» («Э-100») с расширенным комплектом памяти и периферийных устройств и добавочным арифметическим блоком (ДАБ). Общий объем оперативной памяти 32 К 12-разрядных слов. Для подключения к системе специализированных цифровых устройств были внесены некоторые изменения в стандартные периферийные устройства. В блок периферийных устройств «Янтарь» был добавлен электронный согласующий блок и подключен алфавитно-цифровой дисплей «Videoton-340», что значительно повыси-



Рис. 4. Управляющий вычислительный комплекс со специализированным процессором.

ло удобство в управлении системой. Устройство ввода/вывода информации (УВВИ) в системе используется не только как устройство управления периферийными коммутаторами каналов (ПКУ), но и как расширитель цифровых входов и выходов ЭВМ, для чего используются разъемы центрального коммутатора каналов. Через эти разъемы к системе подключены специализированное вычислительное устройство и стойка «Радуга К-1» с видеоконтрольным устройством (ВКК). Расширено также число входов на шину «Прерывание» ЭВМ. Периферийные коммутаторы каналов в случае работы с многоканальными голографическими устройствами в диапазоне СВЧ-волн используются не в стандартном режиме приема сигналов, а в режиме подачи управляющих напряжений на соответствующие каналы сканирующей решетки.

Программы в комплекте математического обеспечения написаны на версии языка СИМП с русским алфавитом. Управление работой программ, выбор голографического устройства, задание режимов регистрации голограмм, обмен информацией с программами и ряд других операций осуществляются с клавиатуры пишущей машинки (ЭПМ) «Сопул» или алфавитно-цифрового дисплея «Videoton».

Регистрация голограмм с любого устройства предусмотрена в двух режимах: прямая запись и запись с вычитанием регистрируемой голограммы из ранее записанной, что позволяет устранить мешающий фон в голограммах.

Программа управления специализированным вычислительным устройством в зависимости от заданного с клавиатуры режима осуществляет двумерное преобразование Фурье или двумерное преобразование Френеля. В первом случае вычисляется спектр голограммы, во втором — изображение исследуемого объекта. Голограммы и конечные результаты вычислений хранятся в оперативной памяти ЭВМ как массивы 12-разрядных чисел, а на экран ВКУ выводятся только три разряда. В связи с этим с клавиатуры может быть задан динамический диапазон выводимого изображения и проделаны операции, аналогичные изменению экспозиции в фотографии.

в памяти ЭВМ в неизменном виде, что позволяет производить многократно операции с одной и той же голограммой.

Специализированное вычислительное устройство. Это устройство выполнено как внешний процессор ЭВМ «Электроника-100», осуществляющий ряд операций над отдельными векторами (строками или столбцами) двумерного массива, хранящегося в памяти ЭВМ, к которой он имеет прямой доступ. Конструктивно он представляет собой набор модулей, выполненных в стандарте САМАС, основные из которых — универсальный арифметический модуль (время умножения двух 12-разрядных чисел — 4 мкс), модуль, генерирующий комплексные тригонометрические константы, и модуль сверхоперативной памяти для хранения одного вектора. В модуле прямого доступа находится индексный кольцевой счетчик памяти ЭВМ, старшая и младшая группы разрядов которого путем переключения счетного входа и флага переполнения счетчика могут меняться местами для виртуального транспонирования массива.

С помощью программного канала и системного драйвера, а также программы ЭВМ и специального транслятора, модифицирующего машинные команды ЭВМ в команды САМАС, любой модуль СВУ может работать как внешнее устройство ЭВМ. Однако для повышения вычислительной производительности при реализации восстановления голограммы в СВУ предусмотрен набор команд среднего уровня, реализуемый с помощью специального процессора микропрограммного управления (ПМУ), содержащего полупостоянное запоминающее устройство, цепи контроля условий и реализации переходов. Управляющее микропрограммное слово, кроме присущих стандарту САМАС команд, содержит разряды, позволяющие осуществлять прямое управление некоторыми часто употребляемыми регистрами.

Основные операции, реализуемые СВУ с помощью ПМУ, — это операции обмена векторами между памятью ЭВМ и сверхоперативной памятью, быстрого преобразования Фурье (реализация одной базовой операции порядка 18 мкс), выравнивания фронта (умножение массива на взвешенную функцию специального вида), перемножения двух векторов, определения квадрата модуля вектора и нормализации массива по заранее подсчитанному общему порядку. Команды этих операций кодируются в объектных кодах ЭВМ как команды управления внешним устройством.

Видеоконтрольное устройство (ВКУ). ВКУ размещено в стандартной стойке для периферийного оборудования «Радуга К-1» и содержит блок буферной памяти БЗУ, представляющий собой стандартный куб внешней памяти ЭВМ «Электроника-100» ($4K \times 12$), и процессор ВКУ, через который осуществляется обмен данными между БЗУ и МОЗУ ЭВМ. Трехразрядные коды яркости упакованы по четыре в 12-разрядном формате. Электронно-лучевая трубка с отклоняющей системой и блоком разверток заимствована из стандартного телевизора «Электроника-В1-100». Предусмотрена возможность удвоения разрядности, для чего БЗУ через прямой канал расширяется вдвое за счет одного из кубов внешней памяти «Э-100», при этом 6-разрядные коды яркости упаковываются по два в одном 12-разрядном слове.

На рис. 5 приведены фотографии голограмм и восстановленных из них изображений, полученные с экрана ЭЛТ ВКУ.

Разработка специализированных комплексов для восстановления цифровых голограмм резко сокращает время, затрачиваемое на

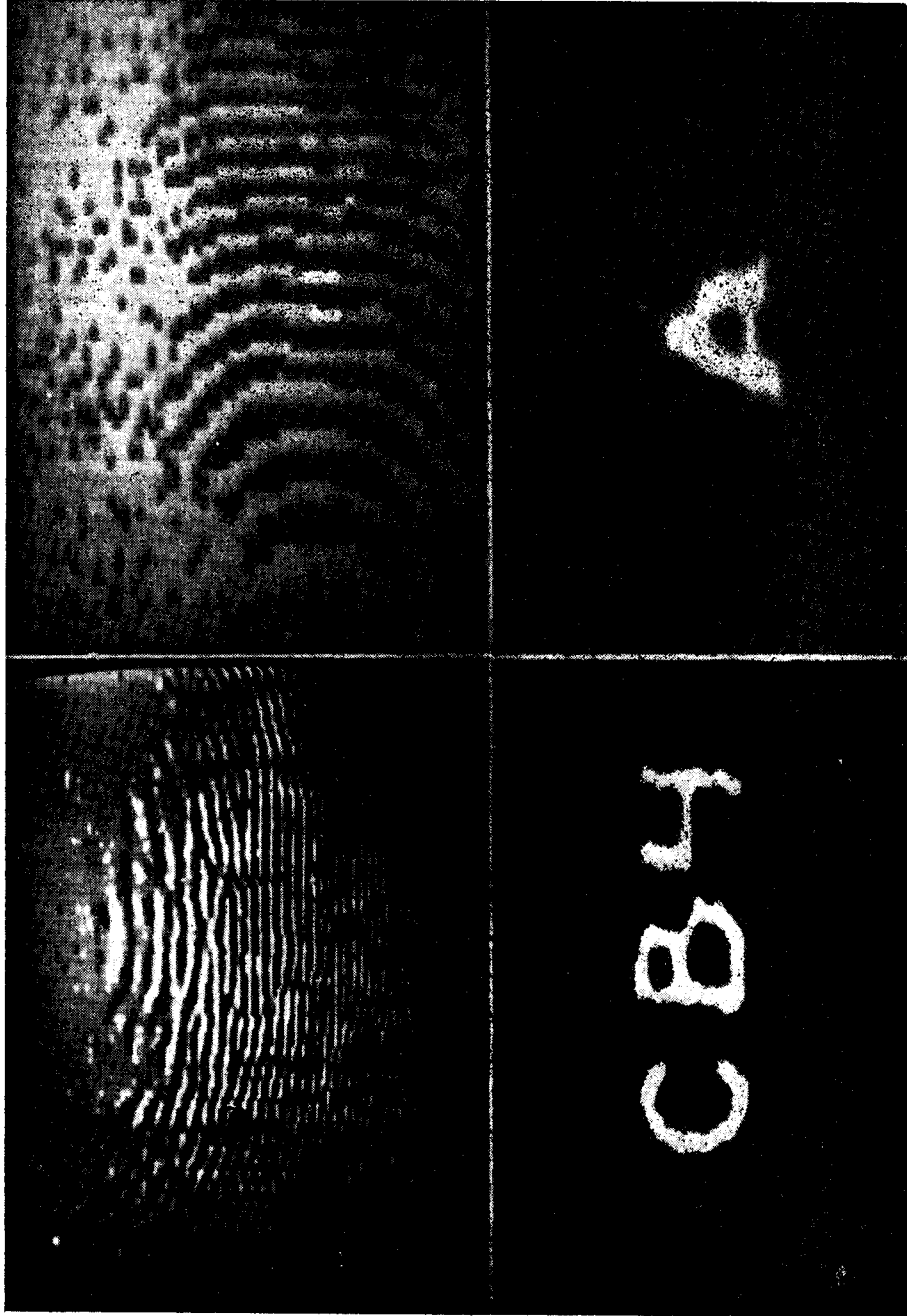


Рис. 5. Фотографии голограмм и восстановленных из них изображений.

эксперимент, и позволяет корректировать его условия в реальном времени. Подобные системы доказывают жизнеспособность цифровой голографии и приближают время практического внедрения многообещающих методов СВЧ и акустоголографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голография. Методы и аппаратура. Под ред. Гинзбурга В. М., Степанова Б. М. М., «Сов. радио», 1974, гл. 6, с. 179—212.
2. Ярославский Л. П., Мерзляков Н. С. Методы цифровой голографии. М., «Наука», 1977.
3. Федоров Б. С., Эльман Р. И. Цифровая голография. М., «Наука», 1976.

Поступила в редакцию 11 июля 1977 г.

УДК 531.788.7

Б. А. ГУДКОВ, Э. А. КУПЕР, А. С. МЕДВЕДКО,
В. И. НИФОНТОВ
(Новосибирск)

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВАКУУМА НА НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-4

Для экспериментов на встречных электрон-позитронных пучках в Институте ядерной физики СО АН СССР создан комплекс накопителей заряженных частиц. Вакуум в камере накопителя поддерживается магнитоэридными насосами (МРН), число которых измеряется десятками, а на накопителе ВЭПП-4 [1] превосходит 200. Давление в объеме МРН и потребляемый им ток в широкой области связаны линейной зависимостью. На рис. 1 приведена зависимость давление — ток для МРН, входящего в вакуумную систему ВЭПП-4. Загиб характеристики в области малых давлений объясняется токами утечки, имеющими разброс от одного МРН к другому. Как видно из рис. 1, измеряя токи в пределах от $2 \cdot 10^{-7}$ до $2 \cdot 10^{-2}$ А, можно контролировать давление в пределах от 10^{-10} до 10^{-5} тор. Измерение токов более 1 мА в большинстве случаев не представляет интереса, так как для получения достаточного времени жизни циркулирующего пучка в камере

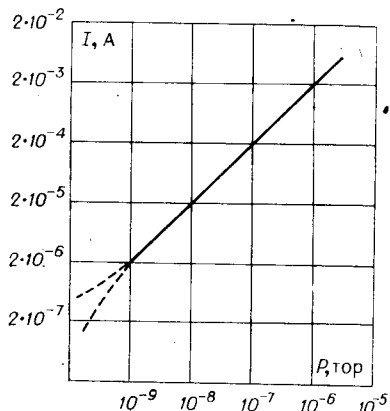


Рис. 1.

накопителя необходимо иметь давление $\sim 10^{-8}$ тор [1]. К точности измерений не предъявляется высоких требований, так как часто достаточно знать лишь порядок величины давления. От одного источника напряжением до 7 кВ обычно питается группа МРН. Один электрод МРН конструктивно заземлен, поэтому измерять ток МРН можно только в высоковольтной цепи. Первичная откачка от атмосферного давления производится дополнительными «черновыми» насосами, а вывод основных МРН на рабочий режим, сопровождающийся большими токами, — подачей питания на МРН в обход измерительной цепи. Разработана много-