

Г-944

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИИ

*На правах рукописи*

В. А. ГУЛЯЕВ

**ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ**

05.11.16. Информационно-измерительные системы

*Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

Дубна — 1973

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория нейтронной физики

Лаборатория ядерных реакций

На правах рукописи

В.А. Гуляев

ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ  
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

05.11.16. Информационно-измерительные  
системы

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

107 Б 01506  
Книжка  
в связи  
12.01.74. Аккурат

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

ДУБНА - 1973

Работа выполнена в Физико-энергетическом институте

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор Л.А.Маталин

Официальные оппоненты:

доктор технических наук И.В.Штраух

кандидат технических наук В.Н.Замрий

Будущее предприятие: Созданный научно-исследовательский институт приборостроения

Защита диссертации состоится 26 " III " 197 г.  
в 16 часов на заседании Ученого совета ДНФ и ЛЯР ОИЯИ  
в конференц-зале лаборатории ядерных реакций (г. Дубна Мос-  
ковской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан 22 " III " 197 г.

Ученый секретарь Совета И.С.  
Э.Н.Каржавина

Совершенствование ядерных энергетических установок требует уточнения расчетных рекомендаций в различных областях теплофизики и гидродинамики как в стационарных, так и в динамических режимах. Это приводит к созданию сложных и дорогих экспериментальных установок, на которых во время эксперимента необходимо получать большой объем информации с минимальными погрешностями. Поэтому вопросы организации измерений, анализа влияния случайных факторов на ошибки отдельных измерений или результатов эксперимента в целом, проектирования измерительных систем, планирования эксперимента и методов обработки данных становятся решающими.

Сложность и взаимосвязанность наблюдаемых явлений, их статистический характер, большое число физических параметров приводят к тому, что количество датчиков на теплофизическом стенде достигает нескольких десятков или даже сотен, и поэтому лишь с помощью многоканальной аппаратуры можно провести измерение и первичную обработку данных в приемлемый отрезок времени.

Создание такой аппаратуры, накопление и обобщение опыта её использования в эксперименте является первоочередной задачей, и её разрешению посвящена данная работа.

Во введении приводятся результаты обследования большого количества теплофизических стендов, из которых можно сделать вывод о том, что наиболее частой и трудоемкой (проводимой с малой погрешностью в условиях больших помех и

т.д.) операцией является измерение статических и изменяющихся во времени значений температуры.

Следовательно, основное внимание при проектировании систем для теплофизических стендов должно быть уделено температурным измерениям. В качестве датчика при этом используются, как правило, термопары.

Во введении проведен анализ недостатков существующих методов измерения температуры на теплофизических стендах и показано, что заменой отдельных вторичных приборов измерительными системами сбора данных (ИССД) можно избежать многих из них.

Кроме большого количества измерительных каналов, такие системы должны обладать малой погрешностью измерения, достаточно высоким быстродействием, помехозащищенностью и низким порогом чувствительности. При этом данные должны быть представлены в виде, удобном для ввода в ЭВМ.

Первая глава посвящена анализу структур измерительных систем сбора данных и принципам определения точности таких систем. На основе определения метода измерения и структурной схемы метода измерения, понятия границы раздела формулируется задача работы как создания ИССД для восприятия и первичной обработки измерительной информации с наименьшим числом границ раздела. При этом искажения на границах раздела для получения требуемой точности измерения и удобства пользования должны быть минимальными.

При такой постановке задача решается на основе анализа погрешностей отдельных измерительных преобразователей

и создания оптимальной структуры, объединяющей выбранные типы преобразователей.

Проведенная автором классификация ИССД по ряду признаков позволила показать, что наиболее привлекательными для теплофизического эксперимента системами являются следующие:

1. Система с многократным использованием канала обработки. Данные на выходе представляются в цифровой форме. Между датчиками и АЦП отсутствуют нормирующие преобразователи (НП). Коммутируются сигналы низкого уровня (милливольты).

2. Параллельная система с непрерывной регистрацией.

3. Система с многократным использованием канала обработки для получения данных в цифровой форме. Между датчиками и АЦП включены НП. Коммутируются сигналы среднего уровня (вольты).

Дальнейшее усложнение задач экспериментальной теплофизики приводит к тому, что для их решения требуется применение всех трех типов измерительных систем. Однако при этом очевидны определенные недостатки: отсутствие синхронизации получения данных, избыточность оборудования и трудности его эксплуатации. Устранение этих недостатков возможно при оснащении экспериментальных стендов комбинированными ИССД.

Отличительными особенностями таких систем, по мнению автора, являются:

- переход от аппаратных методов управления работой системы к программным методам с сохранением метрологичес-

них свойств, присущих системам с аппаратным методом управления;

- анализ полученных данных в реальном времени;
- ввод и изменение программы ЭВМ посредством диалога человек-машина;
- высокая надежность, обусловленная использованием интегральных TTL - элементов.

Примеры такой системы может служить АСВТ на базе процессора И-6000. Однако выпускаемые промышленностью измерительные блоки АСВТ по метрологическим характеристикам не отвечают требованиям теплофизического эксперимента. На основе опыта применения аппаратуры на стендах в этой главе формулируются основные требования к коммутаторам сигналов низкого уровня (КСНУ), коммутаторам сигналов среднего уровня (КССУ), интегрирующим АЦП, быстродействующим АЦП, линеаризаторам, т.е. тем блокам, которые в первую очередь определяют метрологические характеристики ИССД в целом.

Известно, что причиной ошибок преобразования, а следовательно, и измерения являются два рода факторов: факторы, вызывающие аппаратурную погрешность, и факторы, вызывающие методическую погрешность преобразования. Анализ частных аппаратурных погрешностей является важнейшим моментом при проектировании измерительной аппаратуры. В результате этого анализа все частные погрешности, возникающие в блоках ИССД, должны быть просуммированы в зависимости от степени корреляции между ними так, чтобы окончательный результат можно было представить в достаточно простом виде, а именно:

в виде двучленной формулы, которую для относительной погрешности можно записать следующим образом:

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_s \frac{X_n}{X_2}$$

где  $\gamma_0$  - относительная погрешность нуля,  
 $\gamma_s$  - относительная погрешность чувствительности,  
 $X_n$  - измеряемая величина,  
 $X_2$  - верхнее значение диапазона измерительного преобразователя.

Поскольку  $\gamma_0 \cdot X_2$  и  $\gamma_s \cdot X_n$  носят случайный характер, то для их нахождения требуется статистическое описание, применение статистических законов суммирования и проведение статистических испытаний аппаратуры. По мнению автора, наиболее приемлемым для экспериментальных ИССД является понятие энтропийной погрешности, введенное в работе / I /. Тогда расшифровка двучленной формулы

$$\Delta = \pm 0,1\% X_n \pm 0,05\% X_2 \pm 1 \text{ знак}$$

характеризующей канал гипотетической ИССД, будет: ошибка канала системы не превышает  $\pm 0,1\%$  от измеряемой величины,  $\pm 0,05\%$  от полной шкалы,  $\pm 1$  знак младшего разряда для 95% от всех измерений, проведенных в заданных границах изменения внешних условий. В настоящее время не всегда удается определить каждую частную погрешность в энтропийном смысле, но именно внедрение многоканальных измерительных систем в практику проектирования измерительных преобразователей может этому помочь.

Автор во многих случаях нахождения статистических за-

конов распределения для частных погрешностей и корреляционных связей между ними использовал спроектированные ИССД.

Поскольку каналы ИССД отличаются по виду измеряемых величин, диапазону, порогу чувствительности, величине воздействующей на канал помехи, требуемой величине погрешности и т.д., то полная характеристика точности ИССД должна представить из себя столбец, состоящий из двучленных формул. Причем первый член отражает среднюю погрешность по идентичным каналам от измеряемой величины, а второй — среднюю погрешность по идентичным каналам от полного предела измерения на данных каналах.

Вторая глава посвящена вопросам помехозащищенности и помехоустойчивости ИССД.

Несмотря на то, что термометрические цепи относительно просты, сигналы, проходя по ним, могут быть в сильной мере искажены внешними помехами, и погрешность измерения превысит допустимый уровень. Практически приходится учитывать следующие явления, которые могут вызвать искажение полезного сигнала в термометрической цепи:

1. Разность потенциалов переменного и постоянного токов, возникающая в измерительной цепи из-за наличия гальванической связи между измерительным контуром и каким-либо источником электрической мощности.

2. Электромагнитное поле, окружающее мощные электрические нагреватели, кабели и другое электротехническое оборудование теплофизических установок.

3. Температуры и температурные градиенты во входных

цепях.

4. Высокочастотные электромагнитные поля, которые возникают при переходных процессах в мощных электрических цепях.

5. Шумы входных каскадов измерительной аппаратуры. Далее в главе проведена классификация датчиков в зависимости от метода их электрического соединения с оборудованием стенда, классификация вторичных приборов в зависимости от того, как у них выполнен вход.

Соединение двухпроводной или трехпроводной линий датчиков и приборов приводит к образованию различных контуров датчик-линия-прибор. В дальнейшем проведен анализ того, как эти контуры устойчивы к действию продольных помех постоянного и переменного тока. Совместимыми считаются такие датчики и такие приборы, когда при их соединении погрешность измерения от действия продольной помехи не превышает заданной величины.

Автором составлена таблица совместимости различных типов датчиков и различных типов входов приборов и сделан следующий вывод: для ИССД с многократным использованием канала без нормирующих ИП, когда возможны различные конфигурации датчиков на любом из измерительных каналов, вход группового измерительного преобразователя необходимо выполнять незаземленным и экранированным. В случае применения ИП для каждого датчика их входы следует выполнять согласно таблице совместимости.

Далее проанализированы условия возникновения и мето-

ды подавления поперечной помехи постоянного и переменного токов. Подробно проанализировав метод интегрирования, который является оптимальным при измерении постоянного сигнала в присутствии помехи известной частоты. Однако для получения бесконечного значения помехоустойчивости интегрирующего преобразователя на определенных частотах имеются следующие ограничения:

1. Конечный динамический диапазон ИП.
2. Нелинейность функции чувствительности ИП.
3. Влияние переходного процесса в динамическом режиме работы ИП.
4. Вариация периода помехи по случайному закону.

Последняя причина является наиболее серьезной. Для того, чтобы её действие свести к минимуму, автором рассмотрены аппаратные и программные методы, позволяющие добиться высокой помехоустойчивости ИП, несмотря на наличие девиации частоты помехи.

К аппаратным методам можно отнести:

- увеличение времени интегрирования,
- непрерывная подстройка периода интегрирования к периоду помехи с одновременным изменением масштаба преобразования,
- метод двух равных периодов интегрирования, сдвинутых по фазе на  $180^\circ$ .

Сущность программных методов заключается в том, что с помощью быстродействующего АЦП, способного брать мгновенные отсчеты, и ЭВМ реализуются цифровые фильтры с различ-

ным быстродействием и различным подавлением помехи. Приведены таблицы функций режекции наиболее приемлемых для ИССД, применяемых в теплофизическом эксперименте.

В этой главе рассмотрены также вопросы обеспечения помехоустойчивости ИССД с нормирующими преобразователями и групповым АЦП при измерении динамических параметров теплофизических процессов. Помехоустойчивость от продольных помех в таких системах может быть обеспечена в результате гальванического разделения входа и выхода измерительного канала

1. На уровне ИП,

2. На уровне АЦП.

Существующие схемы для гальванического разделения на уровне ИП не позволяют получить погрешность нелинейности ИП меньше, чем  $\pm(0,05 - 0,1)\% U_{\text{полн}}$ . Автором предложен метод, предполагающий использование частотной модуляции для передачи сигнала через цепь гальванического разделения, что позволило значительно снизить как погрешность нелинейности, так и температурную погрешность функции чувствительности и строить ИП класса 0,01 - 0,02 для диапазона температур 15 - 35°C.

Появление новых элементов для коммутаторов, в частности, реле на основе магнитоуправляемых контактов, способных выдерживать относительно большие напряжения (вплоть до 250 вольт), позволяет реализовать ИССД с гальваническим разделением на уровне АЦП. С точки зрения автора, этот метод позволяет проектировать недорогие ИССД среднего быстродействия (до 500 измер/сек), в которых полностью устрани-

на погрешность, связанная с устройством гальванического разделения входа и выхода измерительных каналов системы.

В основе метода лежит отказ от передачи через устройство гальванического разделения аналогового сигнала и заключение на момент измерения всего измерительного тракта в изолированный от земли экран, находящийся под потенциалом продольной помехи  $V_0$ . Причем, экраны, в которые заключены измерительные преобразователи ИП  $i$ , всегда находятся под потенциалом продольной помехи  $V_{0i}$ , а экран АЦП находится под потенциалом экрана того ИП, который подключен к нему в данный момент. Через разделительную цепь в этом случае передается значение кода, полученного по окончании или во время преобразования аналоговой величины в код. При этом достигается полное исключение погрешности разделительной цепи.

Необходимым условием для осуществления этого принципа должно быть:

1. Наличие точных и быстродействующих коммутирующих элементов для ИССУ, способных выдерживать максимальное напряжение продольной помехи  $V_0$  макс.

2. Наличие экранированного АЦП с незаземленным входом.

В заключение главы автором рассмотрены вопросы обеспечения помехоустойчивости ИССД, предназначенных для измерения динамических параметров температурного поля от поперечных помех. В этом случае алгоритм интегрирования не является оптимальным, так как не позволяет получить достаточно быстрого действия системы. Единственным способом,

позволяющим снизить действие поперечной помехи на результат измерения, является низкочастотная фильтрация. Фильтры включаются в каждый измерительный канал так, чтобы работа коммутатора, осуществляющего временное разделение АЦП, не вызвала в них переходных процессов. Автором рассмотрены различные фильтры второго порядка:

1. Фильтр Баттерворта.
2. Фильтр с критическим затуханием.
3. Фильтр с линейно-фазовой характеристикой.
4. Фильтр с максимальной степенью устойчивости, а также RC-фильтр.

Каждый фильтр обладает определенными положительными и отрицательными качествами и может быть включен в измерительный канал системы в соответствии с априорной информацией об изучаемом явлении. В данной работе проведено сравнение вышеупомянутых фильтров с точки зрения обеспечения заданной помехоустойчивости от помехи с известной частотой  $f_n$  и минимизации среднеквадратичного значения ошибки на выходе фильтра при подаче на его вход случайного стационарного сигнала с автокорреляционной функцией аппроксимированной зависимостью:

$$R(\tau) = D_x \cdot e^{-\omega_p |\tau|}$$

Проведенное сравнение позволяет сделать следующие выводы: при обеспечении одинаковой помехоустойчивости измерительного канала от поперечной помехи с частотой, как правило, равной 50 гц, наименьшую среднеквадратичную ошибку можно получить при применении фильтра Баттерворта. Наихудшим с



точки зрения обеспечения заданной помехоустойчивости и минимума среднеквадратичной ошибки является однозвенный RC-фильтр.

Третья глава диссертации посвящена описанию спроектированной автором ИССД, применяемой для измерения статических параметров температурного поля.

Система состоит из следующих блоков:

- коммутатора сигналов низкого уровня (КСНУ),
- интегрирующего аналого-цифрового преобразователя,
- линейризатора характеристик датчиков (Л),
- частотомера,
- устройства вывода данных,
- блока введения поправки на температуру холодных спаев термопар (БХС),
- устройства управления (УУ),
- электронных часов (ЭЧ),
- наборного поля (НП),
- блока питания,
- исполнительных механизмов устройства вывода.

В этой главе подробно рассмотрены вопросы проектирования и проведен анализ погрешностей блоков, определяющих метрологические свойства системы в целом: КСНУ, построенного на электромагнитных реле; интегрирующего АЦП, выполненного на основе преобразователя напряжение-частота; цифрового линейризатора, производящего линейризацию характеристик датчиков в реальном времени.

Автором было разработано несколько систем, построен-

ных по схеме коммутатор-АЦП. Они рассчитаны на подключение от 100 до 200 датчиков и имеют следующие метрологические характеристики:

- диапазоны 20 мВ, 40 мВ,
- единица дискретности - 5 мкВ и 10 мкВ,
- погрешность измерения  $\Delta_0 = 0,02\% U_{\text{полн}}$ ,
- температурная стабильность нуля -  $0,1 \text{ мкВ}/^\circ\text{C}$ ,
- температурная стабильность функции чувствительности  $0,002\%/^\circ\text{C}$ ,
- помехоустойчивость :
  - от продольных помех на постоянном токе  $\geq 120 \text{ дБ}$ ,
  - от поперечных помех с  $f_n = 50 \text{ гц} > 46 \text{ дБ}$ .

В настоящее время эти системы успешно эксплуатируются на теплофизических стендах ФЭИ.

В четвертой главе рассмотрены разработанные автором ИССД, предназначенные для измерения динамических параметров температурного поля. Эти системы спроектированы так, что их можно рассматривать как терминалы или устройства связи с объектом для ЭВМ третьего поколения (например, АСВТ М-6000). Поскольку в набор агрегатных модулей АСВТ входят устройства связи с объектом средней точности, то объединение высокоточных и высокочувствительных ИССД с АСВТ позволяет решать широкий круг задач, связанных с измерением, регистрацией, хранением и обработкой результатов теплофизического эксперимента. Во второй главе автором проанализированы принципы обеспечения помехоустойчивости измерительных каналов от продольных и поперечных помех. В

данной главе можно видеть их практическую реализацию. Так, для экспериментов, в которых от системы требуется среднее быстродействие, ИССД построены с гальваническим разделением на уровне АЦП. Для этих систем автором разработаны нормирующие преобразователи, имеющие следующие характеристики:

- два предела измерения - 20 мВ, 50 мВ - с возможностью компенсации постоянной составляющей на полный предел,
- входное сопротивление с замкнутой ОС  $R_{вх} \geq 50$  ном,
- выходной сигнал (0 ÷ 5) В, (0 ÷ 2) мА,
- коэффициент усиления усилителя МДМ с разомкнутой ОС  $A \approx 10^6$ ,
- коэффициенты усиления с замкнутой ОС  $K_u = 100, 250$  установлены с погрешностью  $\sqrt{K_u} = \pm 0,02\%$ ,
- температурная стабильность  $K_u$  в диапазоне температур (15 - 45)°С  $\sqrt{T_c} = \pm 0,005\%/^{\circ}\text{C}$ ,
- погрешность нелинейности  $\Delta \leq \pm 0,02\% U_{\text{полн}}$ ,
- абсолютное значение температурного дрейфа нуля  $\Delta = (\pm 0,2 \pm \frac{20}{K_u}) \text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$
- частота среза фильтра с АЧХ критического затухания  $f_{\text{ср}} = 8 \text{ гц} \pm 20\%$ ,
- погрешность, обусловленная шумами при указанной АЧХ фильтра: на шкале 20 мВ  $\Delta_{\text{ош}} \leq \pm 0,01\% U_{\text{полн}}$   
на шкале 50 мВ  $\Delta_{\text{ош}} \leq \pm 0,005\% U_{\text{полн}}$ ,
- ослабление поперечной помехи с  $f_n = 50$  гц при указанной АЧХ фильтра:  $P_{уп} = 40$  дБ,
- ослабление продольной помехи: на постоянном токе  $P_{yo} \geq 140$  дБ, на переменном токе с  $f_n = 50$  гц.  $P_{yo} \geq 110$  дБ

при  $R_{\text{разо}} = 1$  ном.

Коммутатор системы выполнен на электромагнитных язычковых реле типа РЭС-44 и способен переключать 16 каналов. Адресная логика коммутатора осуществляет выборку необходимого канала в нужный момент времени. В системе осуществляется последовательная выборка каналов. У оператора есть возможность назначить верхнюю и нижнюю границы массива датчиков и выбрать скорость коммутации из ряда 500, 250, 100, 50, 10 измер/сек.

Аналого-цифровой преобразователь системы для осуществления принципа гальванического разделения на уровне АЦП выполнен с "незаземленными" входами и помещен в изолированный от "земли" прибора экран. Для уменьшения числа связей между "заземленной" логикой и измерительной частью АЦП построен по конвейерно-циклическому методу.

В этой главе подробно проанализированы схемы и дан расчет погрешностей отдельных блоков АЦП, разработанного автором. В тех случаях, когда от ИССД требуется большее быстродействие и необходимость аналоговой регистрации данных, гальваническое разделение необходимо делать в НЧ. Описана спроектированная автором ИССД на 8 каналов. НЧ выполнен на основе преобразователей напряжение-частота с обратным преобразованием частоты в напряжение. Через устройство передается частотно-импульсная последовательность с частотой, пропорциональной входному сигналу. НЧ, построенный по такому принципу, имеет следующие метрологические характеристики:

- основные пределы измерения - 20 мВ, 50 мВ с возможностью компенсации на полный предел,

- входное сопротивление с замкнутой ОС  $R_{вх} \geq 100$  мом,

- выходной сигнал (0 ÷ 5) в (0 ÷ 2) мА,

- коэффициент усиления  $K_u = 100, 250$  установлен с погрешностью  $\int K_u = \pm 0,02\%$ ,

- температурная стабильность  $K_u$  в диапазоне температур (15 - 45)°С  $\int_{T^{\circ}C} \leq 0,005\%/^{\circ}C$ ,

- погрешность нелинейности  $\Delta_{н/нл} = \pm 0,01\% \mathcal{U}$  полн.

- абсолютное значение температурного дрейфа нуля  $\Delta_0 = 0,05$  мкВ/°С,

- частота среза фильтра с АЧХ Баттерворта  $f_{ср} = 8$  гц  $\pm 20\%$ ,

- погрешность, обусловленная шумами, при указанной АЧХ фильтра:

на шкале 20 мВ  $\Delta_{ш} \leq \pm 0,01\% \mathcal{U}$  полн.

на шкале 50 мВ  $\Delta_{ш} \leq \pm 0,005\% \mathcal{U}$  полн.

- ослабление поперечной помехи с  $f_n = 50$  гц при указанной АЧХ фильтра  $\Pi_{уп} = 40$  дБ,

- ослабление продольной помехи при  $R_{разб} = 1$  ком

на постоянном токе  $\Pi_{yo} \geq 140$  дБ,

на переменном токе с  $f_n = 50$  гц  $\Pi_{yo} \geq 110$  дБ.

Коммутатор системы выполнен на полевых транзисторах типа КП350. Максимальная скорость работы коммутатора -  $10^4$  переключ./сек. АЦП построен по конвейерно-циклическому методу и позволяет квантовать процесс на 2048 уровней при скорости преобразования 88 мксек, т.е. 8 мксек/бит.

Несомненными достоинствами такого АЦП являются:

- малая величина динамической погрешности,

- исключение громоздкой схемы, состоящей из сетки высокоточных сопротивлений и ключей, которая необходима в АЦП поразрядного уравнивания,

- высокая помехоустойчивость АЦП от продольных помех в случае, если его схема заключается в изолированный от "земли" экран.

Информация с обеих систем представлена в виде для записи в ОЗУ ЭВМ типа М-6000 либо по каналу прямого доступа к памяти (КПДП), либо по программному каналу.

Для измерения параметров процессов, спектры частот которых лежат в области от нуля до нескольких килогерц, автором спроектирована система с параллельной структурой, которая может работать автономно с каким-либо быстродействующим регистрирующим прибором. При необходимости иметь цифровые отсчеты система может быть подключена к расширителю коммутатора АСВТ.

Метрологические характеристики одного канала такой системы:

- 12 пределов измерения: от 25 мкВ до 100 мВ,

- входное сопротивление  $R_{вх} \geq 100$  мом,

- выходной сигнал  $\mathcal{U}_{полн} = \pm 5В, \pm 25$  мА,

- коэффициенты усиления от  $K_u = 50$  до  $K_u = 2 \cdot 10^5$  установлены с погрешностью  $\int K_u = \pm 0,05\%$ ,

- погрешность нелинейности  $\Delta_{н/нл} = \pm 0,1\% \mathcal{U}$  полн.

- температурный дрейф нуля  $\Delta_0 = (\pm 0,1 \pm 100/K_1 \cdot K_2)$  мкВ/°С

- 5 типов АЧХ фильтра,
- ослабление поперечной помехи с  $f_{п} = 50$  гц при АЧХ критического затухания с  $f_{ср} = 16$  гц  $\Pi_{ул} = 20$  дб,
- абсолютное значение шума при указанной АЧХ  $\Delta_{ш} = 2$  мкв от пика до пика,
- ослабление продольной помехи при  $R_{разб} = 1$  ком на постоянном токе  $\Pi_{уо} = 140$  дб, на переменном токе с  $f_{п} = 50$  гц  $= 100$  дб.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Основной итог работы автора, изложенной в диссертации, сводится к следующему:

1. Автором разработаны некоторые вопросы методики измерений параметров статических и динамических температурных полей в теплофизическом эксперименте.

2. Рассмотрено влияние продольных и поперечных помех на результаты измерений. При этом автором разработаны оригинальные методы обеспечения помехоустойчивости измерительных преобразователей. Показано, что обеспечение помехозащищенности возможно лишь при условии комплексного решения вопросов, связанных с выбором электротехнического оборудования стендов, прокладкой измерительных линий и созданием помехоустойчивой измерительной аппаратуры.

3. Автором выполнена разработка основных измерительных блоков системы сбора данных - ИССД, построенной по схеме "коммутатор сигналов низкого уровня - интегрирующий АЦП". Показано, что на отечественных элементах можно строить вы-

сокачественные коммутаторы сигналов низкого уровня, обладающие малым смещением нулевого уровня в замкнутом состоянии, достаточно большим сопротивлением и малой проходной емкостью в разомкнутом состоянии и достаточной помехоустойчивостью при числе коммутируемых трехпроводных каналов вплоть до 200.

Интегрирующий АЦП системы построен на основе преобразователя напряжение-частота (ПНЧ). Показано, что такие преобразователи вполне отвечают требованиям получения высокой разрешающей способности, высокого входного сопротивления, малого абсолютного значения единицы дискретности, а также малых погрешностей нелинейности и коэффициента преобразования, связанных с изменением окружающих условий.

4. В диссертации рассмотрены основные методы построения многоканальных помехоустойчивых систем для измерения динамических параметров температурного поля.

Показано, что при создании систем среднего быстродействия (до 500 измер/сек) гальваническое разделение входа и выхода эффективнее делать на уровне АЦП.

Для такой системы автором разработаны схемы нормирующих измерительных преобразователей, коммутатора, быстродействующего АЦП с изолированным от "земли" входом.

5. Для минимизации динамической погрешности измерения автором проведен анализ оценок корреляционных и спектральных функций, получаемых в различных теплофизических экспериментах. На основе этих оценок выполнен расчет значений среднеквадратичной погрешности при пропускании процесса с

заданной корреляционной функцией через фильтр второго порядка.

Проведен расчет параметров активных фильтров второго порядка и определены области применения фильтров, имеющих АЧХ Баттерворта, критического затухания, линейно-фазовые и с максимальной степенью устойчивости.

Синтезированы активные фильтры на основе интегральных операционных усилителей, реализующие перечисленные выше АЧХ.

6. Для быстродействующих систем сбора данных (до  $10^4$  измер/сек) автором разработан измерительный преобразователь с гальваническим разделением входа и выхода и с малой погрешностью нелинейности  $\Delta_{н. макс} \leq 0,01\% \text{ /полн}$ , коммутатор на МОП-транзисторах и АЦП, реализующий конвейерно-циклический метод поразрядного уравнивания.

7. Для регистрации процессов в области частот  $\Delta f = (0 \div 5)$  кГц автором спроектирована 3-х канальная измерительная система.

8. Разработанные автором системы сбора данных допускают совместную работу с ЭВМ третьего поколения (например, АСВТ И-6000). При этом обращение к процессору ЭВМ осуществляется либо через канал прямого доступа к памяти (КПДП), либо через программный канал посредством интерфейсных карт.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /6 - 14/ и докладывались автором на Всесоюзном научно-техническом совещании о путях развития цифровой измерительной техники в 1969 году.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. Л., "Энергия", 1968.
2. Шенброт И.М., Гинсбург М.Я. Расчет точности систем централизованного контроля. М., "Энергия", 1970.
3. Кончаловский В.Ю. и др. Электрические измерительные преобразователи. Под ред. Харченко Р.Р. М-Л., "Энергия", 1967.
4. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М., "Мир", 1972.
5. Харкевич А.А. Борьба с помехами. М., "Наука", 1965.
6. Субботин В.И., Сорокин Д.Н., Цыганок А.А., Гуляев В.А. Экспериментальное исследование переноса тепла при кипении в условиях свободной конвекции. Препринт ФЭИ-266, Обнинск, 1971.
7. Гуляев В.А. Усилитель постоянного тока с модулятором на МОП-транзисторе. Тезисы докладов научно-технического совещания о путях развития цифровой измерительной техники. Г. Краснодар, 1969.
8. Алещенков В.Б., Григоренко Н.П., Гуляев В.А., Маталин Л.А., Тишечкин А.С. Автоматические измерительные системы. Препринт ФЭИ-278. Обнинск, 1972.
9. Григоренко Н.П., Гуляев В.А., Тишечкин А.С. Линеаризатор характеристик датчиков. Тезисы докладов научно-технического совещания о путях развития цифровой измерительной техники. Г. Краснодар, 1969 г.
10. Гуляев В.А., Тишечкин А.С. Сохранение помехоза-

цифренности цифрового вольтметра от наведенных помех при изменении частоты сети. Тезисы докладов научно-технического совещания о путях развития цифровой измерительной техники. Г. Краснодар, 1969 г.

11. Алещенков В.Б., Григоренко Н.П., Гуляев В.А., Маталин Л.А., Тишечкин А.С. Система сбора данных. ПТЭ, № 1, 1971.

12. Алещенков В.Б., Григоренко Н.П., Гуляев В.А., Маталин Л.А., Тишечкин А.С. Автоматическая система сбора данных. Отчет ФЭИ ТФ-643. Обнинск, 1972.

13. Гуляев В.А. Интегрирующий цифровой вольтметр постоянного тока. Тезисы докладов научно-технического совещания о путях развития цифровой измерительной техники. Г. Краснодар, 1969.

14. Гуляев В.А., Григоренко Н.П., Тишечкин А.С. Интегрирующий цифровой милливольтметр постоянного тока. Препринт ФЭИ-379. Обнинск, 1972.

ГБ 01506 от 22/1-74 г. Объем 1 усл.п.л. Тираж 140 экз.  
Бесплатно Заказ № 71

Отпечатано на ротапринте ФЭИ, февраль 1974 г.