

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

V.T. Kondratov

## REDUNDANT MEASUREMENTS THEORY

*The paper describes a structure of the redundant measurements theory, essence, the basic concepts and some definitions of this theory.*

*Прогресс науки и техники в течение 20 последних лет XX века обусловил бурное развитие высокочувствительных полупроводниковых сенсоров, биосенсоров и вторичных измерительных преобразователей (ИП) с нелинейными и, в общем случае, нестабильными функциями преобразования (ФП). Это стало пред-посылкой к созданию новой стратегии высокоточных измерений физических величин (ФВ) при нелинейной и нестабильной ФП сенсора и / или ИП, при сохранении их высокой чувствительности.*

*Изложена структура теории избыточных измерений, сущность, основные понятия и некоторые определения, касающиеся данной теории.*

© В.Т. Кондратов, 2006  
УДК 621.317.088.8

В.Т. КОНДРАТОВ

## ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Важнейшей проблемой современной метрологии является разработка таких методов измерений и создание таких цифровых (микропроцессорных) измерительных приборов (ЦИП), информационно-измерительных и диагностических систем, которые обеспечивали бы высокую чувствительность и точность измерений, соизмеримую с точностью образцовых мер. Решение этой проблемы стало возможным после создания и развития теории и методов избыточных измерений [1–3]. Если теория безыбыточных измерений составляет первую ветвь, то теория избыточных измерений (ТИИ) составляет вторую ветвь в общей теории измерений. ТИИ представляет собой логическое обобщение и дальнейшее развитие накопленного опыта, знаний преимуществ и недостатков существующих видов и методов прямых измерений, известных путей и методов повышения точности измерений и создания высокоточных средств измерений. ТИИ направлена на решение задач линейного и нелинейного измерительного преобразования ФВ, метрологических задач, а также задач обеспечения системной метрологической надежности средств измерений и преобразований ФВ и т.д.

*Объектом исследования (ОИ) является новая стратегия измерений ФВ – стратегия избыточных измерений (ИИ). Создание ТИИ стало возможным благодаря использованию общенаучной методологии системного подхода, информативной избыточности и современных фундаментальных принципов.*

**Постановка задачи.** Задачей настоящей статьи является ознакомление ученых и специалистов в области метрологии и измерительной техники с сущностью разработанной ТИИ.

**Сущность ТИИ.** ТИИ – это система законов, принципов, методов, положений и усло-

вий, характеризующая новую стратегию измерений при нелинейной и нестабильной ФП сенсора и / или ИП, предлагающая новые пути измерительного преобразования величин разной физической природы и предсказывающая достижимые результаты по точности, быстродействию и системной метрологической надежности ИИ.

С другой стороны, ТИИ – это система научных знаний, объединенных общенаучной методологией системного подхода, и опирающаяся на ряд основополагающих законов и принципов. Кроме задач высокоточного измерения и линейного преобразования свойств, ТИИ решает задачи нелинейного преобразования свойств.

Главная задача ТИИ – обеспечение погрешности результата измерений соизмеримой с погрешностью образцовых мер. Это касается всех трех категорий измерительных задач: ИИ свойств исследуемых объектов и процессов; ИИ зависимостей свойств и зависимых свойств; ИИ характеристик исследуемых объектов и процессов, а также приращений свойств.

ТИИ включает в себя изложение [1]

общесистемных научных принципов и методов измерения, функционального (линейного и нелинейного) измерительного преобразования ФВ при нелинейной функции преобразования (НФП) сенсора и / или ИП;

учения об информативной избыточности и её использование для решения задач системной линеаризации и системной деформации общей ФП (ОФП) ЦИП при НФП сенсора и / или ИП;

закономерных связей между входными (контролируемой (КнФВ) и корректирующими (КрФВ)), выходными ФВ и параметрами ФП сенсора и / или ИП;

путей и методов повышения быстродействия, точности и метрологической надежности ИИ;

сущности методов и алгоритмов обработки, усреднения и фильтрации результатов промежуточных измерений;

новых методов и подходов к созданию структурно-избыточных сенсоров (биосенсоров, сенсоров одноразового действия, ИП и т. д.) с управляемыми параметрами;

новых методов и подходов к созданию ЦИП с автоматической коррекцией погрешностей результатов измерений и т. д.

ТИИ содержит научное изложение новой стратегии измерений, направленной на решение задач автоматической коррекцией погрешностей результатов измерений и нелинейных преобразований величин разной физической природы при нелинейной и нестабильной НФП сенсора (и / или ИП).

Автоматической коррекции подлежат постоянные или изменяющиеся во времени по неизвестному закону погрешности, прогрессирующие погрешности, погрешности, обусловленные старением и деградацией материалов чувствительных и конструктивных элементов сенсора (и / или ИП) в результате воздействия дестабилизирующих факторов внешней среды (температуры, влажности, давления, электрических и магнитных полей и т. д.) и др.

Создание ТИИ – весомое достижение отечественной метрологии вообще и академической науки Украины в частности.

ТИИ состоит из следующих составных частей (рис. 1): фундамент ТИИ; первоосновы и начала теории; основы и основные положения; математические модели методов избыточных измерений (МИИ); методы избыточных измерений и преобразований ФВ; принципы построения и базовые технические решения (структурные схемы) сенсоров, биосенсоров и ЦИП.

Рассмотрим вкратце основные составные части ТИИ.

#### **Методология системного подхода и фундамент ТИИ.**

Никакая теория не может быть создана без научно обоснованного фундамента и знаний современных общенаучных подходов к изучению физических систем. ТИИ изложена с позиций методологии системного подхода, т. е. как система научных взглядов и подходов к изучению естественных и искусственных физических систем (технических, биологических, биотехнических и т. д.). В ее основу положены принцип целостности исследуемой (статической или динамической) и нормировано изменяемой совокупности элементов и структур системы, принципы неразрывности, единства и вариабельности межэлементных связей и отношений, а также вариабельности связей и отношений с окружающей средой.

*Методологии системного подхода* – общенаучная методология, рассматривающая ОИ, в частном случае – сенсоры, ИП, измерительные каналы (ИК) или ЦИП, как сложные технические системы, состоящие из конечного числа структурных элементов, находящихся в определенных связях и отношениях друг с другом, служащих единой цели и выступающих как одно целое по отношению к окружающей среде [2].

Фундамент ТИИ составляют следующие основные принципы (рис. 1): преемственности знаний; системной инвариантности; системной информативной избыточности; системной линеаризации (или системного линейного измерительного преобразования ФВ), системной деформации (или системного нелинейного измерительного преобразования ФВ), симметрии, системной метрологической надежности (СМН), системного программно-алгоритмического обеспечения ИИ.

Принцип системной линеаризации формулируется следующим образом: „Если при измерении КнФВ известно аналитическое выражение НФП управляемого или неуправляемого сенсора или ИП (без или с дискретно изменяемыми во времени на малые значения нормированными параметрами), то всегда можно выбрать два и более рядов КрФВ, размеры которых взаимосвязаны между собой и с КнФВ по определенным правилам, и создать соответствующую математическую модель процесса линеаризации, решение которой обеспечивает получение линейной зависимости результата измерений от КнФВ в виде линейной ОФП” [2].

Системная линеаризация ОФП, при неизвестных текущих значениях параметров НФП сенсора и/или ИП, достигается путем создания информативной избыточности, инвариантных нелинейных измерительных преобразований ряда однородных или сопряженных ФВ (неизвестной и корректирующих) при исходных и нормировано изме-

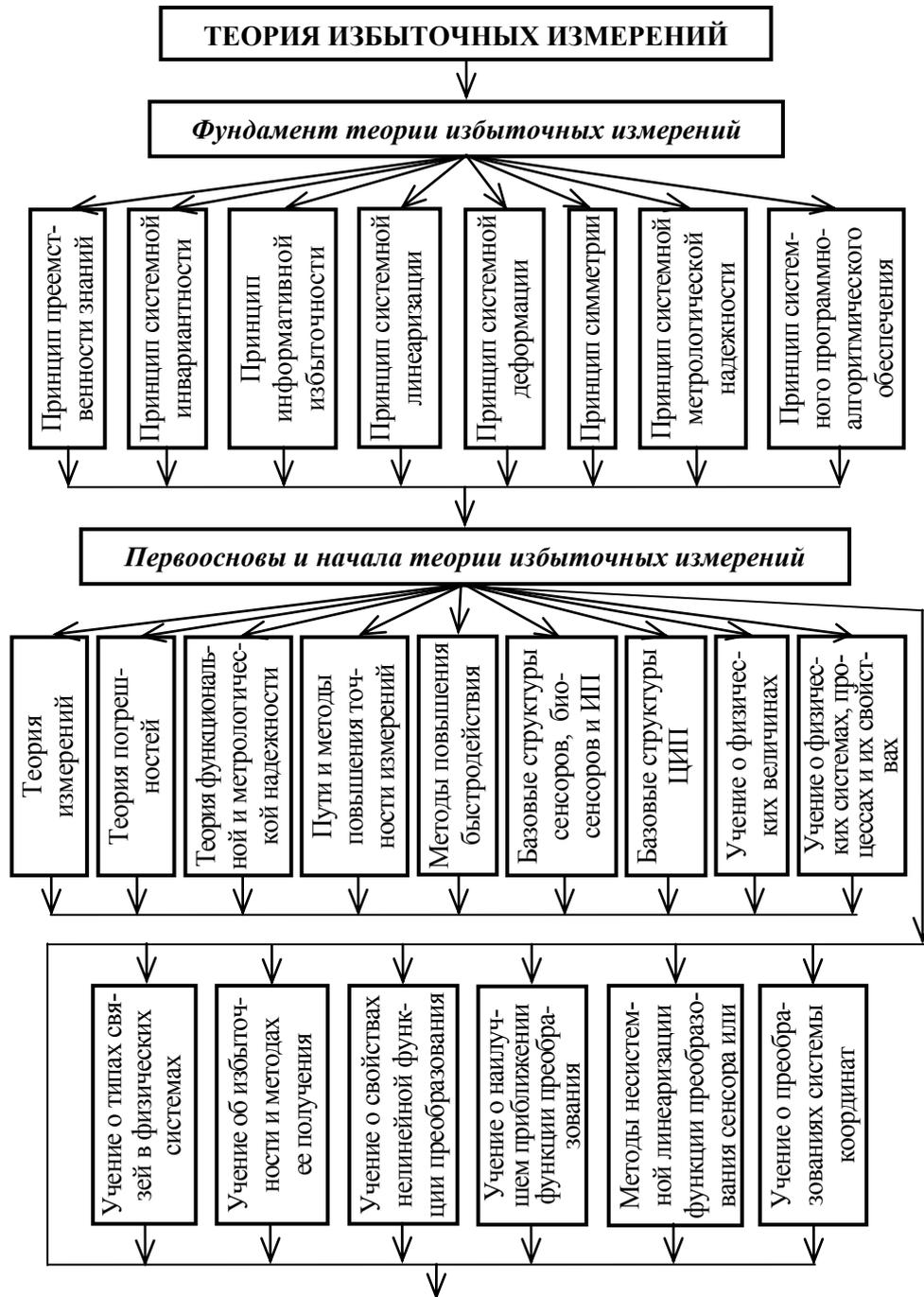


РИС. 1. Структура теории избыточных измерений



РИС.1. Продолжение

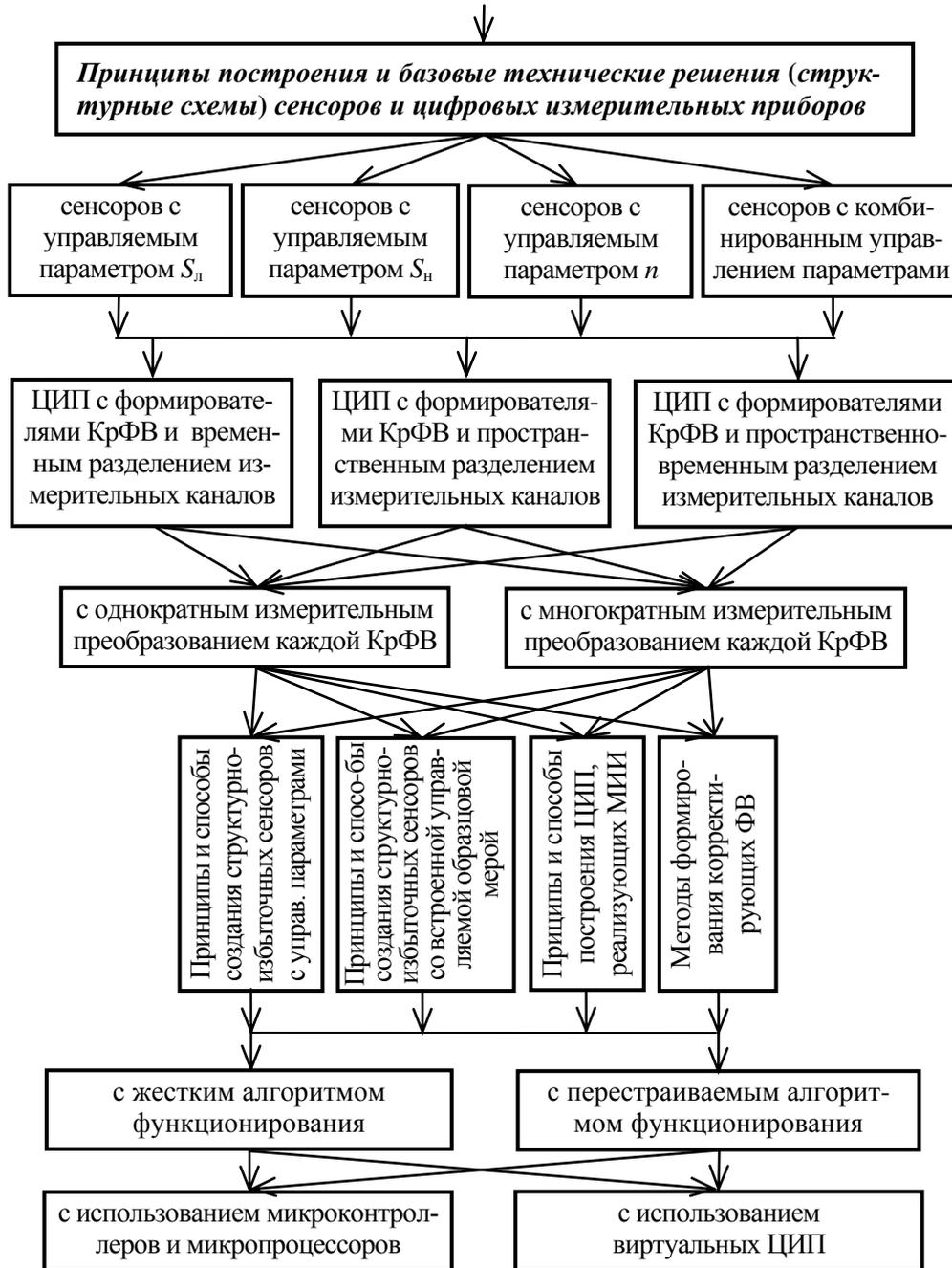


РИС. 1. Окончание

ненных значениях параметров НФП сенсора и / или ИП, и обработки образцовых и преобразованных (выходных) величин, а также заданных коэффициентов локальной линеаризации (КЛЛ) согласно линейного уравнения избыточных измерений.

Без системной линеаризации ОФП невозможна автоматическая коррекция погрешностей результата измерения КнФВ при нелинейной и нестабильной ФП сенсора и / или ИП.

#### **Первоосновы и начала ТИИ.**

Первоосновы ТИИ составляют (рис. 1): теория измерений; теория погрешностей; теория функциональной и метрологической надежности; существующие пути и методы повышения точности измерений; методы несистемной линеаризации НФП сенсора и / или ИП; методы повышения быстродействия; учение о преобразовании системы координат; базовые структуры сенсоров, биосенсоров, ИП и ЦИП; учение о физических величинах и т. д.

К началам ТИИ можно отнести учение об информативной избыточности и методах ее получения, учение о физических системах и типах связей между структурными элементами системы, учение о свойствах нелинейной функции преобразования и др.

Вся ТИИ построена на создании и использовании информативной избыточности. Информативная избыточность является тем стержнем, который пронизывает всю теорию. Под информативной избыточностью понимают такое информативное множество измененных свойств и параметров ОИ (например, сенсора и / или ИП), получаемое в процессе нормированного и направленного воздействия на их структурные (чувствительные, функциональные и конструктивные элементы), которое формально превышает необходимое количество для суждения о свойствах ОИ.

#### **Основы и основные положения ТИИ.**

ТИИ – это система научных знаний об эмпирических и теоретических законах восприятия, передачи и преобразования величин разной физической природы, о закономерных связях между этими величинами, о способах получения и использования разных видов информативной избыточности, о познании свойств сенсора (или ИП) через информативную избыточность сведений о нем, о способах преобразования системы координат, о многообразии математических моделей МИИ, способах построения и особенностях их решений, об уравнениях и методах ИИ при разных видах НФП сенсора и/или ИП, об основах создания бинарных приращений ФВ и способах их формирования, о КЛЛ, о способах формирования и условиях выбора КрФВ, о путях и принципах создания высокоточных ЦИП и функциональных ИП

с автоматической коррекцией погрешностей, о быстродействии ИИ т. д.

Поэтому основу ТИИ составляют: методология системного подхода, теория системной информативной избыточности, теория системной линеаризации и системной деформации, ТИИ при НФП сенсора и/или ИП, учение о закономерных связях между КрФВ, учение о бинарных приращениях, учение о КЛЛ, учение о методических по-

грешностях МИИ и путях их уменьшения, учение об эффективности автоматической коррекции погрешностей, учение о системной метрологической надежности и путях ее обеспечения и т. д. (см. продолжение рис. 1).

Основные положения ТИИ составляют вышеприведенные определения принципов и другие определения, положения и условия (об АЛ- и ФАЛ-методах системной линеаризации, о МИИ, о необходимых и достаточных условиях выбора оптимальных значений бинарных приращений и КЛЛ и т. д.).

#### **Обобщенные математические модели МИИ.**

Математическая модель МИИ – совокупность системы когерентных (связанных между собой) нелинейных уравнений величин с неизвестными, в общем случае, размерами параметров НФП сенсора и / или ИП, но известным ее видом, и результата решения данной системы, представленного в виде одного или нескольких уравнений ИИ. Последние описывают взаимосвязь контролируемой ФВ с преобразованными ФВ, КЛЛ и образцовыми мерами.

Математическая модель МИИ характеризует последовательность проведения во времени и пространстве определенного числа операций (тактов) измерений двух и более рядов КрФВ неизвестных или заданных значений и операций обработки полученных результатов промежуточных измерений.

Различают оптимизационные и аппроксимационные математические модели МИИ, которые отличаются между собой способами построения, путями и методами решения систем нелинейных уравнений величин, а также используемыми рядами КрФВ (см. рис. 1).

**Теоретические основы методов избыточных измерений и преобразований свойств, их возможности.** С позиции выполнения во времени и в пространстве операций восприятия, линейного и нелинейного измерительного преобразования КрФВ и обработки результатов промежуточных измерений имеет место следующее определение сущности МИИ.

МИИ – это методы многократного последовательного, параллельного, последовательно-параллельного, параллельно-последовательного или однократно-параллельного во времени и в пространстве восприятия, линейного или нелинейного измерительного преобразования трех и более рядов однородных и / или сопряженных КрФВ в соответствии с составленными математическими моделями процессов формирования и измерений КрФВ при заданном виде модельной ФП сенсора и / или ИП (или ИК в целом), с последующей обработкой результатов промежуточных измерений согласно уравнению избыточных измерений или по уравнению числовых значений.

Данные методы представляют собой конечную совокупность определенных действий, условий и операций восприятия и преобразования свойств, выполняемых в заданной последовательности во времени и в пространстве, а именно: теоретически обоснованное составление математических моделей МИИ в виде систем когерентных нелинейных уравнений величин и их решение; выбор конечной совокупности физически воспроизводимых КрФВ и способов их формирования с заданной точностью; выполнение конечной совокупности прямых измерений контролируемой и ряда корректирующих величин, однородных или сопряженных с контроли-

руемой и закономерно связанных между собой и с контролируемой величиной при неизменных и / или дискретно измененных на нормированные значения параметрах НФП сенсора и/или ИП с последующим определением действительного значения контролируемой ФВ согласно уравнению (или уравнениям) избыточных измерений или по уравнению числовых значений.

Все многообразие МИИ (рис. 2) может быть систематизировано по следующим существенным классификационным признакам: разновидность измеряемых свойств; используемый вид НФП сенсора и / или ИП; наличие аппроксимации НФП; методы системной линеаризации; тип избыточности; вид преобразования КрФВ; число измерений КрФВ и число циклов измерений; вид обработки результатов промежуточных измерений; способ обработки результатов промежуточных измерений; пути повышения точности методов ИИ; способ минимизации методической погрешности, вид исключаемой погрешности; пути повышения быстродействия (минимизация времени измерений); методы повышения быстродействия ИИ и способ обработки результатов промежуточных измерений и др.

МИИ обеспечивают [1]

достижение главной цели метрологии – обеспечение погрешности измерений, сравнимой с погрешностью образцовых мер;

инвариантность результатов измерений к разбросу характеристик сенсоров и деградации их чувствительных и конструктивных элементов (т. е. к старению и разрушению под влиянием внешних факторов). Это дает возможность замены сенсоров (или ИП) без изменения алгоритма или программы работы ЦИП;

линеаризацию ОФП ЦИП при нелинейной и нестабильной ФП сенсора и / или ИП;

высокоточное нелинейное преобразование ФВ (в квадрат, в куб, в логарифм ФВ и т. д.) при использовании сенсоров с НФП;

решение задач автоматической коррекции погрешностей при сложных НФП сенсоров и / или ИП путем использования уравнений замены величин и нелинейного преобразования системы координат;

повышение быстродействия и точности измерений параметров гармонических сигналов с использованием образцовых и виртуальных мер;

определение текущих значений параметров НФП сенсора и / или ИП, а также их отклонений от номинальных для прогнозирования времени их метрологической поверки или замены;

определение методических погрешностей избыточных измерений;

определение эффективности коррекции погрешностей МИИ относительно прямых и других методов;

оценку метрологической надежности ЦИП и т. д.

**Принципы построения и базовые технические решения (структурные схемы) сенсоров и цифровых измерительных приборов.** В ТИИ используются те же принципы построения сенсоров и ЦИП, что и для прямых методов измерений. Отличие заключается в использовании формирователей КрФВ, электронных управляемых переключателей (каналов, направления, антенных, волноводных, оптических и т. д.), а также сенсоров и /или ИП с одним или несколь-

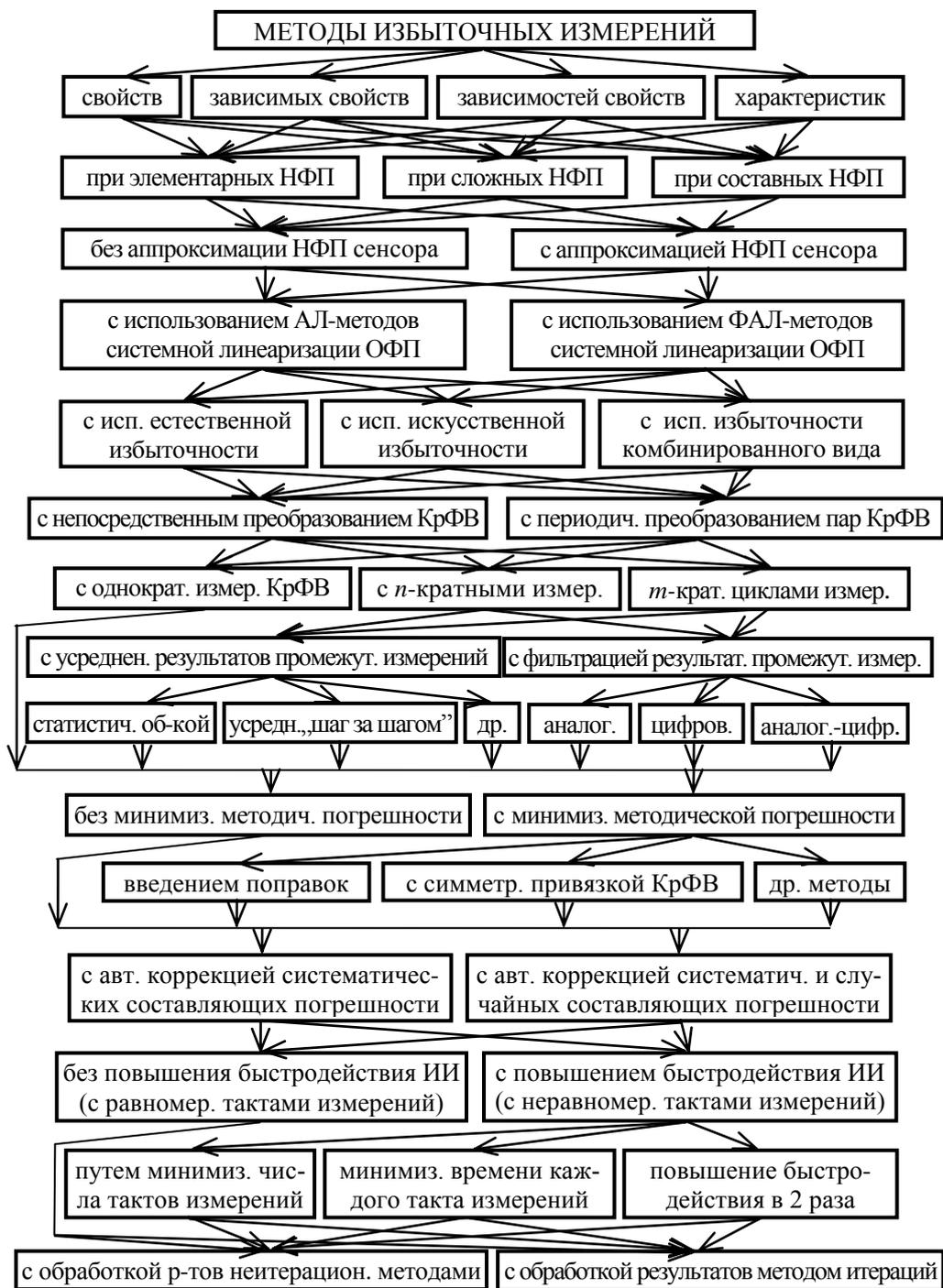


РИС. 2. Классификация методов избыточных измерений

кими управляемыми параметрами. Возможная классификация технических решений сенсоров и ЦИП показана на рис. 1.

**Выводы.**

Создана новая стратегия измерений – ТИИ как обобщенная система научных знаний, положений, доказательств и условий.

ТИИ – это стратегическая теория XXI века как по фундаментальности изложения системы знаний, так и по достигаемым целям. Ее дальнейшее развитие и совершенствование, вместе с развитием и совершенствованием сенсорной аппаратуры (высокочувствительных структурно-избыточных сенсоров, биосенсоров и ИП с управляемыми параметрами), неизменно принесет весомый вклад в развитие современного приборостроения не только Украины, но и других стран ближнего и дальнего зарубежья.

1. *Кондратов В.Т.* Стратегічна теорія XXI століття // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 2. – С. 11–16.
2. *Кондратов В.Т.* Основы теории автоматической коррекции систематических погрешностей измерения физических величин при нестабильной и нелинейной функции преобразования сенсора»: Дис. ... докт. техн. наук. – Киев, 2001. – 1. – 501 с.
3. *Кондратов В.Т.* Основы теории автоматической коррекции систематических погрешностей измерения физических величин при нестабильной и нелинейной функции преобразования датчика»: Дис. ... докт. техн. наук. – Киев, 2001. – Приложение. – 2. – 791 с.

Получено 23.05.2005